

**Evaluation der postoperativen Knielaxizität nach akuter, kombinierter
Verletzung des vorderen Kreuzbandes und des medialen
Seitenbandkomplexes**

Ergebnisse einer klinischen und ultraschall-basierten Nachuntersuchung

Louisa Sophie Höher

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen
Universität München zur Erlangung einer

Doktorin der Medizin (Dr. med.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitz: Prof. Dr. Wolfgang A. Weber

Prüfer*innen der Dissertation:

1. Priv.-Doz. Dr. Andrea E. Achtnich
2. apl. Prof. Dr. Sebastian Siebenlist

Die Dissertation wurde am 14.02.2023 bei der Technischen Universität München eingereicht
und durch die Fakultät für Medizin am 13.06.2023 angenommen.

In großer Dankbarkeit meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

<u>1</u>	<u>EINLEITUNG.....</u>	<u>7</u>
1.1	EPIDEMIOLOGIE.....	7
1.2	ANATOMIE UND FUNKTION DES MEDIALEN SEITENBANDKOMPLEXES	7
1.3	ANATOMIE UND FUNKTION DES VORDEREN KREUZBANDES (VKB)	11
1.4	VERLETZUNGSMECHANISMEN	13
1.5	DIAGNOSTIK	14
1.6	THERAPIE.....	15
<u>2</u>	<u>FRAGESTELLUNG UND HYPOTHESE.....</u>	<u>17</u>
<u>3</u>	<u>MATERIAL UND METHODE</u>	<u>19</u>
3.1	STUDIENDESIGN	19
3.2	AUSWAHL DER STUDIENPATIENT:INNEN.....	19
3.2.1	EIN- UND AUSSCHLUSSKRITERIEN.....	19
3.2.2	PATIENT:INNENKOLLEKTIV	20
3.3	OPERATIVE TECHNIK.....	22
3.4	POSTOPERATIVE REHABILITATION.....	23
3.5	SONOGRAPHISCHE NACHUNTERSUCHUNG	24
3.6	DURCHFÜHRUNG DER SONOGRAPHIE UND QUANTIFIZIERUNG DER MEDIALEN INSTABILITÄT	24
3.7	DURCHFÜHRUNG DER KLINISCHEN UNTERSUCHUNG	28
3.8	FRAGEBOGEN UND SCORES	29
3.9	STATISTISCHE AUSWERTUNG	30
<u>4</u>	<u>ERGEBNISSE</u>	<u>32</u>
4.1	DROP-OUT ANALYSE	32
4.2	DEMOGRAPHISCHE DATEN.....	33
4.3	POSTOPERATIVE KOMPLIKATIONEN	34
4.4	ERGEBNISSE DER SONOGRAPHISCHEN UNTERSUCHUNG	34
4.5	ERGEBNISSE DER KLINISCHEN NACHUNTERSUCHUNG.....	35
4.6	ERGEBNISSE DER SCORES UND FRAGEBÖGEN.....	36
<u>5</u>	<u>DISKUSSION</u>	<u>38</u>
5.1	LIMITATIONEN DER STUDIE	40
<u>6</u>	<u>SCHLUSSFOLGERUNG</u>	<u>42</u>
<u>7</u>	<u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	<u>43</u>
<u>8</u>	<u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	<u>45</u>
<u>9</u>	<u>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</u>	<u>52</u>

10 TABELLENVERZEICHNIS..... 54

11 ANHANG 55

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AM	Außenmeniskus
AM – Bündel	anteromediales Bündel
BMI	Body Mass Index
cm	centimeter
daN	deka Newton
d.h.	das heißt
dm	dezimal
ex.	extension
flex.	flexion
HKB	hinteres Kreuzband
ICC	Interklassenkorrelation Koeffizient
IKDC	International Knee Documentation Committee
LCL	lateral collateral ligament
MCL	medial collateral ligament
sMCL	superficial medial collateral ligament
dMCL	deep medial collateral ligament
MHz	Megahertz
mm	millimeter
mmHg	millimeter Quecksilbersäule
MRT	Magnetresonanztomographie
n.s.	nicht signifikant
o.g.	oben genannten
Pat.	Patient:in
PL – Bündel	posterolaterales Bündel
POL	posterior oblique ligament
ROM	range of motion
SD	standard deviation
VAS	Visuelle Analogskala
VKB	vorderes Kreuzband

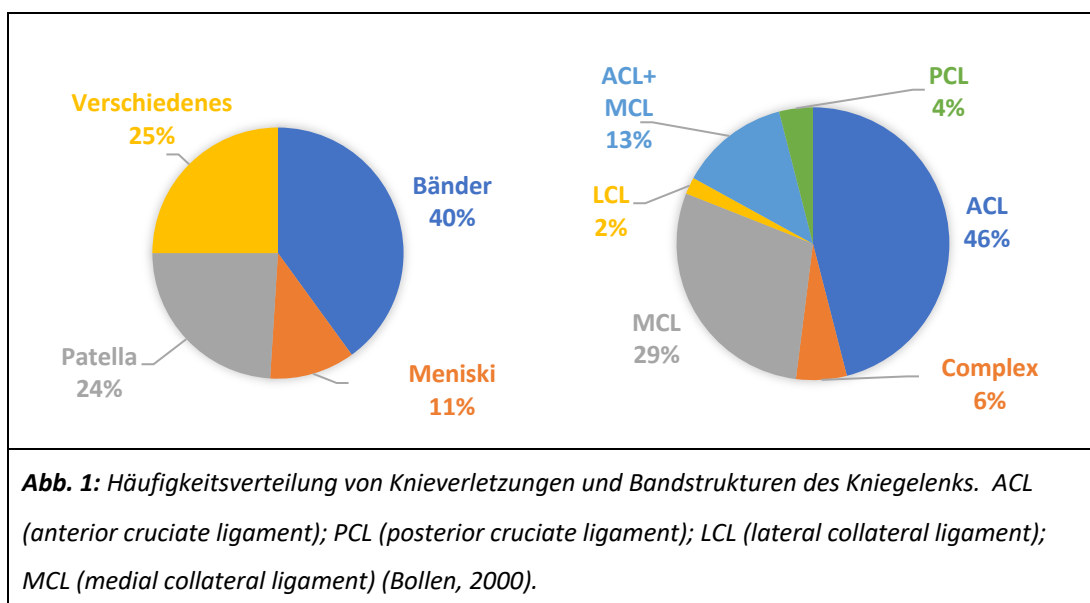
zws.

zwischen

1 Einleitung

1.1 Epidemiologie

Die häufigsten ligamentären Verletzungen des Kniegelenks betreffen mit 46 % das vordere Kreuzband (VKB). In 13% der Fälle wird die vordere Kreuzband- (VKB-) Ruptur dabei von einer Läsion des Innenbandkomplexes begleitet (Abbildung 1) (Bollen, 2000). Umgekehrt liegt das Risiko für eine weitere Bandverletzung bei einer höhergradigen Läsion des Innenbandes (MCL= „medial collateral ligament“) bei über 70%. Dabei ist das vordere Kreuzband mit 95% die am häufigsten mitbetroffene ligamentäre Struktur (Miyasaka, 1991, Fetto and Marshall, 1978). Für die USA wurde eine jährliche Inzidenz von 70.000 VKB-Rupturen, 40.000 medialen Innenbandverletzungen und 20.000 kombinierten VKB- und MCL- Läsionen abgeschätzt (Miyasaka, 1991) (Hirshman, 1990). Insgesamt ist die Inzidenz der Kniebandverletzungen, insbesondere des VKBs, aufgrund des wachsenden Aktivitätslevels der Bevölkerung in Sport und Freizeit in Zivilisationsländern steigend (Jaureguito and Paulos, 1996).



1.2 Anatomie und Funktion des medialen Seitenbandkomplexes

Der mediale Seitenbandkomplex wird anatomisch und biomechanisch in drei Schichten unterteilt (Abbildung 2 und 3). Die Hauptstruktur ist das oberflächliche mediale Kollateralband (sMCL = „superficial medial collateral ligament“). Davon abgegrenzt wird das tiefe mediale Kollateralband (dMCL = „deep medial collateral ligament“) und das hintere Schrägband (POL

= „posterior oblique ligament“ (LaPrade et al., 2007, Wijdicks et al., 2010a, Griffith et al., 2009b, Herbort, 2016).

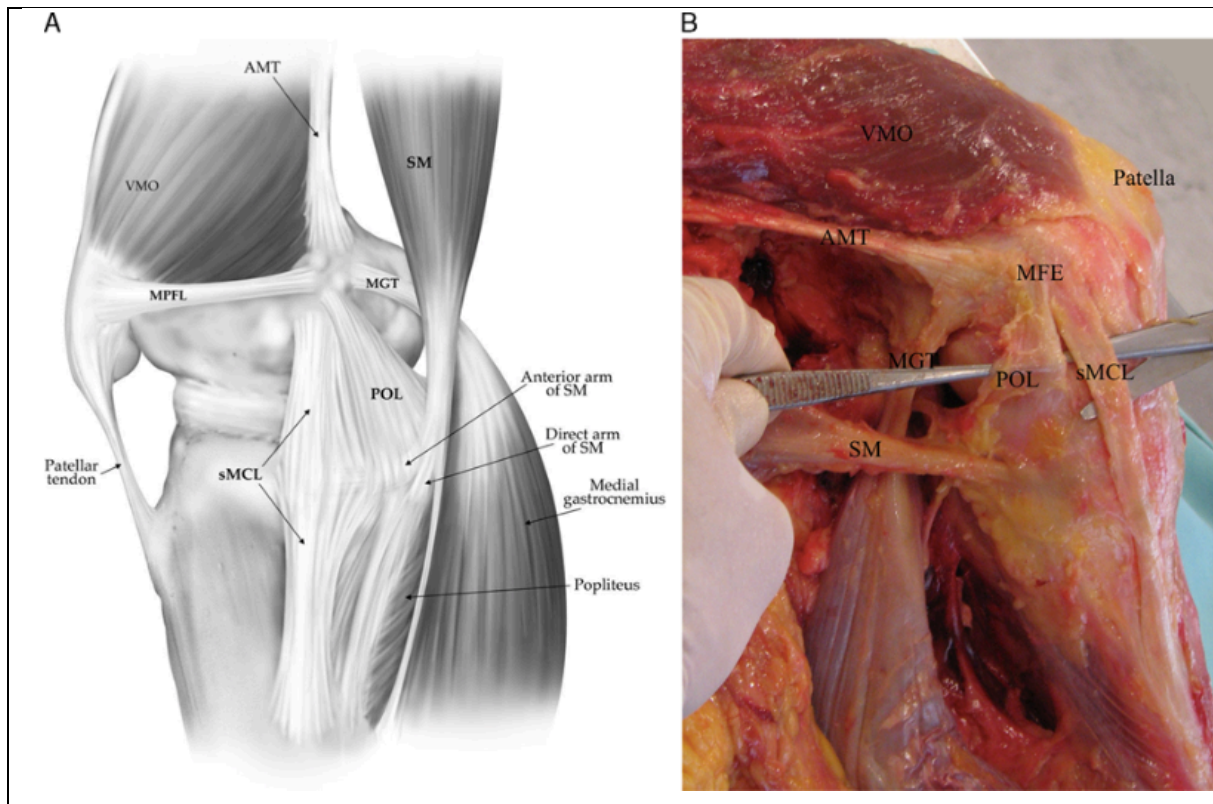


Abb. 2: Darstellung des anatomischen Verlaufs des oberflächlichen Innenbandes (sMCL) und des hinteren Schrägbandes (POL). A: Schematische Darstellung des rechten Kniegelenks mit Blick von medial; B: Anatomisches Präparat des linken Kniegelenks mit Blick von medial. SM (semimembranosus muscle); MGT (medial gastrocnemius tendon); AMT (adductor magnus tendon); VMO (vastus medialis obliquus muscle); MFE (medial femoral epicondyle) (LaPrade et al., 2007).

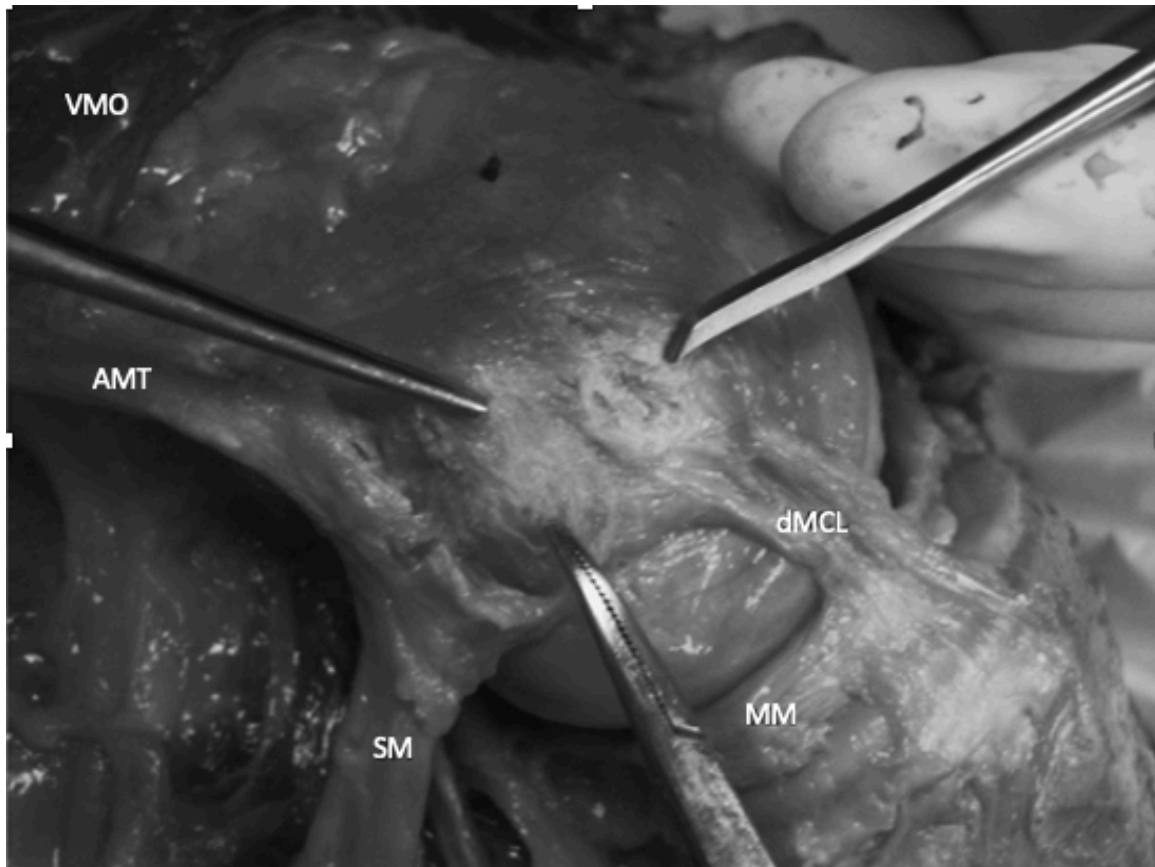


Abb. 3: Anatomisches Präparat des linken Kniegelenks mit Blick von medial. Darstellung des tiefen medialen Kollateralbandes (dMCL) nach Entfernung des oberflächlichen Kollateralbandes und des hinteren Schrägbandes (POL). MM (medial meniscus); SM (semimembranosus tendon); AMT (adductor magnus tendon) (LaPrade et al., 2007).

Das sMCL ist der längste Anteil des medialen Bandkomplexes und bildet die oberflächlichste Schicht. Der femorale Ursprung liegt leicht proximal und dorsal des medialen Epikondylus. Der tibiale Ligamentansatz kann in zwei Ansatzpunkte, proximal und distal, aufgeteilt werden. Proximal inseriert das sMCL unterhalb des Tibiaplateaus, distal inseriert das Band anterior der posteromedialen Tibiakante unter dem Pes anserinus (LaPrade et al., 2007, Wijdicks et al., 2010a), siehe Abb. 4.

Biomechanisch konnte gezeigt werden, dass das sMCL insbesondere gegen Valgusstress in vollständiger Flexion (vor allem ab 30°) das Knie stabilisiert. Dabei ist der proximale Anteil des sMCL eher in 90° und strecknah gestrafft, während der distale Anteil in 60° Flexion das Knie stabilisiert (Griffith et al., 2009b, Marchant et al., 2011, Robinson et al., 2004). Außerdem ist das sMCL gegen Innen- und Außenrotationen ein wirksamer Stabilisator (Herbort, 2016, Griffith et al., 2009a).

Das tiefe mediale Kollateralband (dMCL) liegt zwischen sMCL und den knöchernen Gelenkstrukturen und bildet gleichzeitig die mediale Gelenkkapsel. Der Ursprung dieses Bandes liegt 3-5 Millimeter (mm) distal und dorsal des medialen Epikondylus femoris, und die distale Insertion liegt ca. 1 Zentimeter (cm) distal der Gelenklinie am medialen Tibiaplateau (Wijdicks et al., 2010a). Des Weiteren ist das dMCL mit der Basis des Innenmeniskus verwachsen und kann hier in einen meniskofemorale und einen meniskotibiale Anteil eingeteilt werden (LaPrade et al., 2007, Pedersen, 2016), siehe Abb. 4. In dorsaler Richtung ist das dMCL mit der dritten Struktur des medialen Kapselbandkomplexes, dem hinteren Schrägband verbunden.

Die primäre Stabilisierung bei Valgusstress im Knie wird biomechanisch durch das sMCL getragen. Das dMCL vermittelt zusammen mit dem hinteren Schrägband eine sekundäre Stabilisierung bei Valgusstress, vor allem in extendiertem Zustand des Kniegelenks (Herbort, 2016, Griffith et al., 2009a).

Das hintere Schrägband hat proximal einen Ursprung am Femur und distal drei Ansatzpunkte (oberflächlich, zentral und kapsulär) an der Tibia (Wijdicks et al., 2010b). Das Band entspringt distal des Tuberculum gastrocnemius des Femurs (LaPrade et al., 2007), siehe Abb. 4. Der oberflächliche Anteil des POLs inseriert parallel und posterior zum sMCL an der Tibia. Die distale Insertion der zentralen Anteile ist tibial am Innenmeniskus, an der posteromedialen Kapsel sowie am M. semimembranosus zu finden.

Der kapsuläre Anteil inseriert am M. semimembranosus (LaPrade et al., 2007, Wijdicks et al., 2010b, Petersen et al., 2008).

Das POL wirkt biomechanisch als Hauptstabilisator bei Innenrotation des Kniegelenks, insbesondere im gestreckten Zustand, sowie bei gestrecktem Kniegelenk gegen Valgusstress (Herbort, 2016, Coobs et al., 2010).

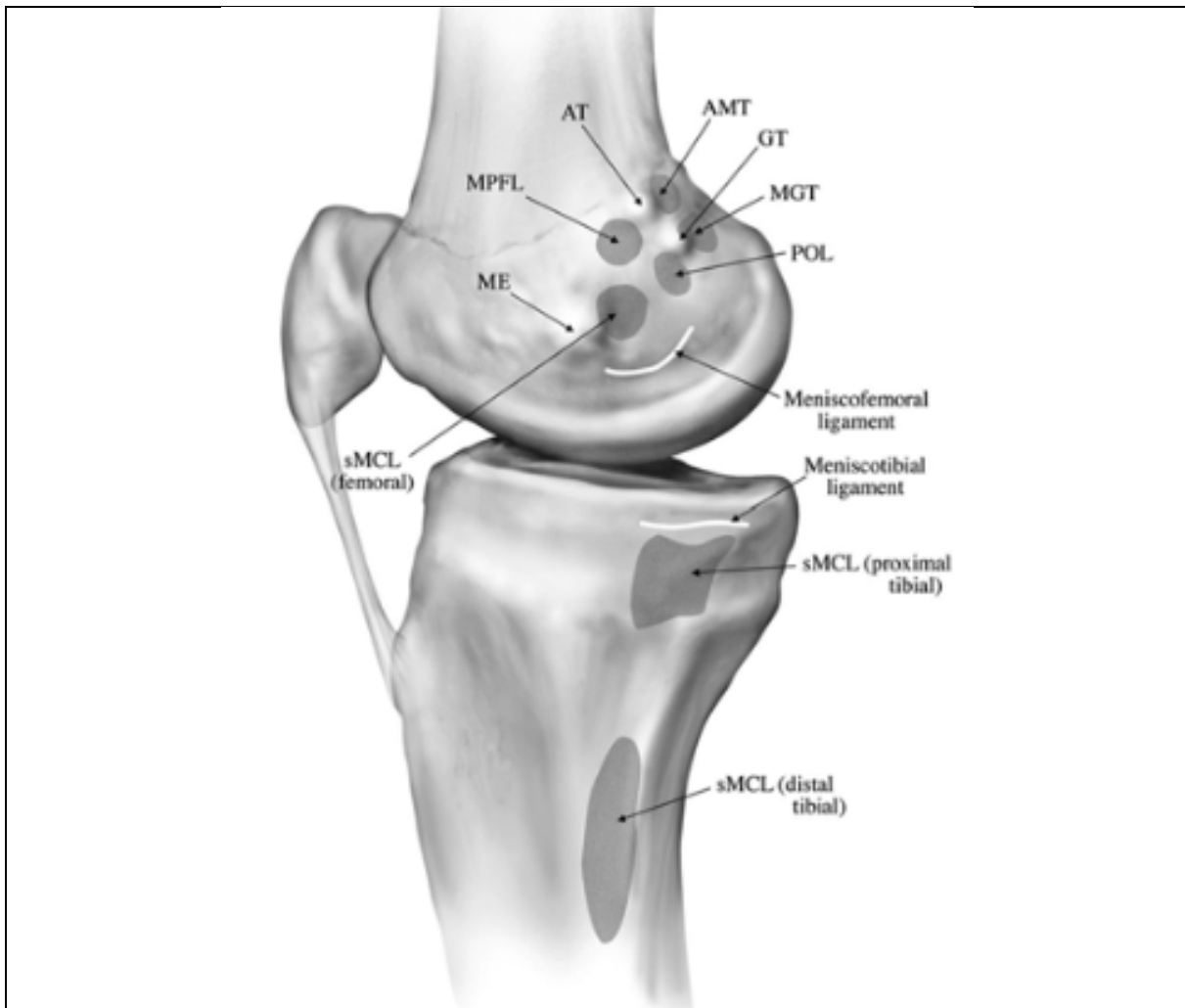


Abb. 4: Darstellung der knöchernen Ansatzpunkte des oberflächlichen Innenbandes (sMCL) und des hinteren Schrägbandes (POL), sowie die schematische Einzeichnung der weichteiligen Ansatzpunkte am Meniskus des tiefen MCL (dMCL). ME (medial epicondyle); MPFL (medial patellofemoral ligament); AT (adductor tubercle); AMT (adductor magnus tendon); GT (gastrocnemius tubercle); MGT (medial gastrocnemius tendon) (LaPrade et al., 2007).

1.3 Anatomie und Funktion des vorderen Kreuzbandes (VKB)

Das vordere Kreuzband ist, genauso wie das hintere Kreuzband, eine intraartikuläre Bandstruktur, die wesentlich zur Stabilität des Kniegelenks beiträgt. Das VKB zieht vom hinteren Anteil der medialen Fläche des lateralen Condylus des Femurs zur Area intercondylaris anterior der tibiae (Abb. 5) (Arnoczky, 1983, Girgis et al., 1975). Durch die periphere Auffächerung der einzelnen Fasern des Ligaments ist der femorale Ursprung eher oval, wohingegen im tibialen Ansatz eher eine dreieckige Fläche entsteht (Harner et al., 1999). Das VKB verläuft gegensätzlich zum HKB von posterior, superior, lateral nach anterior, inferior, medial.

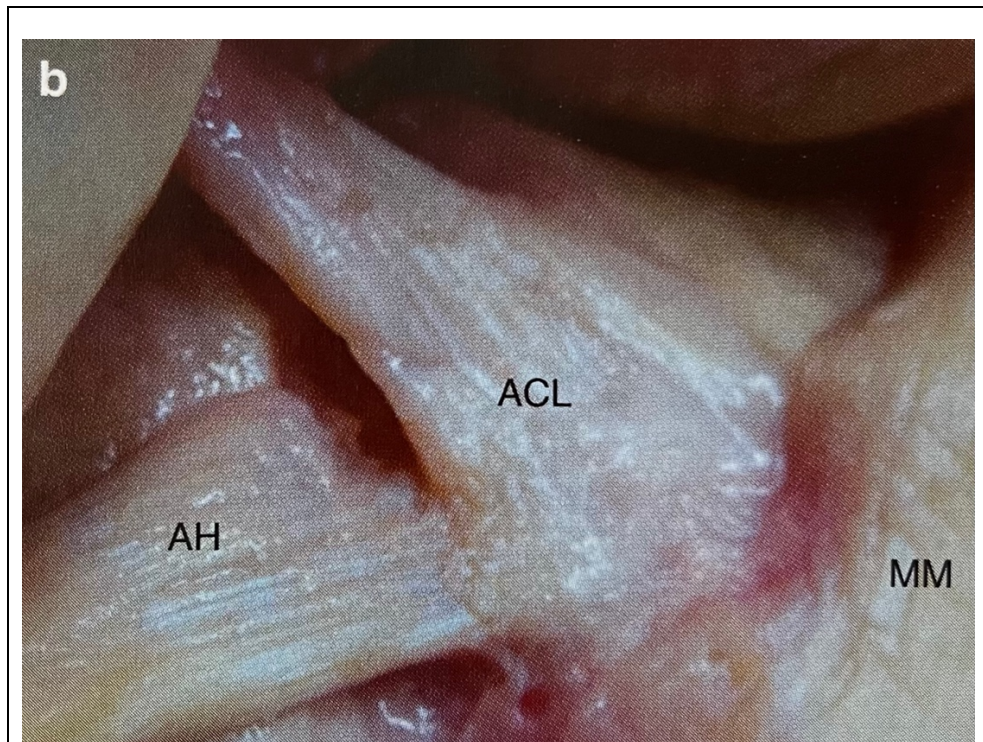
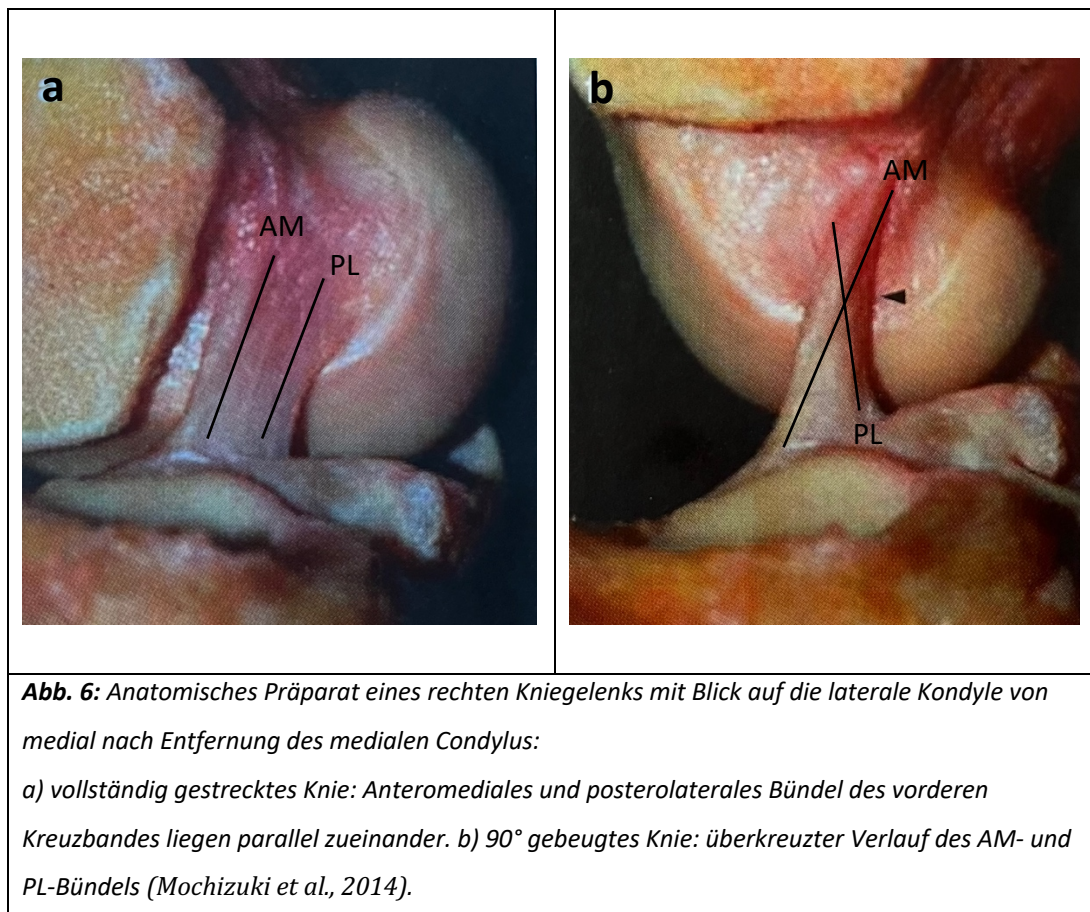


Abb. 5: Anatomisches Präparat eines rechten Kniegelenks mit Blick von anterior: ACL (anterior cruciate ligament); AH (anterior horn of the lateral meniscus); MM (anterior horn of the medial meniscus) (Siebold et al., 2015).

Anatomisch besteht das VKB aus zwei funktionellen Bündeln (Petersen and Zantop, 2007, Zantop et al., 2007) und werden als anteromediales Bündel (AM- Bündel) und posterolaterales Bündel (PL-Bündel) bezeichnet (Petersen and Zantop, 2007). Femoral entspringt das anteromediale Bündel im vorderen, hinteren Anteil, während das posterolaterale Bündel im hinteren, distalen Anteil zu liegen kommt. Die Ansatzpunkte auf der tibialen Seite entsprechen der Nomenklatur: das anteromediale Bündel inseriert im anteromedialen Anteil und das posterolaterale Bündel im posterolateralen Anteil der Area intercondylaris tibiae (Arnoczky, 1983, Petersen and Zantop, 2007). Bei gestrecktem Knie verlaufen beide Bündel parallel zueinander, wobei das AM-Bündel anterior des PL-Bündels liegt. Wird das Knie gebeugt, dreht sich der femorale Ursprung des posterolateralen Bündels um die femorale AM Insertion, wodurch sich die beiden Bündel in tiefer Gelenkbeugung überkreuzen und nicht mehr parallel zueinander liegen (Abb. 6) (Chhabra et al., 2006, Mochizuki et al., 2014).



Aus biomechanischer Sicht ist das VKB ein wichtiger Stabilisator des Kniegelenks und sichert das Knie in vielen Bewegungsrichtungen. Die beiden Faserbündel weisen ein reziprokes Spannungsverhalten auf.

Eine der wichtigsten Funktionen des VKBs ist die Stabilisierung nach anterior. Hierbei spannt sich das AM-Bündel besonders bei zunehmender Flexion des Knies über 30°, während das PL-Bündel bei extendiertem Knie das Gelenk stabilisiert (Arnoczky, 1983, Siebold et al., 2008). Außerdem konnte gezeigt werden, dass das posterolaterale Bündel zusätzlich eine besonders stabilisierende Funktion gegen Rotationskräfte aufweist (Zantop et al., 2007). Eine weitere wichtige Funktion des VKBs ist die Stabilisierung des Kniegelenks bei Varus- und Valgusstress (Petersen and Tillmann, 2002).

1.4 Verletzungsmechanismen

Ursächlich für Bandverletzungen am Knie sind vor allem Wintersport- und Kontaktsport-Unfälle, Verkehrsunfälle und Stürze (Halinen et al., 2006b). Die meisten Verletzungen ligamentärer Strukturen am Knie, v.a. des VKBs, entstehen bei Ballsportarten (Fußball,

Handball, Basketball), aber auch beim alpinen Skifahren oder Judo (Siegel et al., 2012, Delfico and Garrett, 1998). Hierbei sind Situationen wie plötzliches Abstoppen, plötzliche Drehbewegungen und das Landen nach dem Sprung besonders risikoreiche Bewegungen für Knieverletzungen (Alentorn-Geli et al., 2009, Carlson et al., 2016, Olsen et al., 2005). Der typische Verletzungsmechanismus für das VKB bei einem non-contact Mechanismus ist ein ausgeprägter Valgusstress kombiniert mit einer Außenrotation bei gebeugtem Kniegelenk (Abb. 7) (Wijdicks et al., 2010b) (Bollier and Smith, 2014a).

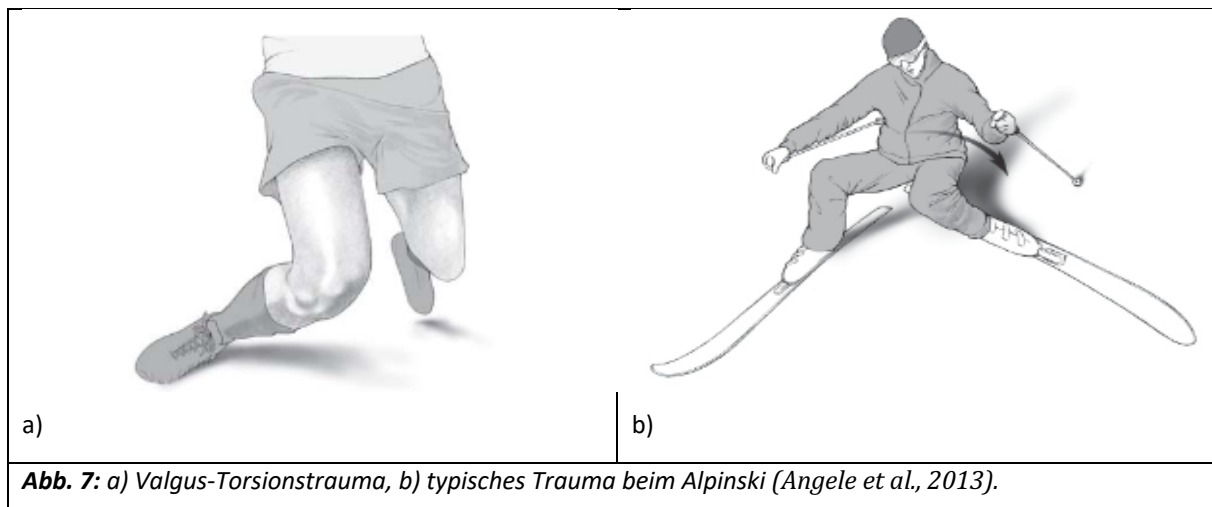


Abb. 7: a) Valgus-Torsionstrauma, b) typisches Trauma beim Alpinski (Angele et al., 2013).

1.5 Diagnostik

Für eine genaue Diagnosestellung sind eine für den Verletzungsmechanismus typische Anamnese, eine genaue klinische Untersuchung und eine Bildgebung (MRT und Röntgen) relevant. Für eine standardisierte klinische Untersuchung einer VKB-Ruptur wird der Lachman-Test, der Pivot-Shift Test und die vordere Schublade durchgeführt. Mit dem Lachman-Test wird bei VKB-Rupturen der Grad der ventralen Instabilität in der Sagittalebene bestimmt. Zur Quantifizierung der Laxizität haben sich Geräte wie das KT-1000, Genourob und Rolimeter etabliert und finden in der klinischen Praxis breite Anwendung (van Eck et al., 2013, Ryu et al., 2018, Hatcher et al., 2005). Um eine isolierte VKB-Ruptur von kombinierten Verletzungen der Seitenbänder zu unterscheiden, ist eine Beurteilung der medialen Aufklappbarkeit entscheidend. Dies kann klinisch durch eine manuelle Ausübung eines Valgusstress auf der lateralen Seite des Kniegelenks bei gestrecktem und 20-30° gebeugtem Kniegelenk im Seitenvergleich diagnostiziert werden. Hierbei wird die mediale Instabilität nach Fetto und Marshall in 3 Grade eingeteilt. Grad-1-Verletzungen zeigen keine vermehrte Aufklappbarkeit

in 0° und 30° Flexion. Grad-2-Verletzungen zeigen eine vermehrte Aufklappbarkeit in 30° Flexion und bei Grad-3-Verletzungen besteht eine vermehrte Aufklappbarkeit in 0° Extension und 30° Flexion (Fetto and Marshall, 1978). Über die klinische und röntgengestützte Untersuchung einer MCL-Verletzung wurde häufig berichtet (Zaffagnini et al., 2011, Kan et al., 2017, Chan et al., 2021, Craft and Kurzweil, 2015, Vosoughi et al., 2021), eine radiologische Beurteilung mittels Sonographie der medialen Aufklappbarkeit wurde bisher seltener untersucht. In früheren Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die dynamische Ultraschalluntersuchung dazu geeignet ist, MCL-Läsionen sicher zu identifizieren (Gruber et al., 1998) (Schricker et al., 1987). Des Weiteren wurde im Jahr 2021 eine Studie mit Mittelwerten der medialen Aufklappbarkeit mit applizierter standardisierter Valgusstellung des Knies durch ein Haltegerät (Telos-Haltegerät) und frontaler Neutralstellung des Kniegelenks für gesunde Knie-Gelenke veröffentlicht (Lutz et al., 2021a). Allerdings existieren noch keine Daten zu funktionellen Ultraschalluntersuchungen bei kombinierter VKB-Ruptur mit operativ oder konservativ versorgter MCL-Verletzung im Follow-up. Zudem ist die Untersuchung kostengünstig, zeitsparend und belastet den Patienten nicht mit Röntgenstrahlung (De Maeseneer et al., 2014) (Gruber et al., 1998).

1.6 Therapie

In der Literatur besteht kein einheitlicher Konsens bezüglich des Therapie-Algorithmus einer kombinierten VKB- und MCL-Läsion (Dale et al., 2017, Elkin et al., 2019, Grant et al., 2012b, Papalia et al., 2010, Svantesson et al., 2019, Guenther et al., 2021, Rao et al., 2022).

Hinsichtlich ihres Heilungspotentials unterscheiden sich Ligamente des Kniegelenks deutlich. Während der mediale Kapselbandkomplex ein großes Potential bei der Heilung bei konservativer, funktioneller Therapie zeigt, ist das Heilungspotential beim VKB bei nicht operativer Therapie extrem gering (Woo et al., 1997, Hsu et al., 2010, Weiss et al., 1991, Scheffler et al., 2001, Andersson, 1993).

Bezogen auf die Therapie ist es notwendig, klar zu definieren, welche mediale Struktur betroffen ist und wo die Läsion genau lokalisiert ist (Bollier and Smith, 2014a). Eine bestehende Valgusinstabilität kann zu einem erhöhten Risiko eines Versagens der VKB-Rekonstruktion führen, demzufolge sollten starke Achsabweichungen mitbehandelt werden (Carson et al., 2004) (Zaffagnini et al., 2007).

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen einem ein- und zweizeitigen operativen Verfahren, welche sich zumeist an dem Grad der Verletzung des MCLs orientiert: Eine begleitende Grad-1-MCL-Läsion wird dabei standardmäßig konservativ therapiert (Blanke F, 2014) und nachfolgend das VKB operativ versorgt (Dale et al., 2017). Eine spätere VKB-Rekonstruktion, nach Erreichen der freien Kniebeweglichkeit, kann zu einer konservativen Ausheilung des MCLs führen (Bollier and Smith, 2014b, Grant et al., 2012a, Koga et al., 2012a). Bei einer Grad-3-Verletzung wird die frühe VKB-Rekonstruktion und akute MCL-Versorgung mittels Naht, synthetischer Verstärkung (sogenanntes „bracing“) oder einem autologen Sehnentransplantat empfohlen (Ateschrang et al., 2016, Halinen et al., 2006a, Gallo et al., 2017, Hetsroni and Mann, 2016, Dong et al., 2015, Grant et al., 2012a). Bei einer Grad-2-Läsion des MCLs können beide Therapiestrategien in Erwägung gezogen werden. Im Falle einer konservativen MCL-Therapie sollte jedoch vor geplanter VKB-Rekonstruktion prä- und intraoperativ eine erneute mediale Stabilitätsprüfung durchgeführt und bei persistierender Valgusinstabilität eine mediale Stabilisierung erfolgen (Bollier and Smith, 2014b, Koga et al., 2012a). Die Wiedererlangung der anterioren Stabilität beeinflusst das Outcome dabei entscheidend, weshalb eine VKB-Rekonstruktion zum Therapie Algorithmus gehören sollte (Blanke F, 2014, Grant et al., 2012a). Umgekehrt beeinflusst eine mediale Instabilität das Outcome einer VKB-Rekonstruktion entscheidend, dabei wird das Risiko für eine Reruptur der VKB-Rekonstruktion bei gleichzeitiger Innenbandinsuffizienz um den Faktor 6 erhöht (Ahn and Lee, 2016). Die derzeitige Standardtherapie einer VKB-Ruptur ist eine arthroskopische Rekonstruktion des gerissenen Bandes mit einem biologischen Sehnentransplantat (Chen et al., 2003, Paschos and Howell, 2016, Kohn et al., 2020, Nwachukwu et al., 2019). Die Weiterentwicklung der operativen Möglichkeiten und Techniken hat das Outcome einer VKB-Rekonstruktion signifikant verbessert, trotzdem ist bei 3-10% im Verlauf ein Revisionsersatz des VKB notwendig (Wagner et al., 2007, Crawford et al., 2013, Lai et al., 2018, Samitier et al., 2015).

2 Fragestellung und Hypothese

Obwohl kombinierte VKB- und MCL-Verletzungen eine häufige Kniegelenksverletzung sind, ist der Therapiealgorithmus insbesondere bei kombinierter VKB- und MCL-Verletzungen Grad II nicht eindeutig. In bisherigen Studien konnte gezeigt werden, dass ein stabiler Innenbandkomplex nach VKB-Rekonstruktion einen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse der Valgusstabilität hat (Carson et al., 2004, Zaffagnini et al., 2007). Zur postoperativen Beurteilung der Stabilität eines Kniegelenks nach austherapierter kombinierter VKB- und MCL-Verletzung sind klinische Untersuchungen aktuell der Goldstandard. Sonographische Messungen der medialen Aufklappbarkeit wurden im Follow-up nach kombinierter VKB- und MCL-Verletzung als diagnostisches Mittel bisher nicht untersucht.

Die vorliegende Studie befasst sich mit der Fragestellung, wie die sonographischen und klinischen Ergebnisse nach einer akuten VKB-Rekonstruktion mit operativ oder konservativ versorgter MCL-Verletzung zu bewerten sind.

Hierzu wurden zwei Studiengruppen mit unterschiedlichen Therapieverfahren gebildet. Gruppe 1 setzte sich aus Patient:innen zusammen, die eine akute VKB-Rekonstruktion und kombinierte operative MCL-Refixation innerhalb von zwei Wochen nach Trauma erhielten. Die Gruppe 2 wurde von Patient:innen gebildet, bei denen nach konservativ therapierter MCL-Verletzung nach frühestens sechs Wochen nach dem Trauma eine VKB-Rekonstruktion durchgeführt wurde.

Das Hauptzielkriterium der vorliegenden Studie ist die sonographisch ermittelte mediale Aufklappbarkeit nach kombinierter VKB- und MCL-Verletzung.

Nebenzielkriterien der Studie sind die Ergebnisse international anerkannter Funktions-Scores zur Beurteilung des klinischen Outcomes in beiden Gruppen.

Im Rahmen der Untersuchung wurden folgende zwei Hypothesen überprüft:

- Hypothese 1: Patient:innen der Gruppe 1 (operative MCL-Rekonstruktion) zeigen aufgrund höhergradiger MCL-Verletzungen im Follow-up eine sonographisch vermehrte, mediale Aufklappbarkeit im Vergleich zu Gruppe 2 (konservative MCL-Therapie).
- Hypothese 2: Patient:innen der Gruppe 1 weisen auch im Hinblick auf subjektive Kriterien (subjektiver IKDC-Score, Lysholm-Score und Tegner-Score) im Follow-up Unterschiede auf im Vergleich zu Patient:innen der Gruppe 2.

3 Material und Methode

3.1 Studiendesign

Bei der vorliegenden Forschungsarbeit handelt es sich um eine retrospektive klinische und sonographische Untersuchung, in welcher die Ergebnisse nach akuter VKB-Rekonstruktion mit und ohne operativer MCL-Refixation bei Patient:innen mit kombinierter VKB- und MCL-Verletzung erfasst wurden. Die Studie wurde nach vorherigem positivem Votum der Ethikkommission der TU München (235/19 S) durchgeführt.

Im Folgenden werden das Patient:innenkollektiv, alle verwendeten Instrumente, Operations- und Untersuchungstechniken beschrieben.

3.2 Auswahl der Studienpatient:innen

Aus einem allgemeinen Patient:innengut der Abteilung für Sportorthopädie der TUM wurden im Zeitraum von Februar 2014 bis Februar 2019 am Klinikum rechts der Isar alle Patient:innen identifiziert, bei denen eine kombinierte VKB-Ruptur und eine begleitende Innenbandverletzung diagnostiziert wurde. Insgesamt wurden 135 Patient:innen erfasst, die eine kombinierte VKB- und MCL-Therapie in der Klinik erhielten. Die Einschlusskriterien wurden von insgesamt 115 Patient:innen erfüllt. Es wurden 20 Patient:innen aufgrund der unten aufgelisteten Ausschlusskriterien von der Studie ausgeschlossen.

3.2.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Es galten folgende Einschlusskriterien für die Studienteilnahme:

- Alle Patient:innen, die im Klinikum rechts der Isar im o.g. Studienzeitraum mit einer VKB-Ruptur und einer gleichzeitigen Innenbandläsion des Kniegelenks diagnostiziert und therapiert wurden.
- Bei allen Patient:innen wurden die VKB-Ruptur mit einer VKB-Rekonstruktion therapiert.
- Bereitschaft zur Teilnahme an einer klinischen und sonographischen Nachuntersuchung mindestens 12 Monate postoperativ.
- Mindestalter 18 Jahre zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung 12 Monate postoperativ.

Folgende Ausschlusskriterien wurden für Studienteilnahme formuliert:

- beidseitige Knieverletzungen
- VKB- und/oder MCL-Rupturen (Wiederholungsverletzung),
- Verletzungen anderer ligamentärer Strukturen des Kniegelenks
- ossäre Läsionen des Kniegelenks
- fehlende deutsche Sprachkenntnisse
- Alter < 18 Jahre zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung

3.2.2 Patient:innenkollektiv

Die Studienpatient:innen wurden in zwei Gruppen aufgeteilt. Alle Patient:innen, bei denen eine frühe VKB-Rekonstruktion mittels autologer Hamstringsehne und eine operative MCL-Refixation in den ersten zwei Wochen nach Trauma durchgeführt wurden, bildeten die Studiengruppe 1. Alle Patient:innen aus dem Kollektiv, bei denen die Innenbandverletzung nicht-operativ (d.h. konservative Therapie mittels Orthese) behandelt wurden und bei denen verzögert nach frühestens sechs Wochen eine VKB-Rekonstruktion mit autologer Hamstringsehne erfolgte, bildeten die Studiengruppe 2 (Tab. 1).

Die Diagnose kombinierter VKB- und MCL-Verletzungen wurde durch ein MRT- und eine klinische Untersuchung gestellt. Die Indikation für die Therapie der Innenbandverletzungen wurden anhand der MCL-Graduierung nach Fetto und Marshall gestellt (Fetto and Marshall, 1978). Bei MCL-Läsionen Grad II konnte eine erhöhte Instabilität in 30° Flexion festgestellt werden, während bei MCL-Läsionen Grad III eine Instabilität in 0° und 30° Flexion zu beobachten war (Fetto and Marshall, 1978). Grad-II-MCL-Verletzungen mit disloziertem tibialen oder femoralen Abriss und MCL-Läsionen Grad III erhielten eine ligamentäre Refixation (Gruppe 1), unter der Annahme, dass eine konservative Therapie zu einer schlechteren Heilung führen würde (Bollier and Smith, 2014a).

MCL-Verletzungen Grad II ohne kompletten Abriss (teiltrupturiert) wurden nicht-operativ für sechs Wochen mit einer Orthese mit limitierter Range of motion (ROM) und einer Teilbelastung (ca. 20-30 kg) auf Krücken versorgt (Gruppe 2). In den ersten zwei Wochen war eine aktive Extension (ex)/ Flexion (flex) von 0°/20°/60° erlaubt, in den nächsten zwei Wochen 0°/10°/90° und in den letzten zwei Wochen 0°/0°/90°. Nach sechs Wochen wurde eine limitierte Bewegungsamplitude aufgehoben.

Tabelle 1: Zusammensetzung der beiden Vergleichsgruppen. VKB (vorderes Kreuzband), MCL (medial collateral ligament).

	Gruppe 1	Gruppe 2
Therapieverfahren kombinierter VKB- + MCL-Verletzungen	VKB + MCL primär operativ akute VKB-Rekonstruktion mit zusätzlich operativ versorgter MCL-Läsion (Anker + Naht + ggf. Tape)	MCL konservativ und VKB operativ nach 6 Wochen akute VKB-Rekonstruktion mit zuvor konservativ therapierter MCL-Läsion (Orthese)
Anzahl der Patient:innen	20	20
Geschlecht	weiblich = 12 männlich = 8	weiblich = 4 männlich = 16
Alter (Jahren)	39,8 ± 12,1 (20-55)	33,1 ± 8,1 (23-60)

Alle eingeschlossenen Patient:innen wurden mindestens ein Jahr nach Operation zu einer klinischen und sonographischen Untersuchung sowie zur Erhebung von Fragebögen und Scores (IKDC, Lysholm, Tegner) eingeladen. Die Patient:innen wurden ausnahmslos telefonisch kontaktiert. Falls keine Rückverfolgung möglich war (Telefonnummer geändert oder dreimalige vergebliche Kontaktaufnahme) wurden die Patient:innen von der geplanten Nachuntersuchung ausgeschlossen. Ein Teil der Patient:innen, die erreicht werden konnten, lehnten die Teilnahme an der Nachuntersuchung aus persönlichen Gründen (u.a. Zeitmangel, zu weite Anreise, kein Interesse) ab.

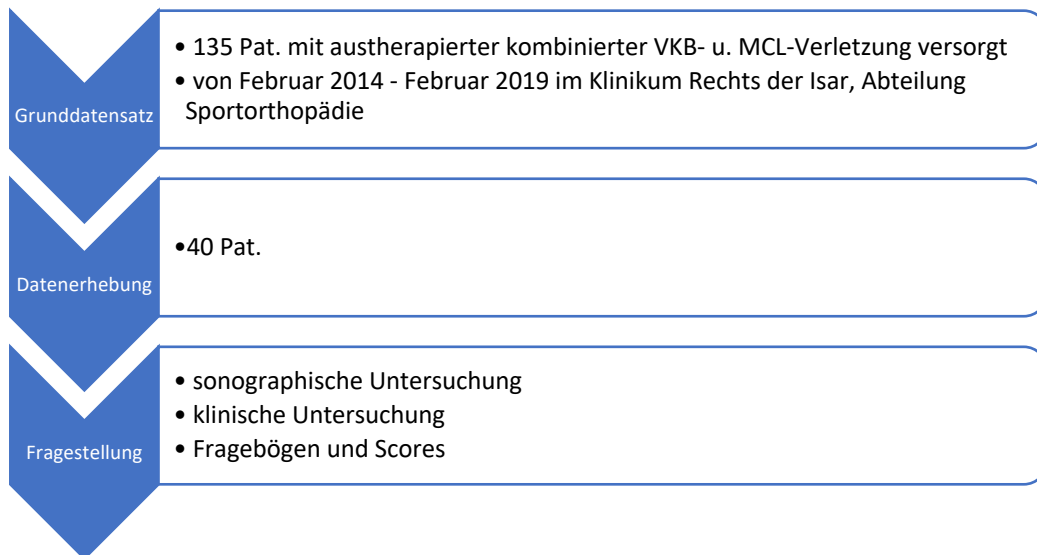


Abb. 8: Übersicht über den Weg von Grunddatensatz bis zur Fragestellung. VKB (vorderes Kreuzband); MCL (medial collateral ligament).

3.3 Operative Technik

Die Operation erfolgte in Allgemein- oder Spinalanästhesie in Rückenlage und Blutleere des betroffenen Beines durch Anlage einer Blutdruckmanschette auf 280 mmHg.

Narkoseuntersuchung der ligamentären Instabilität zur Bestätigung der Indikation und Diagnose. Nachfolgend erfolgte die diagnostische Arthroskopie zur Aufnahme des intraartikulären Befundes und von Begleitverletzungen (Knorpel und Meniskus). Falls notwendig erfolgte eine Refixation des Meniskus mittels all-inside Nahtanker (meniscus suture system) (Arthrex, Naples, USA or Smith&Nephew, London, UK). Bei allen Patient:innen wurde die vordere Kreuzbandverletzung durch eine arthroskopische, anatomische Einzelband Ersatzplastik mit autologer Hamstringsehne versorgt. Die entnommene Semitendinosussehne wurde auf dem Seitentisch zu einem Vierfach-Transplantat präpariert und der Sehnendurchmesser gemessen. Der femorale Tunnel wurde von anteromedial entsprechend des Graftdurchmessers als Sackloch in der anatomischen Insertion angelegt. Die Anlage des tibialen Bohrkanals erfolgte unter Verwendung eines Zielgerätes zur Platzierung eines Bohrdrabtes mittig in der tibialen VKB-Insertion mit nachfolgender Überbohrung mit dem Durchmesser des Transplantates.

Zur femoralen Verankerung des VKB-Transplantates wurde eine extrakortikale Verankerungstechnik (ACL tight-rope, Arthrex, Naples, USA) verwendet. Für die tibiale Fixation

wurde ein Führungsdraht in den tibialen BohrkanaI neben das Transplantat eingeführt. Anschließend wurde eine resorbierbare Interferenzschraube (Arthrex, Naples, USA) über den Draht unter maximalen Zug des Transplantats zur tibialen Fixierung in den BohrkanaI eingebracht.

In Gruppe 1 wurden zusätzlich zu der VKB-Rekonstruktion die Verletzung des Innenbandes operativ adressiert. Befundabhängig wurde die Innenbandstruktur im Falle einer femoralen oder tibialen Läsion mit Hilfe eines Fadenankers reinseriert (suture anchor) (Corkscrew 5,5 mm Biocomposite, Arthrex, Naples, USA). Im Falle einer Verletzung der mittleren Substanz erfolgte eine MCL-Versorgung mit einer Direktnaht und einer Tape Augmentation (suture tape augmentation, sog. „bracing“).

Bei Grad-III-Verletzungen des MCL, bei welchen aufgrund der Qualität des Gewebes eine MCL-Naht mit Anker nur zu einer unzureichenden Stabilität geführt hätte, wurde eine Verstärkung mit einem Tape angewendet.

3.4 Postoperative Rehabilitation

In Gruppe 1 gestaltete sich die postoperative Nachbehandlung über eine sechswöchige Teilbelastung mit ca. 20-30 kg auf Krücken mit limitierter ROM. In den ersten zwei Wochen nach der Operation war eine aktive Extension (ex)/ Flexion (flex) von 0°/20°/60° erlaubt, in den nächsten zwei Wochen 0°/10°/90° und in den letzten zwei Wochen 0°/0°/90°. Nach sechs Wochen wurde eine limitierte Bewegungsamplitude aufgehoben. Anschließend wurde das Tragen einer Orthese (Medi M4, Medi Bayreuth, Deutschland) für 12 Wochen angeordnet.

In Gruppe 2 wurde eine präoperative sechswöchige Teilbelastung mit ca. 20-30 kg auf Krücken und limitierter ROM wie in Gruppe 1 erlaubt. Zur Stabilisierung und zur Einschränkung der ROM wurde hier das Tragen einer Orthese (Medi M4, Medi Bayreuth, Deutschland) mitangeordnet. Anschließend erfolgte die operative VKB-Rekonstruktion. Postoperativ folgte eine Teilbelastung (20-30 kg) für zwei Wochen. Eine limitierte ROM von ex/ flex 0°/0°/90° war nur vorgesehen, wenn eine Meniskusnaht erfolgt ist.

Sportliche Aktivitäten, wie das Laufen auf dem Laufband und Kraulschwimmen waren nach sechs Wochen wieder erlaubt, das Laufen auf unebenem Boden nach drei Monaten und Sport

spezifisches Training in beiden Gruppen nach sechs Monaten. Kontaktsport oder Sportbewegungen mit nach Innen flektierenden Kniebewegungen (Pivoting), wie zum Beispiel Tennis spielen, waren nach frühestens neun Monaten möglich.

3.5 Sonographische Nachuntersuchung

Die sonographischen Untersuchungen wurden in der Abteilung für diagnostische und interventionelle Radiologie der TUM durchgeführt. Mittels Ultraschall wurde der Grad der medialen Aufklappbarkeit des Innenbandkomplexes unter einem standardisierten Valgusstress bei definiertem Flexionswinkel bestimmt. Die funktionelle Ultraschalluntersuchung wurde von zwei zertifizierten Radiolog:innen mit einer mindestens fünfjährigen Erfahrung im Bereich muskuloskelettaler Bildgebung durchgeführt. Alle benötigten Bildaufnahmen des Knies wurden mit dem System: PACS (Picture Archiving and Communication System; Sectra Medial System, Sweden) ausgewertet.

3.6 Durchführung der Sonographie und Quantifizierung der medialen Instabilität

Die Sonographie erlaubt eine Beurteilung der medialen Aufklappbarkeit und der Stabilität. Um die mediale Laxizität des Innenbandes bewerten zu können, wurde die Weite des medialen Gelenkspalts mit Ultraschall (ACUSON NX3 Ultrasound System, Siemens Erlangen, Deutschland) erfasst. Hierbei wurde ein linearer Schallkopf (4.0-12.0 MHz, Maximum Field View: 153 mm, Maximum Display Depth: 160 mm) verwendet, welcher in longitudinaler Ausrichtung über den medialen Gelenkspalt platziert wurde. Da die Darstellung der hyperechogenen knöchernen Umrisse von Femur und Tibia als wichtigen Marker für eine standardisierte Messung betrachtet wurden (Zhu et al., 2020), wurden als knöcherne Strukturen die mediale Femurkondyle und das proximale Tibiaplateau verwendet, wie in der Literatur beschrieben (Gruber et al., 1998, Lutz et al., 2021a).

Für die Untersuchung lag der/die Patient:in in Rückenlage auf einer Standarduntersuchungsliege. Bei jedem Patienten/ jeder Patientin wurden Ultraschallbilder in je vier verschiedenen Gelenkpositionen beider Kniegelenke erstellt. Die mediale Gelenkspaltweite des Kniegelenks wurde in 0° Extension und 30° Flexion mit jeweils einer Messung mit

appliziertem standardisierten Valgusstress und in frontaler Neutralstellung des Kniegelenks erfasst. Mit Hilfe eines Schaumstoff Dreiecks (siehe Abb. 9) konnte eine Knieflexion von 30° reproduzierbar eingenommen und mit einem Winkelmesser überprüft werden. Um einen standardisierten Valgusstress auf das Gelenk auszuüben, wurde ein Gerät der Firma TELOS (Wölfersheim-Berstadt, Deutschland) verwendet, welches mit einem lateralen Stempeldruck von 15 Deka Newton (daN) das Knie in Valgusstellung brachte (Lutz et al., 2021a, Gruber et al., 1998). In allen Fällen wurde auch die nicht betroffene Gegenseite untersucht (Gruber et al., 1998). Insgesamt wurden damit bei jedem Patienten/ jeder Patientin acht Messungen dokumentiert.

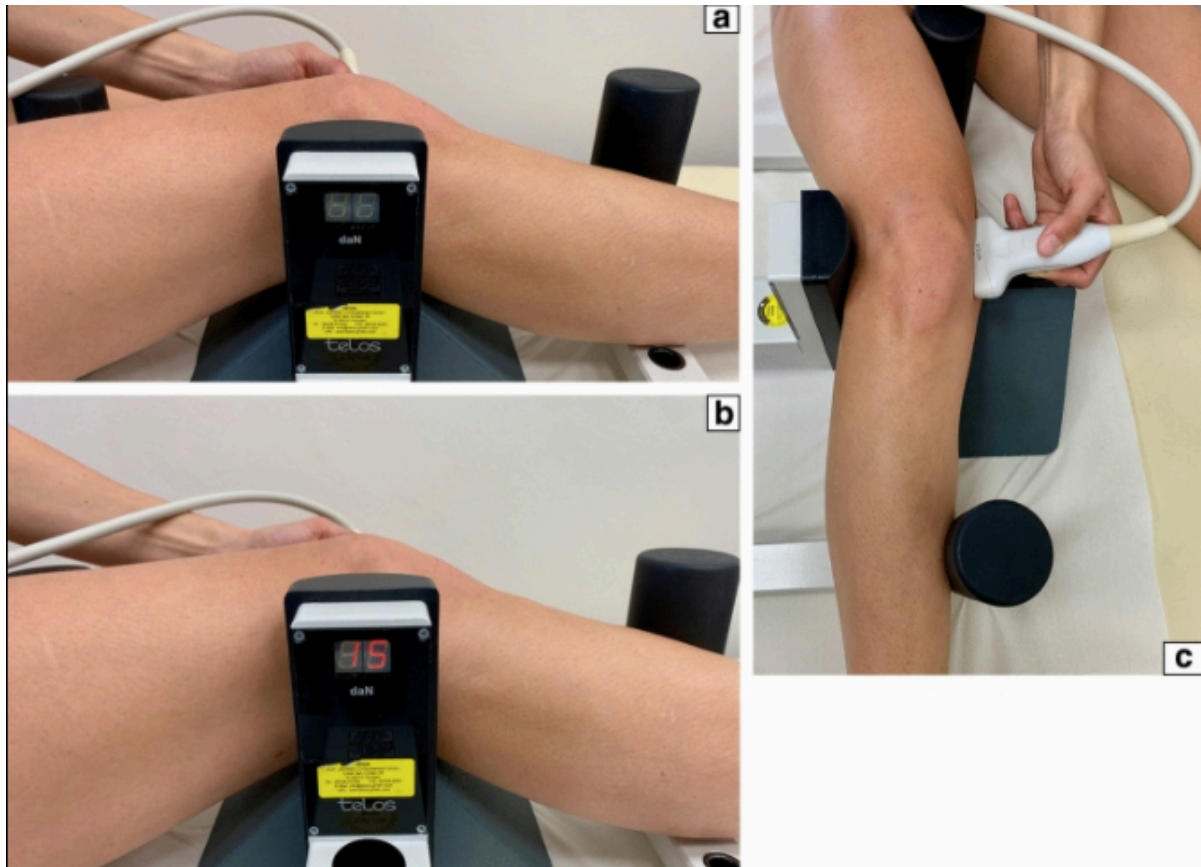


Abb. 9: a) 30° gebeugtes Knie in TELOS-Fixiervorrichtung in frontaler Neutralstellung, Ansicht von der Seite;
 b) 30° gebeugtes Knie in Telos-Fixiervorrichtung mit standardisiert appliziertem Valgusstress (15 daN), Ansicht von der Seite;
 c) 30° gebeugtes Knie in Telos-Fixiervorrichtung mit standardisiert appliziertem Valgusstress (15 daN), Ansicht von oben.

Für die Auswertung der Sonographiebilder wurde die Weite des Gelenkspaltes von der medialen Femurkondyle bis zum medialen proximalen Tibiaplateau in mm gemessen (Abb. 10). Die Auswertung erfolgte nach Empfehlungen von Schrickler und Graf. Hierbei wird eine Aufklappbarkeit von 4,4 +/- 1,1 mm als pathologisch gewertet (Schrickler et al., 1987, Graf and Schuler, 1995).

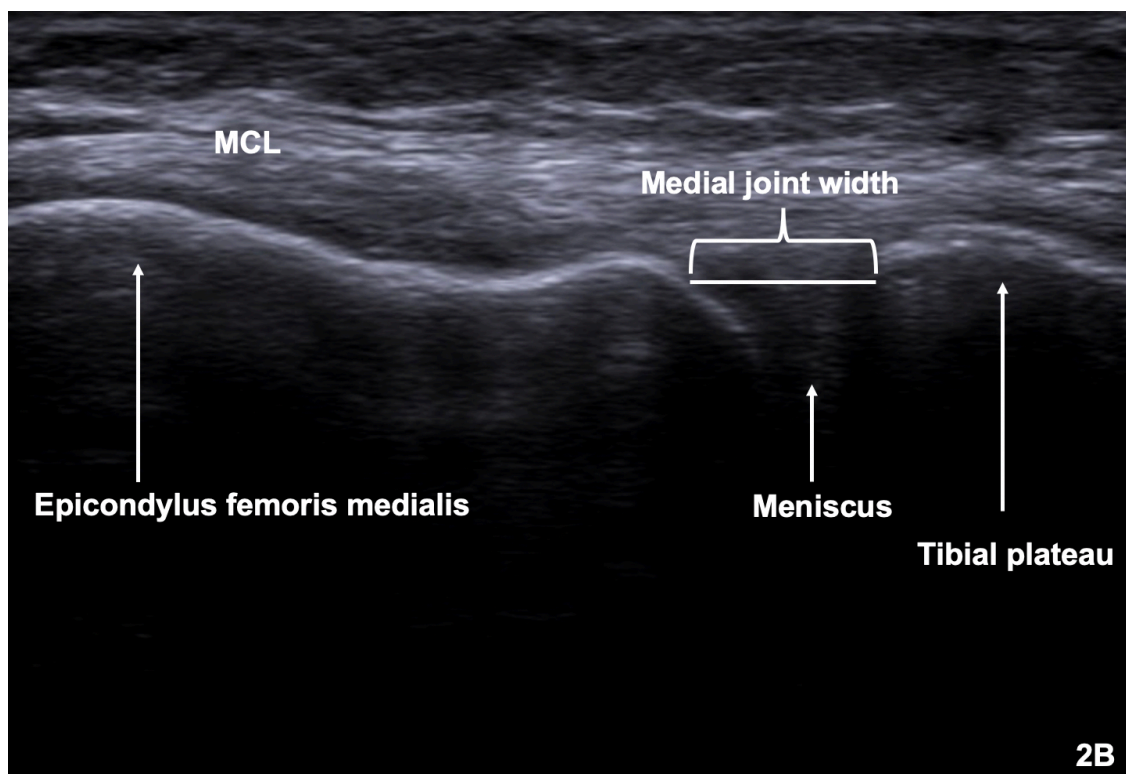
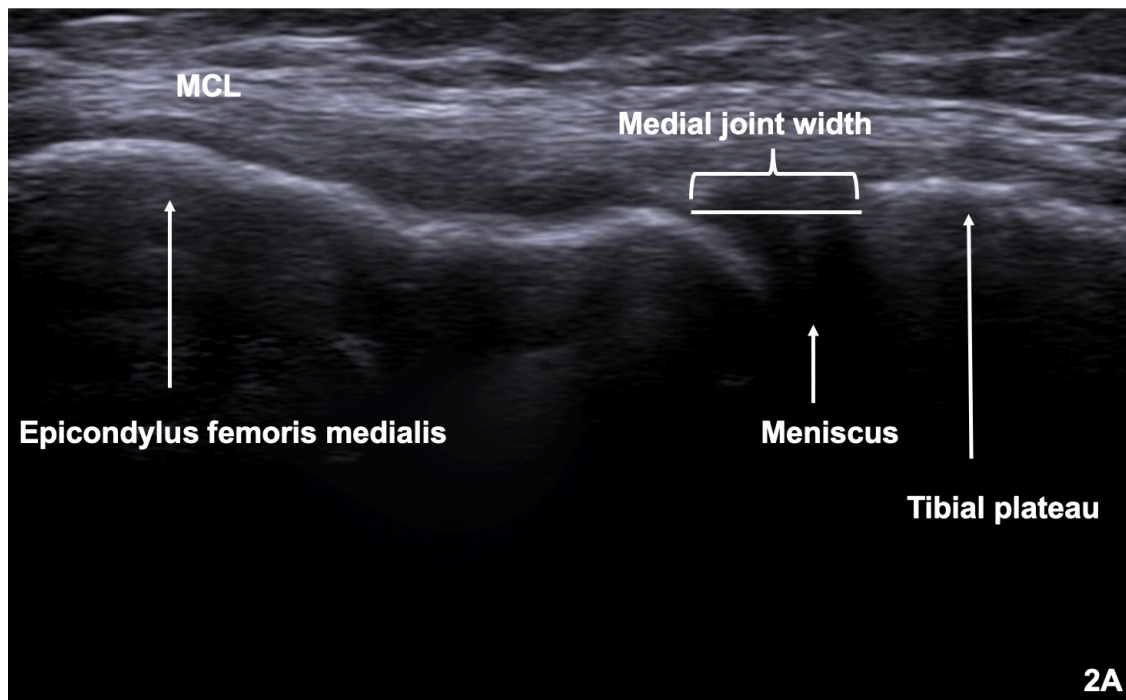


Abb. 10: Ultraschallbild des medialen Gelenkspalts in 30° Knieflexion in frontaler Neutralstellung (2A) und mit standardisiert appliziertem Valgusstress (15daN) durch das Telos-Haltegerät (2B).

Die weißen Pfeile zeigen die mediale Femurepikondyle, den medialen Meniskus und das proximale mediale Tibiaplateau. Eine weiße Linie ist zwischen dem Femur und dem Rand der Tibia abgebildet, welches die

Messung des medialen Gelenkspalts in Millimetern angibt. MCL (medial collateral ligament) (Lutz et al., 2021b).

Alle Messungen der Gelenkspaltweite wurden von einer Assistenzärztin der Sportorthopädie (Rater 1) anhand der Fotodokumentation der Sonographie durchgeführt.

Die mediale Weite des Gelenkspalts in 0° und 30° Knieflexion wurde in frontaler Neutralstellung und mit appliziertem Valgusstress des Kniegelenks für die Gruppe 1 und 2 verglichen. Außerdem wurde die durchschnittliche Differenz des Mittelwerts (mean change, Δ) der medialen Gelenkspaltweite zwischen der frontalen Neutralstellung und der applizierten Valgusstellung des Kniegelenks in 0° und 30° Flexion und beiden Gruppen verglichen, sowie die durchschnittliche Differenz (average change, Δ) im Seitenvergleich.

3.7 Durchführung der klinischen Untersuchung

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung mindestens 12 Monate postoperativ wurden die Patient:innen klinisch-orthopädisch von einer erfahrenen Assistenzärztin der Abteilung für Sportorthopädie sowie von einer Doktorandin untersucht. Die Untersuchung erfolgte nach einem standardisierten Untersuchungsvorgang und diente zur allgemeinen Befundung des Kniegelenks, zur Erfassung der postoperativen Bandstabilität und des Bewegungsumfanges. Alle folgenden Untersuchungen wurden zur Vergleichbarkeit immer an beiden Kniegelenken durchgeführt und in einem Untersuchungsbogen nach dem Format von IKDC dokumentiert (IKDC, 2000) (siehe Anhang).

Klinisch erfasst wurden die Schwellung, Rötung, Überwärmung, Erguss und möglich vorhandene Gelenkblockaden. Beinstellungen wurden klinisch in „Varus“, „Valgus“ und „gerade Beinachse“ unterschieden. Unter Palpation wurden mögliche Druckschmerzpunkte der medialen und lateralen Femurkondyle, des medialen und lateralen Tibiaplateaus und des medialen und lateralen Gelenkspaltes erfasst. Der Bewegungsumfang beider Kniegelenke wurde mit Hilfe eines Goniometers nach der Neutral-0-Methode gemessen. Die mediale und laterale Aufklappbarkeit der Kollateralbänder MCL und LCL wurden unter Varus- und Valgusstress in 0° Streckung und 30° Beugung des Kniegelenks erhoben (Hepp and Debrunner, 2004). Um die Stabilität des vorderen Kreuzbandes zu erfassen, führten wir den Lachman-Test, die vordere Schublade (Torg et al., 1976) und den Pivot-Shift-Test (Galway and

MacIntosh, 1980) durch, sowie für das hintere Kreuzband die hintere Schublade und das posterior Sag-Sign (Rubinstein et al., 1994). Mittels Steinmann-Test und Schmerzen bei Palpation über dem Gelenkspalt wurden mögliche Meniskusläsionen erfasst. Abschließend wurde das Vorliegen und Ausmaß von patellofemorale Krepitationen bestimmt sowie der Zohlen- und der Apprehensionstest durchgeführt.

3.8 Fragebogen und Scores

Im Anschluss an die klinische Untersuchung erhielt jede/r Patient:in fünf Fragebögen. Im ersten Teil wurden Fragen zur aktuellen Schmerzsituation, Arbeitsfähigkeit und die Wiederaufnahme von sportlichen Aktivitäten erfragt. Im zweiten Teil sollte das subjektive Schmerzempfinden mithilfe einer Visuellen Analogskala (VAS) ermittelt werden. Im dritten, vierten und fünften Bogen wurden folgende Scores erhoben:

- Tegner- Score
- Subjektiver Fragebogen des IKDC (International Knee Documentation Committee)
- Lysholm-Score

Mithilfe der Scores sollte auch eine Return-to-work und Return-to-sports Rate bestimmt werden, für einen Vergleich der Ergebnisse mit der Literatur.

Der Tegner-Score erfasst 11 unterschiedliche Aktivitätslevel mit Einteilungen wie Bewegungseinschränkungen aufgrund von Kniebeschwerden (Level 0) bis zu Wettkämpfen im Hochleistungssport (Level 10) (Tegner and Lysholm, 1985).

Der IKDC erfasst detaillierter das Aktivitätsniveau und das subjektive Schmerzempfinden des Patienten (Irrgang et al., 2001). Dies umfasst drei Kategorien: Symptome, sportliche Aktivität und Kniefunktion. Der Symptom-orientierte Teil soll die klinischen Symptome wie Schmerzen, Versteifungen, Schwellungen und Instabilitäten des Knies in ihrem Ausmaß abschätzen. Der Aktivitätsteil betrachtet Funktionen wie das hinauf und hinunter gehen einer Treppe, Knie beugen und Springen. Der Kniefunktions-Teil zielt auf die Hauptfrage ab: Wie ist die aktuelle Kniefunktion? Die Gesamtpunktzahl ergibt sich aus der Summe aller Punkte und wird in Prozent angegeben.

Die Berechnung der Gesamtpunktzahl des Formblattes zur subjektiven Beurteilung des Knies (IKDC) wurde mit einer spezifischen Formel errechnet. Hierbei ist zu verstehen, dass zu jeder Frage des Patienten/ der Patientin eine Punktzahl zugeordnet werden kann. Dabei ist die Punktzahl 1, der niedrigste Wert, der die höchste Symptomstufe des Patienten/ der Patientin darstellt. Aus der Summe aller vergebenen Punkte ergibt sich das Rohergebnis.

Mit dem Rohergebnis kann dann Anhand folgender Formel der IKDC-Score in Prozentangabe berechnet werden.

$$\text{IKDC- Ergebnis} = \frac{\text{Rohergebnis} - \text{Niedrigstmögliche Punkte}}{\text{Punktzahlbereich}} \times 100$$

Die niedrigste mögliche Punktzahl beträgt 18 und der Bereich möglicher Punktzahlen 87.

Je höher der Score ist, desto besser ist die Kniefunktion und desto geringer sind die Symptome.

Der Lysholm-Score untergliedert sich in die Rubriken Hinken, Gehilfe (Krücken oder Stock), Treppensteigen, Hocken, Instabilitätsgefühl, Schmerzen, Schwellung und Muskelschwäche (Lysholm and Tegner, 2007). Hierbei kann insgesamt eine Punktzahl von maximal 100 erreicht werden, wobei Instabilitätsgefühl und Schmerzen im Verhältnis zu den anderen Kategorien stärker gewichtet sind. Eine höhere Punktzahl geht mit geringeren Symptomen einher.

3.9 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit der Software SPSS (IBM, Armonk, New York, USA)) und Excel (Microsoft, Excel 2019). Für alle Tests wurde ein p-Wert kleiner 0,05 als statistisch signifikant angenommen.

Die oben bereits beschriebenen Ultraschallbilder wurden von einer Assistenzärztin (Rater 1) und einer Oberärztin (Rater 2) der Orthopädie ausgewertet. Die deskriptive Statistik wird durch den Mittelwert +/- Standardabweichung (SD) mit der Maßeinheit dezimal (dm) angegeben. Die Normalverteilung der Variablen wurde mit dem Kolmogorov-Smirnov Test geprüft. Die Mittelwertdifferenz (mean change) der Gelenkspaltweite zwischen appliziertem Valgusstress und frontaler Neutralstellung des Kniegelenks, sowie der Seitendifferenz der beiden Gruppen wurden mit Hilfe des Paardifferenzentests verglichen. Zur Auswertung der Korrelation von Gruppen wurde der Mann-Whitney U Test und der ungepaarte T-Test angewendet.

Der Interklassenkorrelationskoeffizient (ICC) wurde für die Vergleichbarkeit von Intra- und Interobserver berechnet. ICC-Werte $> 0,9$ wurden als sehr gut eingestuft, Werte zwischen $0,8 - 0,9$ als gut und Werte $< 0,8$ als schlecht. Die a priori Poweranalyse basierend auf den Ergebnissen von Zaffagnini et al. wurde mit G-Power (Erdfelder, Faul, Buchner, Lang, HHU Düsseldorf, Düsseldorf, Deutschland) erhoben (Zaffagnini et al., 2011). Der Autor berichtet in der Röntgenbildgebung einen Mittelwert der medialen Gelenkspaltöffnung (Seitendifferenz der medialen Gelenkspaltöffnung mit appliziertem Valgusstress und frontaler Neutralstellung des Kniegelenks) von $0,9$ mm (SD $0,7$) nach isolierter VKB-Rekonstruktion mit einem Telos-Haltegerät gemessen zu haben und $1,7$ mm (SD $0,9$) nach VKB-Rekonstruktion mit zuvor konservativ behandelter MCL-Grad-II-Verletzung (Zaffagnini et al., 2011).

Die Poweranalyse mit einer Stichprobengröße von 20 Knien in jeder Gruppe erzielte eine effektive Größe von $0,81$, die eine statistische Power von $0,8$ erfüllt.

4 Ergebnisse

4.1 Drop-out Analyse

Von den 115 Patient:innen, die im Studienzeitraum mit VKB- und gleichzeitiger MCL-Verletzung behandelt wurden, konnten für die klinische und sonographische Nachuntersuchung 40 Patient:innen rekrutiert werden. Damit lag die Follow-up Rate bei 35 %. Die restlichen Patient:innen konnten aufgrund fehlender Erreichbarkeit, falscher Handynummer, Ablehnung der Nachuntersuchung, zu weiter Anreise oder im Ausland lebend nicht an der Nachuntersuchung teilnehmen. In Abbildung 11 ist die Patient:innenrekrutierung dargestellt.

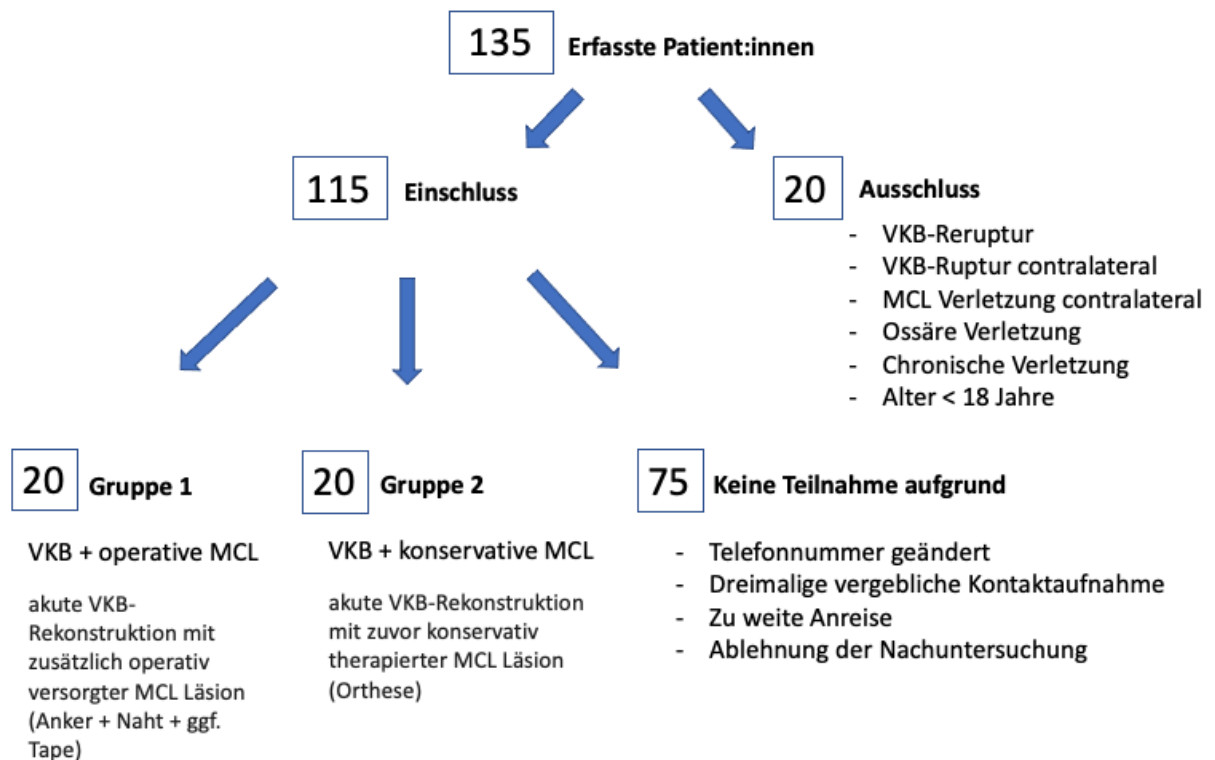


Abb. 11: Patient:innenrekrutierung. 135 Patient:innen wurden insgesamt in der Studie erfasst, davon wurden 20 Pat. aufgrund der oben aufgelisteten Punkte ausgeschlossen. Von den insgesamt 115 eingeschlossenen Pat. haben 75 Pat. aufgrund der oben aufgelisteten Punkte nicht teilgenommen. Die insgesamt 40 verbliebenen Pat., die zu einer Nachuntersuchung erschienen sind, wurden je nach Therapie-Algorithmus der kombinierten VKB- und MCL-Verletzung in zwei Gruppen eingeteilt. VKB (vorderes Kreuzband), MCL (medial collateral ligament).

4.2 Demographische Daten

20 Personen des Kollektivs wurden mit einer frühen VKB-Rekonstruktion und gleichzeitiger operativer MCL-Therapie versorgt, und 20 Patient:innen erhielten eine konservative Therapie der MCL-Verletzung mit anschließender VKB-Rekonstruktion.

Beim Vergleich der beiden Studiengruppen fanden sich keine signifikanten Unterschiede beim Alter, BMI und bei den versorgten Begleitverletzungen des Meniskus. Allerdings war die Verteilung der Geschlechter in den Studiengruppen unterschiedlich, sowie die Ausprägung der Innenbandkomplex Verletzungen. Die personenbezogenen Daten der gesamten Studiengruppe sind in Tabelle 2 wiederzufinden.

Tabelle 2: Patient:innendaten der gesamten Studiengruppe. Stetige Variable ist in Mittelwert \pm Standardabweichung (range) angezeigt, kategoriale Variablen sind in Prozent angegeben. BMI (body mass index), MCL (medial collateral ligament).

	Gruppe 1	Gruppe 2
Anzahl von Patient:innen, n	20	20
Follow-up (Monate)	33,0 \pm 16,7 (13-68)	34,3 \pm 15,2 (12-52)
Alter (Jahre)	39,8 \pm 12,1 (20-55)	33,1 \pm 8,1 (23-60)
Gender, n (%)		
männlich	8 (40%)	16 (80%)
weiblich	12 (60%)	4 (20%)
BMI (kg/m²)	25,0 \pm 5,7 (18,3-42,4)	27,4 \pm 5,6 (20,1-39,4)
Betroffene Seite, n (%)		
rechts	12 (60%)	6 (30%)
links	8 (40%)	14 (70%)
MCL-Grade, n (%)		
Grad I		20 (100%)
Grad II	8 (40%)	
Grad III	12 (60%)	
MCL-Versorgung, n (%)		
Anker + direkte Naht	14 (70%)	
Anker + direkte Naht + Tape	6 (30%)	
Meniskus-Naht, n (%)		
Lateraler Meniskus	9 (45%)	5 (25%)
Medialer Meniskus	0 (0%)	1 (5%)
Lateraler und medialer Meniskus	4 (20%)	3 (15%)

4.3 Postoperative Komplikationen

Bei drei Patient:innen wurde eine Arthrofibrose diagnostiziert, die zu einer therapieresistenten Einschränkung der Beweglichkeit des Knies führte. Hier erfolgte eine arthroskopische Arthrolyse, um die vollständige Beweglichkeit des Knies wieder zu erlangen. Bei den Patient:innen in Gruppe 1 konnte nach fünf bis sieben Monaten und in Gruppe 2 nach drei Monaten eine deutliche Besserung der Kniebeweglichkeit erzielt werden.

4.4 Ergebnisse der sonographischen Untersuchung

Bei allen Messungen fand sich eine exzellente Intrarater Reliabilität. Die ICC Werte waren 0,96 bei einer frontalen Neutralstellung des Kniegelenks und 0,95 bei applizierter Valgusstellung des Knies. Die Interrater Reliabilität waren mit ICC Werten von 0,94 bei frontaler Neutralstellung des Kniegelenks und 0,95 bei applizierter Valgusstellung des Knies, ebenfalls sehr gut. Die Ergebnisse der Ultraschallmessungen sind in Abbildung 12 dargestellt. Zwei Punkte sind zu erkennen, erstens lässt sich die durchschnittliche Differenz der Weite des medialen Gelenkspalts zwischen applizierter Valgusstellung und frontaler Neutralstellung des Knies in 0° und 30° Knieflexion bei beiden Gruppen definieren. Zweitens ist die Seitendifferenz zwischen applizierter Valgusstellung und frontaler Neutralstellung des Knies in der jeweiligen Knieflexion 0° und 30° ersichtlich. Zwischen den Gruppen konnte kein signifikanter Unterschied gefunden werden (siehe Abb. 12).

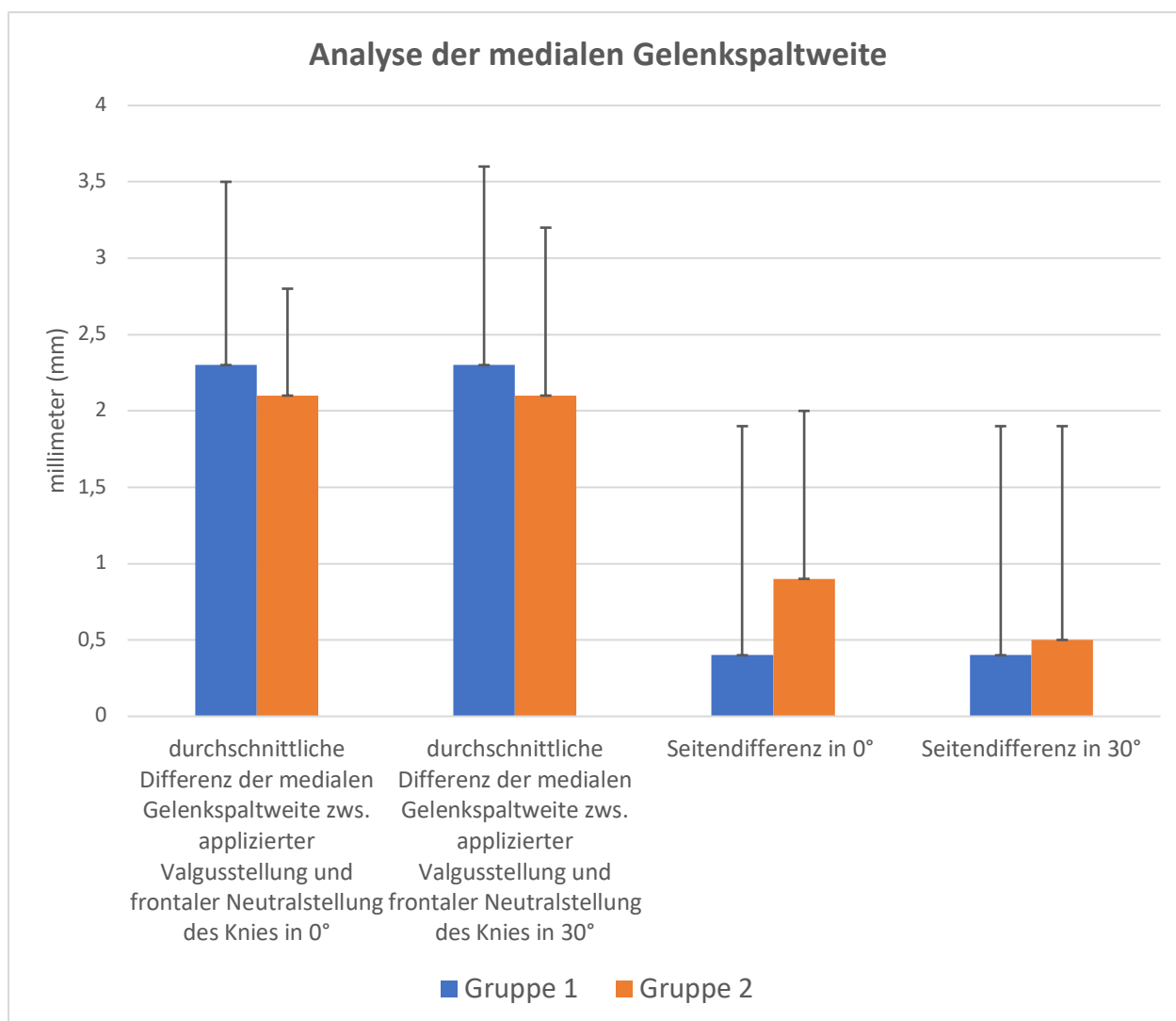


Abb. 12: Säulendiagramm mit den sonographischen Ergebnissen der medialen Gelenkspaltweite (Mittelwert \pm Standardabweichung; in mm angegeben) des medialen Kniegelenks. Durchschnittliche Differenz zwischen appliziertem Valgusstress und frontaler Neutralstellung des Kniegelenks in 0° und 30° Knieflexion, sowie die Seitendifferenz der durchschnittlichen Differenz in 0° und 30° Knieflexion.

4.5 Ergebnisse der klinischen Nachuntersuchung

In Bezug auf das vordere Kreuzband zeigte ein Patient in Gruppe 2 einen positiven Pivot-Shift Test. Ein positiver Lachman-Test konnte bei einem Patienten in Gruppe 1 und bei drei Patienten der Gruppe 2 nachgewiesen werden. Eine mediale Aufklappbarkeit des Innenbandkomplexes wurde bei vier Patient:innen mit IKDC Grad B in 0° und bei 7 Patienten mit IKDC Grad B in 30° Knieflexion in Gruppe 1 nachgewiesen. Die Patient:innen der Gruppe 2 zeigten stabile Ergebnisse in der medialen Aufklappbarkeit des Kniegelenks, IKDC Grad A.

4.6 Ergebnisse der Scores und Fragebögen

Ein Vergleich der zwei Gruppen mit den Ergebnissen der Scores sind in Tabelle 3 wiedergegeben. Die erste Studiengruppe, Patienten mit operativer MCL-Versorgung zeigten ein signifikant höheres VAS-Ergebnis in Ruhe und niedrigere Ergebnisse im Lysholm-Score. Wohingegen kein signifikanter Unterschied zwischen den zwei Gruppen für den subjektiven IKDC-Score und des Tegner-Scores gefunden werden konnte. Der Mittelwert in der Return-to-sports Zeit war in Gruppe 1 bei $22,3 \pm 14,7$ Monaten (Variationsbreite, 6-60) und in Gruppe 2 lag die Return-to-Sports Zeit bei $20,3 \pm 8,8$ Monate (Variationsbreite 6-36) (n.s.). Eine graphische Darstellung des Lysholm-Scores und der IKDC-Scores befindet sich in Abbildung 13 und 14.

Tabelle 3: Ergebnisse der Scores und Fragebögen: Stetige Variablen sind als Mittelwert \pm Standardabweichung (range) angegeben. a Medianwerte; b statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen. VAS, Visual Analogue Scale (Schmerz); IKDC, International Knee Documentation Committee

	Gruppe 1	Gruppe 2	p-Wert
VAS^a			
Ruhe	1	0	0.000 ^b
Bewegung	2	1	0.298
IKDC	78.0 \pm 16.5 (49.4 – 99.0)	85.1 \pm 12.8 (46.0 – 99.0)	0.136
Lysholm-Score	74.5 \pm 18.5 (29.0 – 100.0)	85.6 \pm 14.8 (37.0 – 100.0)	0.044 ^b
Tegner-Score^a	4	5	0.168

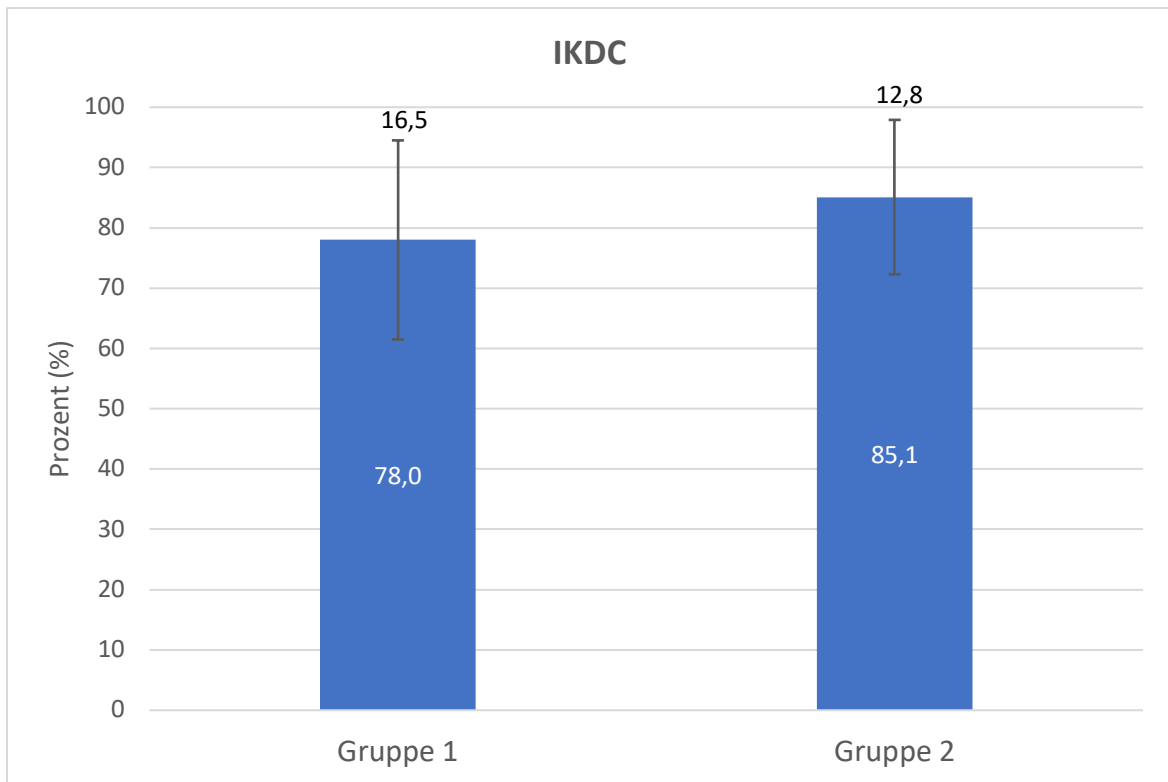


Abb. 13: Säulendiagramm mit den Ergebnissen des IKDC-Scores (Mittelwert \pm Standardabweichung) für Gruppe 1 und 2.

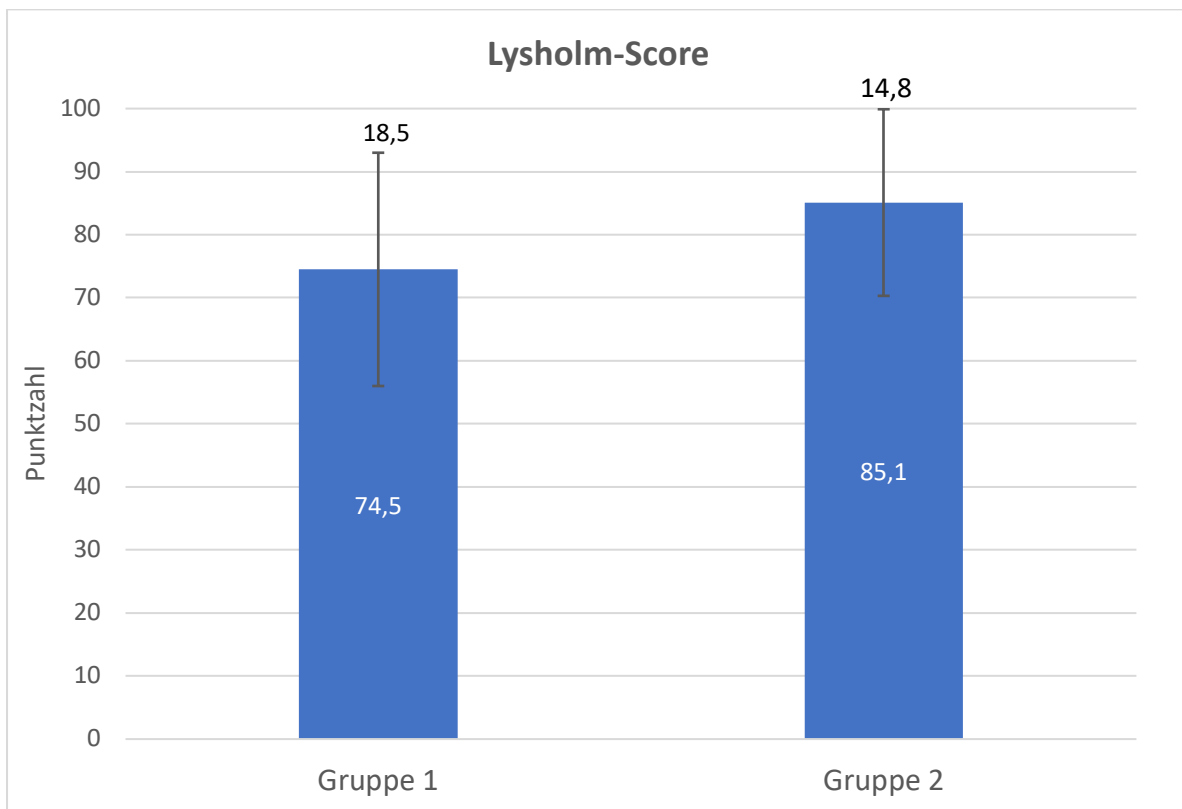


Abb. 14: Säulendiagramm mit den Ergebnissen des Lysholm-Scores (Mittelwert \pm Standardabweichung) für Gruppe 1 und 2.

5 Diskussion

Die wichtigste Erkenntnis der vorliegenden Studie war, dass hinsichtlich der ultraschallbasierten Quantifizierung der MCL-Laxizität keine signifikanten Unterschiede nach operativer und nichtoperativer Behandlung von MCL-Verletzungen aufzuweisen waren, wenn gleichzeitig eine VKB-Ruptur mit einer VKB-Rekonstruktion behandelt wurde.

Im Gegensatz zur klinischen Beurteilung von VKB-Verletzungen, werden MCL-Verletzungen klinisch durch einen Valgustest bei 0° und 20 ° beurteilt. Eine objektive Quantifizierung der Instabilität, durch Beurteilung der Erweiterung des medialen Gelenkspaltes, wurde bislang anhand von sogenannten Stressröntgenaufnahmen durchgeführt (Laprade et al., 2010, Meyer et al., 2021). Die Durchführung von Röntgen Stressaufnahmen ist jedoch im klinischen Setting sehr aufwändig, bei frischer Knieverletzung extrem schmerzbehaftet und mit einer Strahlenbelastung des Patienten/ der Patientin verbunden (Meyer et al., 2021). Eine Alternative zur objektiven Quantifizierung der medialen Instabilität des Kniegelenks stellt die Ultraschalluntersuchung dar.

Sowohl in vorherigen als auch in dieser Studie erwies sich die funktionelle Ultraschall-Methode der medialen Strukturen des Kniegelenks als eine geeignete Methode, um die mediale Gelenkspaltweite des Knies zu beschreiben (Gruber et al., 1998, Lutz et al., 2021a, Schrickler et al., 1987, Slane et al., 2017, Kleinbaum and Blankstein, 2008). Zur Standardisierung und Reproduzierbarkeit dieser Methode ist jedoch eine apparative Untersuchung wesentlich. Um eine standardisierte reproduzierbare Messung der medialen Aufklappbarkeit zu erlangen, wurde in der vorliegenden Studie ein Telos-Haltegerät verwendet (Lutz et al., 2021a, Gruber et al., 1998). Trotz der Verwendung dieser Hilfsmittel ist jedoch auch diese Methode untersucher:inabhängig und damit eingeschränkt reproduzierbar (Lutz et al., 2021a, Slane et al., 2017).

Die durchschnittliche Seitendifferenz nach kombinierten VKB- und MCL-Verletzungen lag in beiden Untersuchungsgruppen bei < 1 mm. Vergleichbare Ergebnisse fanden DeLong et al. in einer systematischen Übersichtsarbeit mit einer durchschnittlichen Seitendifferenz von $1,3 \pm 0,9$ mm nach einer MCL-Rekonstruktion (DeLong and Waterman, 2015). In weiteren Studien unter Verwendung radiographischer Techniken konnte kein signifikanter Unterschied der medialen Aufklappbarkeit im Seitenvergleich zwischen Gruppen nach konservativer

Behandlung von MCL-Grad-II und -III-Verletzungen oder operativer MCL-Therapie festgestellt werden (Halinen et al., 2006b, Wijdicks et al., 2010b, Nakamura et al., 2003).

In der vorliegenden Studie betrug die durchschnittliche Differenz (Δ) zwischen appliziertem Valgusstress und frontaler Neutralstellung des Knies bei 0° und 30° Knieflexion $2,3 \pm 1,2$ mm in Gruppe 1 und $2,1 \pm 0,7$ mm in Gruppe 2. Frühere Ultraschall-Untersuchungen an gesunden Kniegelenken zeigten ähnliche Ergebnisse (Gruber et al., 1998, Lutz et al., 2021a, Slane et al., 2017). Die Ultraschallergebnisse dieser Studie zeigten, dass die Valgusstabilität nach kombinierten VKB- und MCL-Verletzungen keine Unterschiede zwischen beiden Gruppen aufweisen und die Valgusstabilität den Werten des unverletzten Kniegelenks entsprach. Somit kann man vermuten, dass eine vollständige Wiederherstellung der Valgusstabilität für beide Gruppen wieder vollständig vorhanden ist, jedoch sind hierfür weitere Studien notwendig.

In der klinischen Untersuchung des Kniegelenks wurde im Valgustest bei 0 und 30 ° bei allen Patient:innen beider Studiengruppen ein IKDC Grad A oder B (sehr gut und gut) als Hinweis für eine suffiziente mediale Kniestabilität festgestellt. Die verbesserte Valgusstabilität im Follow-up bei operativ oder konservativ therapierter MCL-Verletzung mit kombinierter VKB-Rekonstruktion sind mit früheren Untersuchungen nach verschiedenen MCL-Behandlungsansätzen vergleichbar (DeLong and Waterman, 2015, Desai et al., 2020, Grant et al., 2012b, Halinen et al., 2006b, Jokela et al., 2021, Kannus, 1988, Koga et al., 2012b, Lind et al., 2020, Millett et al., 2004, Osti et al., 2010, Zaffagnini et al., 2011).

Die Ergebnisse der subjektiven Outcome-Scores der vorliegenden Studie zeigten, dass die Gruppe 2, mit konservativer MCL-Therapie, bessere Ergebnisse erzielten als Gruppe 1, mit operativ versorgten MCL-Verletzungen, jedoch waren die Ergebnisse nur beim Lysholm-Score signifikant. Dies steht im Einklang mit den jüngsten Ergebnissen von Westermann et al., die bei kombinierten VKB- und MCL-Verletzungen nach nicht-operativen MCL-Verletzungen des Grades III im Vergleich zur operativen MCL-Behandlung über bessere, subjektive Ergebnisse berichteten (Westermann et al., 2019).

Die Ergebnisse des subjektiven IKDC-Scores mit 78 Punkten in Gruppe 1 und 85 Punkten in Gruppe 2 waren im Vergleich zu den Ergebnissen von Canata et al. und Desai et al. mit 94 und 89 Punkten nach VKB-Rekonstruktion und MCL-Refixation etwas niedriger (Canata et al., 2012, Desai et al., 2020). Dies trifft für die Ergebnisse des Lysholm-Scores ebenfalls zu, in welchem im Vergleich zu anderen Publikationen (Canata et al., 2012, DeLong and Waterman, 2015,

Desai et al., 2020, Koga et al., 2012b, Osti et al., 2010) nur mittelmäßige Ergebnisse in der vorliegenden Studie erzielt werden konnten. Jedoch waren die Lysholm- und subjektiven IKDC- Ergebnisse der nicht operativ versorgten MCL-Verletzungen mit kombinierter VKB-Rekonstruktion mit guten Ergebnissen früherer Untersuchungen vergleichbar (Millett et al., 2004, Petersen and Laprell, 1999, Westermann et al., 2019). Halinen et al. beschrieben, dass eine 10-Punkte Differenz im Lysholm-Score als klinisch bedeutsam eingestuft werden kann (Halinen et al., 2006b). Dies führt zu der Annahme, dass die Auswirkungen eines invasiveren chirurgischen Eingriffs (VKB-Rekonstruktion und MCL-Refixation/Naht) zu klinisch signifikanten Unterschieden bei den subjektiven Ergebnissen im Vergleich zu VKB-Rekonstruktion und nicht-operativer MCL-Behandlung führen. Wahrscheinliche Gründe für die subjektiv niedrigeren Werte nach VKB-Rekonstruktion und MCL-Refixation sind, dass höhergradige MCL-Läsionen zu ausgeprägten extraartikulären Weichteilverletzungen führten. Daher könnten Verletzungen der tiefen MCL-Strukturen die niedrigeren subjektiven Werte der Gruppe mit operativ versorgter MCL-Läsion in der vorliegenden Studie erklären.

Die operative MCL-Therapie bei VKB-Rekonstruktion wurde als wichtiger Risikofaktor für den Verlust der Kniefunktion mit Gelenksteife beschrieben (Noyes and Barber-Westin, 1995). In der untersuchten Kohorte trat postoperativ eine eingeschränkte Gelenkbeweglichkeit (Steife) des Knies aufgrund einer Arthrofibrose bei zwei Patient:innen der Gruppe 1 (10 %) und bei einem Patienten der Gruppe 2 (5 %) auf und war damit geringer als in früheren Untersuchungen von Westermann et al. (Westermann et al., 2019). Eine Erklärung für das Auftreten dieser Komplikation kann an der gleichzeitigen VKB-Rekonstruktion liegen, da eine postoperative Bewegungseinschränkung die häufigste Komplikation ist (Mayr et al., 2004, Shirakura et al., 1995). Bei 3 von 3 Patient:innen war jedoch eine erneute Arthroskopie mit einer Arthrolyse klinisch erfolgreich und die Gelenkbeweglichkeit zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung normal.

5.1 Limitationen der Studie

Die vorliegende Studie hat einige Limitierungen. Die Studie war nicht verblindet, d.h. die klinische Untersuchung der Patient:innen wurden von einer erfahrenen Assistenzärztin, sowie einer Doktorandin durchgeführt, denen die Zuordnung der Patient:innen zu einer der beiden Studiengruppen bekannt war.

Die Follow-up Rate bei der vorliegenden Untersuchung lag bei nur 35% (d.h. von 115 Pat. konnten nur 40 Pat. nachuntersucht werden). Hierfür sind verschiedene Gründe verantwortlich. Einerseits waren zahlreiche Patient:innen nicht mehr erreichbar, in den meisten Fällen wegen einer falschen Handynummer. Dies scheint besonders bei jüngeren Menschen häufiger vorzukommen, da Festnetznummern bei häufigen Wohnungswechseln im jungen Alter nicht existierten, und Handynummern offenbar häufiger gewechselt werden.

Ein weiterer Grund bei Patient:innen die zwar erreicht wurden, aber nicht zur Nachuntersuchung anreisen wollten, lag in einer weiten Entfernung des aktuellen Wohnortes zur Klinik. Gerade junge Menschen wechseln nach Abschluss ihrer Ausbildung (z.B. Studium) aus beruflichen Gründen häufiger den Wohnort. In diesem Setting wäre die Anreise zu einer Nachuntersuchung mit einem erheblichen Zeitaufwand verbunden gewesen.

Im vorliegenden Studiendesign war eine zufällige Zuordnung der Patient:innen zu einer der beiden Studiengruppen (z.B. in Form einer Randomisierung) nicht möglich. Daher kann in der vorliegenden Untersuchung ein systematischer Fehler in Form eines Selektionsbias vorliegen und es ist möglich, dass die Ursache für bessere subjektive Score-Ergebnisse der Gruppe 2 darin begründet ist, dass in der Gruppe 2 mehr Verletzungen mit geringeren Ausprägungen waren. Patient:innen der Gruppe 2 wiesen ausschließlich MCL-Verletzungen Grad I auf, während Patient:innen in Gruppe 1 MCL-Verletzungen Grad II und III erlitten.

Ein weiterer systematischer Fehler (Bias) der Studie liegt darin, dass im Hinblick auf die Geschlechterverteilung die beiden Studiengruppen signifikant unterschiedlich waren. Aus anderen Studien ist bekannt, dass Frauen eine geringere mediale Aufklappbarkeit des Innenbandkomplexes aufwiesen als Männer (Lutz et al., 2021a).

Die Ergebnisse der Studie sind lediglich als Kurzzeitergebnisse zu interpretieren. Das langfristige Outcome der Patient:innen wäre nur mit einer Nachuntersuchung z.B. fünf Jahre nach der Verletzung zu erfassen.

6 Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zur Therapie kombinierter VKB- und MCL-Verletzungen zeigen keine signifikanten Unterschiede. Es besteht die Annahme, dass ein abgestuftes Therapieschema der Innenbandverletzung (konservative Therapie bei mittelgradigen Verletzungen, operative Therapie bei höhergradigen Verletzungen) zu guten klinischen und funktionellen Ergebnissen führt. Weitere Studien sind hier langfristig notwendig.

7 Zusammenfassung

Ziel:

Vordere Kreuzband (VKB-) Verletzungen sind häufig mit medialen Kollateralband (MCL-) Verletzungen kombiniert. Das Ziel der vorliegenden Studie war es, sonographisch, klinisch und anhand subjektiver Scores die mediale Aufklappbarkeit nach kombinierter VKB- und MCL-Verletzung zu ermitteln.

Material und Methode:

Im Zeitraum von 2014 bis 2019 wurden alle Patient:innen >18 Jahre, die eine VKB-Rekonstruktion mit gleichzeitiger operativer MCL-Therapie (Gruppe 1) oder konservativ therapierter MCL-Verletzung (Gruppe 2) mit einer Follow-up Zeit von mindestens 12 Monaten erhielten, in die Studie eingeschlossen. MCL-Verletzungen Grad II mit disloziertem Ausriss der tibialen oder femoralen Insertion oder Grad III Verletzungen erhielten eine operative Refixation/Naht (Gruppe 1), während interligamentäre MCL-Grad-II-Verletzungen ohne dislozierter Läsion eine konservative Behandlung erhielten (Gruppe 2). Im Follow-up wurde die mediale Gelenkspaltweite des Kniegelenks mittels funktioneller Sonographie in gestrecktem Zustand und 30° flektiertem Kniegelenk, sowie die frontale Neutralstellung und die applizierte Valgusstellung (15 daN) des Kniegelenks mit Hilfe eines Teloshaltegeräts ermittelt. Außerdem wurde die objektive Kniestabilität in klinischen Untersuchungen überprüft, sowie die subjektive Kniestabilität durch subjektive Scores wie den IKDC; Tegner- und Lysholm- Score bestimmt.

Ergebnisse:

Insgesamt wurden 40 Patient:innen, 20 pro Gruppe, in der Studie untersucht. Das mittlere Alter in Gruppe 1 lag bei 40 ± 12 Jahren (60% Frauen) und die durchschnittliche Follow-up Zeit lag bei $33,0 \pm 16,7$ Monaten. In Gruppe 2 lag das Durchschnittsalter bei 33 ± 8 Jahren (20 % Frauen) und die durchschnittliche Follow-up Zeit betrug $34,1 \pm 15,2$ Monate. Die Seitendifferenz der medialen Aufklappbarkeit des Kniegelenks war in der sonographischen Untersuchung in Gruppe 1 $0,4 \pm 1,5$ mm in 0° und $0,4 \pm 1,5$ mm in 30° Knieflexion und in Gruppe 2 $0,9 \pm 1,1$ mm in 0° und $0,5 \pm 1,5$ mm in 30 ° Knieflexion. Hier zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen. Gruppe 1, mit VKB-Rekonstruktion und operativer MCL-Therapie erzielte signifikant niedrigere Lysholm-Scores

(75 ± 19 gegen 86 ± 15; p < 0,05) als Gruppe 2. Kein statistisch signifikanter Unterschied konnte beim subjektiven IKDC und Tegner- Aktivitäts- Score zwischen den beiden Gruppen gefunden werden.

Schlussfolgerung:

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zur Therapie kombinierter VKB- und MCL-Verletzungen zeigen keine signifikanten Unterschiede. Es besteht die Annahme, dass ein abgestuftes Therapieschema der Innenbandverletzung (konservative Therapie bei mittelgradigen Verletzungen, operative Therapie bei höhergradigen Verletzungen) zu guten klinischen und funktionellen Ergebnissen führt. Weitere Studien sind hier langfristig notwendig.

8 Literaturverzeichnis

- AHN, J. H. & LEE, S. H. 2016. Risk factors for knee instability after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, 24, 2936-2942.
- ALENTORN-GELI, E., MYER, G. D., SILVERS, H. J., SAMITIER, G., ROMERO, D., LAZARO-HARO, C. & CUGAT, R. 2009. Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 17, 705-29.
- ANDERSSON, A. C. 1993. Knee laxity and function after conservative treatment of anterior cruciate ligament injuries. A prospective study. *Int J Sports Med*, 14, 150-3.
- ANGELE, P., EICHHORN, H., HOFFMANN, H. & KRUTSCH, W. 2013. Prävention von vorderen Kreuzbandrupturen. . *SFA, Arthroskopie aktuell*.
- ARNOCZKY, S. P. 1983. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Clin Orthop Relat Res*, 19-25.
- ATESCHRANG, A., DÖBELE, S., FREUDE, T., STÖCKLE, U., SCHRÖTER, S. & KRAUS, T. 2016. Acute MCL and ACL injuries: first results of minimal-invasive MCL ligament bracing with combined ACL single-bundle reconstruction. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 136, 1265-1272.
- BLANKE F, P. J., MAJEWSKI M, VALDERRABANO V, PAGENSTERT G. 2014. Treatment of concomitant MCL lesion in athletes with ACL rupture. Unsolved problems and new therapy concepts. . *OUP*.
- BOLLEN, S. 2000. Epidemiology of knee injuries: diagnosis and triage. *Br J Sports Med*, 34, 227-8.
- BOLLIER, M. & SMITH, P. A. 2014a. Anterior cruciate ligament and medial collateral ligament injuries. *Journal of Knee Surgery* 27, 359-368.
- BOLLIER, M. & SMITH, P. A. 2014b. Anterior cruciate ligament and medial collateral ligament injuries. *The journal of knee surgery*, 27, 359-368.
- CANATA, G. L., CHIEY, A. & LEONI, T. 2012. Surgical technique: does mini-invasive medial collateral ligament and posterior oblique ligament repair restore knee stability in combined chronic medial and ACL injuries? *Clin Orthop Relat Res*, 470, 791-7.
- CARLSON, V., SHEEHAN, F. & BODEN, B. 2016. Video Analysis of Anterior Cruciate Ligament (ACL) Injuries: A Systematic Review. *JBSJ Reviews*, 4, 1.
- CARSON, E. W., ANISKO, E. M., RESTREPO, C., PANARIELLO, R. A., O'BRIEN, S. J. & WARREN, R. F. 2004. Revision anterior cruciate ligament reconstruction: etiology of failures and clinical results. *J Knee Surg*, 17, 127-32.
- CHAN, E. F., COCKMAN, M. D., GOEL, P., NEWMAN, P. S. & HIPPEL, J. A. 2021. Characterization of the mid-coronal plane method for measurement of radiographic change in knee joint space width across different levels of image parallax. *Osteoarthritis Cartilage*, 29, 1306-1313.
- CHEN, L., COOLEY, V. & ROSENBERG, T. 2003. ACL reconstruction with hamstring tendon. *The Orthopedic clinics of North America*, 34, 9-18.
- CHHABRA, A., STARMAN, J. S., FERRETTI, M., VIDAL, A. F., ZANTOP, T. & FU, F. H. 2006. Anatomic, radiographic, biomechanical, and kinematic evaluation of the anterior cruciate ligament and its two functional bundles. *J Bone Joint Surg Am*, 88 Suppl 4, 2-10.

- COOBS, B. R., WIJDICKS, C. A., ARMITAGE, B. M., SPIRIDONOV, S. I., WESTERHAUS, B. D., JOHANSEN, S., ENGBRETSEN, L. & LAPRADE, R. F. 2010. An in vitro analysis of an anatomical medial knee reconstruction. *Am J Sports Med*, 38, 339-47.
- CRAFT, J. A. & KURZWEIL, P. R. 2015. Physical examination and imaging of medial collateral ligament and posteromedial corner of the knee. *Sports Med Arthrosc Rev*, 23, e1-6.
- CRAWFORD, S. N., WATERMAN, B. R. & LUBOWITZ, J. H. 2013. Long-term failure of anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 29, 1566-71.
- DALE, K. M., BAILEY, J. R. & MOORMAN, C. T., 3RD 2017. Surgical Management and Treatment of the Anterior Cruciate Ligament/Medial Collateral Ligament Injured Knee. *Clin Sports Med*, 36, 87-103.
- DE MAESENEER, M., MARCELIS, S., BOULET, C., KICHOUH, M., SHAHABPOUR, M., DE MEY, J. & CATTRYSSE, E. 2014. Ultrasound of the knee with emphasis on the detailed anatomy of anterior, medial, and lateral structures. *Skeletal Radiol*, 43, 1025-39.
- DELFINO, A. J. & GARRETT, W. E., JR. 1998. Mechanisms of injury of the anterior cruciate ligament in soccer players. *Clin Sports Med*, 17, 779-85, vii.
- DELONG, J. M. & WATERMAN, B. R. 2015. Surgical Repair of Medial Collateral Ligament and Posteromedial Corner Injuries of the Knee: A Systematic Review. *Arthroscopy*, 31, 2249-55.e5.
- DESAI, V. S., WU, I. T., CAMP, C. L., LEVY, B. A., STUART, M. J. & KRYCH, A. J. 2020. Midterm Outcomes following Acute Repair of Grade III Distal MCL Avulsions in Multiligamentous Knee Injuries. *J Knee Surg*, 33, 785-791.
- DONG, J., WANG, X. F., MEN, X., ZHU, J., WALKER, G. N., ZHENG, X. Z., GAO, J. B., CHEN, B., WANG, F. & ZHANG, Y. 2015. Surgical treatment of acute grade III medial collateral ligament injury combined with anterior cruciate ligament injury: anatomic ligament repair versus triangular ligament reconstruction. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 31, 1108-1116.
- ELKIN, J. L., ZAMORA, E. & GALLO, R. A. 2019. Combined Anterior Cruciate Ligament and Medial Collateral Ligament Knee Injuries: Anatomy, Diagnosis, Management Recommendations, and Return to Sport. *Curr Rev Musculoskelet Med*, 12, 239-244.
- FETTO, J. F. & MARSHALL, J. L. 1978. Medial collateral ligament injuries of the knee: a rationale for treatment. *Clin Orthop Relat Res*, 206-18.
- GALLO, R. A., KOZLANSKY, G., BONAZZA, N. & WARREN, R. F. 2017. Combined anterior cruciate ligament and medial collateral ligament reconstruction using a single Achilles tendon allograft. *Arthroscopy techniques*, 6, e1821-e1827.
- GALWAY, H. R. & MACINTOSH, D. L. 1980. The lateral pivot shift: a symptom and sign of anterior cruciate ligament insufficiency. *Clin Orthop Relat Res*, 45-50.
- GIRGIS, F. G., MARSHALL, J. L. & MONAJEM, A. 1975. The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. *Clin Orthop Relat Res*, 216-31.
- GRAF, R. & SCHULER, P. 1995. *Sonographie am Stütz- und Bewegungsapparat bei Erwachsenen und Kindern*, Chapman & Hall
- GRANT, J. A., TANNENBAUM, E., MILLER, B. S. & BEDI, A. 2012a. Treatment of combined complete tears of the anterior cruciate and medial collateral ligaments. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 28, 110-122.
- GRANT, J. A., TANNENBAUM, E., MILLER, B. S. & BEDI, A. 2012b. Treatment of combined complete tears of the anterior cruciate and medial collateral ligaments. *The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 28, 110-122.

- GRIFFITH, C. J., LAPRADE, R. F., JOHANSEN, S., ARMITAGE, B., WIJDECKS, C. & ENGBRETSSEN, L. 2009a. Medial knee injury: Part 1, static function of the individual components of the main medial knee structures. *Am J Sports Med*, 37, 1762-70.
- GRIFFITH, C. J., WIJDECKS, C. A., LAPRADE, R. F., ARMITAGE, B. M., JOHANSEN, S. & ENGBRETSSEN, L. 2009b. Force measurements on the posterior oblique ligament and superficial medial collateral ligament proximal and distal divisions to applied loads. *Am J Sports Med*, 37, 140-8.
- GRUBER, G., MARTENS, D. & KONERMANN, W. 1998. [Value of ultrasound examination in lesion of the medial collateral ligament of the knee joint]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 136, 337-42.
- GUENTHER, D., PFEIFFER, T., PETERSEN, W., IMHOFF, A., HERBORT, M., ACHTNICH, A., STEIN, T., KITTL, C., SCHOEPP, C., AKOTO, R., HÖHER, J., SCHEFFLER, S., STÖHR, A., STOFFELS, T., MEHL, J., JUNG, T., ELLERMANN, A., EBERLE, C., VERNACCHIA, C., LUTZ, P., KRAUSE, M., MENGIS, N., MÜLLER, P. E., PATT, T. & BEST, R. 2021. Treatment of Combined Injuries to the ACL and the MCL Complex: A Consensus Statement of the Ligament Injury Committee of the German Knee Society (DKG). *Orthop J Sports Med*, 9, 232596712111050929.
- HALINEN, J., LINDAHL, J., HIRVENSALO, E. & SANTAVIRTA, S. 2006a. Operative and nonoperative treatments of medial collateral ligament rupture with early anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective randomized study. *The American journal of sports medicine*, 34, 1134-1140.
- HALINEN, J., LINDAHL, J., HIRVENSALO, E. & SANTAVIRTA, S. 2006b. Operative and nonoperative treatments of medial collateral ligament rupture with early anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective randomized study. *American journal of sports medicine*, 34, 1134-1140.
- HARNER, C. D., BAEK, G. H., VOGRIN, T. M., CARLIN, G. J., KASHIWAGUCHI, S. & WOO, S. L. 1999. Quantitative analysis of human cruciate ligament insertions. *Arthroscopy*, 15, 741-9.
- HATCHER, J., HATCHER, A., ARBUTHNOT, J. & MCNICHOLAS, M. 2005. An investigation to examine the inter-tester and intra-tester reliability of the Rolimeter knee tester, and its sensitivity in identifying knee joint laxity. *J Orthop Res*, 23, 1399-403.
- HEPP, W. R. & DEBRUNNER, H. U. 2004. *Orthopädisches Diagnostikum Stuttgart*, Georg Thieme.
- HERBORT, M. 2016. Diagnostik des Kniebandapparates. In: AGA-KOMITEE-KNIE-LIGAMENT (ed.).
- HETSRONI, I. & MANN, G. 2016. Combined reconstruction of the medial collateral ligament and anterior cruciate ligament using ipsilateral quadriceps tendon–bone and bone–patellar tendon–bone autografts. *Arthroscopy techniques*, 5, e579-e587.
- HIRSHMAN, H. 1990. The fate of unoperated knee ligament injuries. *Knee ligaments: structure, function, injury and repair*, 481-503.
- HSU, S. L., LIANG, R. & WOO, S. L. 2010. Functional tissue engineering of ligament healing. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol*, 2, 12.
- IKDC 2000. Förmlätter International Knee Documentation Committee. In *American Orthopedic Society for Sports Medicine*.
- IRRGANG, J. J., ANDERSON, A. F., BOLAND, A. L., HARNER, C. D., KUROSAKA, M., NEYRET, P., RICHMOND, J. C. & SHELBORNE, K. D. 2001. Development and validation of the international knee documentation committee subjective knee form. *The American journal of sports medicine*, 29, 600-613.

- JAUREGUITO, J. W. & PAULOS, L. E. 1996. Why grafts fail. *Clin Orthop Relat Res*, 25-41.
- JOKELA, M. A., MÄKINEN, T. J., KOIVIKKO, M. P., LINDAHL, J. M., HALINEN, J. & LINDAHL, J. 2021. Treatment of medial-sided injuries in patients with early bicruciate ligament reconstruction for knee dislocation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 29, 1872-1879.
- KAN, H., ARAI, Y., KOBAYASHI, M., NAKAGAWA, S., INOUE, H., HINO, M., KOMAKI, S., IKOMA, K., UESHIMA, K., FUJIWARA, H. & KUBO, T. 2017. Radiographic Measurement of Joint Space Width Using the Fixed Flexion View in 1,102 Knees of Japanese Patients with Osteoarthritis in Comparison with the Standing Extended View. *Knee Surg Relat Res*, 29, 63-68.
- KANNUS, P. 1988. Long-term results of conservatively treated medial collateral ligament injuries of the knee joint. *Clin Orthop Relat Res*, 103-12.
- KLEINBAUM, Y. & BLANKSTEIN, A. 2008. Mild to moderate medial collateral ligament (MCL) injuries of the knee: Sonographic findings and sonographic valgus stress test. *Journal of Musculoskeletal Research*, 11.
- KOGA, H., MUNETA, T., YAGISHITA, K., JU, Y.-J. & SEKIYA, I. 2012a. Surgical management of grade 3 medial knee injuries combined with cruciate ligament injuries. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 20, 88-94.
- KOGA, H., MUNETA, T., YAGISHITA, K., JU, Y. J. & SEKIYA, I. 2012b. Surgical management of grade 3 medial knee injuries combined with cruciate ligament injuries. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 20, 88-94.
- KOHN, L., REMBECK, E. & RAUCH, A. 2020. [Anterior cruciate ligament injury in adults : Diagnostics and treatment]. *Orthopade*, 49, 1013-1028.
- LAI, C. C. H., ARDERN, C. L., FELLER, J. A. & WEBSTER, K. E. 2018. Eighty-three per cent of elite athletes return to preinjury sport after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review with meta-analysis of return to sport rates, graft rupture rates and performance outcomes. *Br J Sports Med*, 52, 128-138.
- LAPRADE, R. F., BERNHARDSON, A. S., GRIFFITH, C. J., MACALENA, J. A. & WIJDECKS, C. A. 2010. Correlation of valgus stress radiographs with medial knee ligament injuries: an in vitro biomechanical study. *Am J Sports Med*, 38, 330-8.
- LAPRADE, R. F., ENGBRETSEN, A. H., LY, T. V., JOHANSEN, S., WENTORF, F. A. & ENGBRETSEN, L. 2007. The anatomy of the medial part of the knee. *J Bone Joint Surg Am*, 89, 2000-10.
- LIND, M., JACOBSEN, K. & NIELSEN, T. 2020. Medial collateral ligament (MCL) reconstruction results in improved medial stability: results from the Danish knee ligament reconstruction registry (DKRR). *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 28, 881-887.
- LUTZ, P. M., FEUCHT, M. J., WECHSELBERGER, J., RASPER, M., PETERSEN, W., WÖRTLER, K., IMHOFF, A. B. & ACHTNICH, A. 2021a. Ultrasound-based examination of the medial ligament complex shows gender- and age-related differences in laxity. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 29, 1960-1967.
- LUTZ, P. M., HÖHER, L. S., FEUCHT, M. J., NEUMANN, J., JUNKER, D., WÖRTLER, K., IMHOFF, A. B. & ACHTNICH, A. 2021b. Ultrasound-based evaluation revealed reliable postoperative knee stability after combined acute ACL and MCL injuries. *J Exp Orthop*, 8, 76.
- LYSHOLM, J. & TEGNER, Y. 2007. Knee injury rating scales. *Acta Orthop*, 78, 445-53.
- MARCHANT, M. H., JR., TIBOR, L. M., SEKIYA, J. K., HARDAKER, W. T., JR., GARRETT, W. E., JR. & TAYLOR, D. C. 2011. Management of medial-sided knee injuries, part 1: medial collateral ligament. *Am J Sports Med*, 39, 1102-13.

- MAYR, H. O., WEIG, T. G. & PLITZ, W. 2004. Arthrofibrosis following ACL reconstruction-- reasons and outcome. *Arch Orthop Trauma Surg*, 124, 518-22.
- MEYER, P., REITER, A., AKOTO, R., STEADMAN, J., PAGENSTERT, G., FROSCHE, K. H. & KRAUSE, M. 2021. Imaging of the medial collateral ligament of the knee: a systematic review. *Arch Orthop Trauma Surg*.
- MILLETT, P. J., PENNOCK, A. T., STERETT, W. I. & STEADMAN, J. R. 2004. Early ACL reconstruction in combined ACL—MCL injuries. *The journal of knee surgery*, 17, 94-98.
- MIYASAKA, K. 1991. The incidence of knee ligament injuries in the general population. *Am J Knee Surg*, 1, 43-48.
- MOCHIZUKI, T., FUJISHIRO, H., NIMURA, A., MAHAKKANUKRAUH, P., YASUDA, K., MUNETA, T. & AKITA, K. 2014. Anatomic and histologic analysis of the mid-substance and fan-like extension fibres of the anterior cruciate ligament during knee motion, with special reference to the femoral attachment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 22, 336-44.
- NAKAMURA, N., HORIBE, S., TORITSUKA, Y., MITSUOKA, T., YOSHIKAWA, H. & SHINO, K. 2003. Acute grade III medial collateral ligament injury of the knee associated with anterior cruciate ligament tear. The usefulness of magnetic resonance imaging in determining a treatment regimen. *Am J Sports Med*, 31, 261-7.
- NOYES, F. R. & BARBER-WESTIN, S. D. 1995. The treatment of acute combined ruptures of the anterior cruciate and medial ligaments of the knee. *Am J Sports Med*, 23, 380-9.
- NWACHUKWU, B. U., PATEL, B. H., LU, Y., ALLEN, A. A. & WILLIAMS, R. J., 3RD 2019. Anterior Cruciate Ligament Repair Outcomes: An Updated Systematic Review of Recent Literature. *Arthroscopy*, 35, 2233-2247.
- OLSEN, O.-E., MYKLEBUST, G., ENGBRETSSEN, L., HOLME, I. & BAHR, R. 2005. Olsen OE, Myklebust G, Engbretsen L, Holme I, Bahr R. Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports: cluster randomised controlled trial. *BMJ*.330:449. *BMJ (Clinical research ed.)*, 330, 449.
- OSTI, L., PAPALIA, R., DEL BUONO, A., MERLO, F., DENARO, V. & MAFFULLI, N. 2010. Simultaneous surgical management of chronic grade-2 valgus instability of the knee and anterior cruciate ligament deficiency in athletes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 18, 312-6.
- PAPALIA, R., OSTI, L., DEL BUONO, A., DENARO, V. & MAFFULLI, N. 2010. Management of combined ACL-MCL tears: a systematic review. *Br Med Bull*, 93, 201-15.
- PASCHOS, N. K. & HOWELL, S. M. 2016. Anterior cruciate ligament reconstruction: principles of treatment. *EFORT Open Rev*, 1, 398-408.
- PEDERSEN, R. R. 2016. The Medial and Posteromedial Ligamentous and Capsular Structures of the Knee: Review of Anatomy and Relevant Imaging Findings. *Semin Musculoskelet Radiol*, 20, 12-25.
- PETERSEN, W. & LAPRELL, H. 1999. Combined injuries of the medial collateral ligament and the anterior cruciate ligament. Early ACL reconstruction versus late ACL reconstruction. *Arch Orthop Trauma Surg*, 119, 258-62.
- PETERSEN, W., LOERCH, S., SCHANZ, S., RASCHKE, M. & ZANTOP, T. 2008. The role of the posterior oblique ligament in controlling posterior tibial translation in the posterior cruciate ligament-deficient knee. *Am J Sports Med*, 36, 495-501.
- PETERSEN, W. & TILLMANN, B. 2002. [Anatomy and function of the anterior cruciate ligament]. *Orthopade*, 31, 710-8.

- PETERSEN, W. & ZANTOP, T. 2007. Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles. *Clin Orthop Relat Res*, 454, 35-47.
- RAO, R., BHATTACHARYYA, R., ANDREWS, B., VARMA, R. & CHEN, A. 2022. The management of combined ACL and MCL injuries: A systematic review. *J Orthop*, 34, 21-30.
- ROBINSON, J. R., SANCHEZ-BALLESTER, J., BULL, A. M., THOMAS RDE, W. & AMIS, A. A. 2004. The posteromedial corner revisited. An anatomical description of the passive restraining structures of the medial aspect of the human knee. *J Bone Joint Surg Br*, 86, 674-81.
- RUBINSTEIN, R. A., JR., SHELBOURNE, K. D., MCCARROLL, J. R., VANMETER, C. D. & RETTIG, A. C. 1994. The accuracy of the clinical examination in the setting of posterior cruciate ligament injuries. *Am J Sports Med*, 22, 550-7.
- RYU, S. M., NA, H. D. & SHON, O. J. 2018. Diagnostic Tools for Acute Anterior Cruciate Ligament Injury: GNRB, Lachman Test, and Telos. *Knee Surg Relat Res*, 30, 121-127.
- SAMITIER, G., MARCANO, A. I., ALENTORN-GELI, E., CUGAT, R., FARMER, K. W. & MOSER, M. W. 2015. Failure of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Arch Bone Jt Surg*, 3, 220-40.
- SCHEFFLER, S. U., CLINEFF, T. D., PAPAGEORGIOU, C. D., DEBSKI, R. E., MA, C. B. & WOO, S. L. 2001. Structure and function of the healing medial collateral ligament in a goat model. *Ann Biomed Eng*, 29, 173-80.
- SCHRICKER, T., HIEN, N. M. & WIRTH, C. J. 1987. [Clinical results of sonographic functional studies of lesions of the capsule and ligaments of the knee and ankle joint]. *Ultraschall Med*, 8, 27-31.
- SHIRAKURA, K., TERAUCHI, M., FUKASAWA, N., KIMURA, M. & SHIMIZU, T. 1995. Clinical and arthroscopic findings of acute anterior cruciate ligament tears of the knee. *Diagnostic and therapeutic endoscopy*, 2, 107-112.
- SIEBOLD, R., ELLERT, T., METZ, S. & METZ, J. 2008. Tibial insertions of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament: morphometry, arthroscopic landmarks, and orientation model for bone tunnel placement. *Arthroscopy*, 24, 154-61.
- SIEBOLD, R., SCHUHMACHER, P., FERNANDEZ, F., ŚMIGIELSKI, R., FINK, C., BREHMER, A. & KIRSCH, J. 2015. Flat midsubstance of the anterior cruciate ligament with tibial "C"-shaped insertion site. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 23, 3136-42.
- SIEGEL, L., VANDENAKKER-ALBANESE, C. & SIEGEL, D. 2012. Anterior cruciate ligament injuries: anatomy, physiology, biomechanics, and management. *Clin J Sport Med*, 22, 349-55.
- SLANE, L. C., SLANE, J. A. & SCHEYS, L. 2017. The measurement of medial knee gap width using ultrasound. *Arch Orthop Trauma Surg*, 137, 1121-1128.
- SVANTESSON, E., HAMRIN SENORSKI, E., ALENTORN-GELI, E., WESTIN, O., SUNDEMO, D., GRASSI, A., ČUSTOVIĆ, S. & SAMUELSSON, K. 2019. Increased risk of ACL revision with non-surgical treatment of a concomitant medial collateral ligament injury: a study on 19,457 patients from the Swedish National Knee Ligament Registry. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 27, 2450-2459.
- TEGNER, Y. & LYSHOLM, J. 1985. Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop Relat Res*, 43-9.
- TORG, J. S., CONRAD, W. & KALEN, V. 1976. Clinical diagnosis of anterior cruciate ligament instability in the athlete. *The American journal of sports medicine*, 4, 84-93.

- VAN ECK, C. F., LOOPIK, M., VAN DEN BEKEROM, M. P., FU, F. H. & KERKHOFFS, G. M. 2013. Methods to diagnose acute anterior cruciate ligament rupture: a meta-analysis of instrumented knee laxity tests. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 21, 1989-97.
- VOSOUGHI, F., REZAEI DOGAHE, R., NURI, A., AYATI FIROOZABADI, M. & MORTAZAVI, J. 2021. Medial Collateral Ligament Injury of the Knee: A Review on Current Concept and Management. *Arch Bone Jt Surg*, 9, 255-262.
- WAGNER, M., SCHEFFLER, S. & WEILER, A. 2007. Revision reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Arthroscopie*, 20, 139-149.
- WEISS, J. A., WOO, S. L., OHLAND, K. J., HORIBE, S. & NEWTON, P. O. 1991. Evaluation of a new injury model to study medial collateral ligament healing: primary repair versus nonoperative treatment. *J Orthop Res*, 9, 516-28.
- WESTERMANN, R. W., SPINDLER, K. P., HUSTON, L. J. & WOLF, B. R. 2019. Outcomes of Grade III Medial Collateral Ligament Injuries Treated Concurrently With Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Multicenter Study. *Arthroscopy*, 35, 1466-1472.
- WIJDICKS, C. A., EWART, D. T., NUCKLEY, D. J., JOHANSEN, S., ENGBRETSSEN, L. & LAPRADE, R. F. 2010a. Structural properties of the primary medial knee ligaments. *The American journal of sports medicine*, 38, 1638-1646.
- WIJDICKS, C. A., GRIFFITH, C. J., JOHANSEN, S., ENGBRETSSEN, L. & LAPRADE, R. F. 2010b. Injuries to the medial collateral ligament and associated medial structures of the knee. *J Bone Joint Surg Am*, 92, 1266-80.
- WOO, S. L., CHAN, S. S. & YAMAJI, T. 1997. Biomechanics of knee ligament healing, repair and reconstruction. *J Biomech*, 30, 431-9.
- ZAFFAGNINI, S., BIGNOZZI, S., MARTELLI, S., LOPOMO, N. & MARCACCI, M. 2007. Does ACL reconstruction restore knee stability in combined lesions?: An in vivo study. *Clin Orthop Relat Res*, 454, 95-9.
- ZAFFAGNINI, S., BONANZINGA, T., MARCHEGGIANI MUCCIOLI, G. M., GIORDANO, G., BRUNI, D., BIGNOZZI, S., LOPOMO, N. & MARCACCI, M. 2011. Does chronic medial collateral ligament laxity influence the outcome of anterior cruciate ligament reconstruction?: a prospective evaluation with a minimum three-year follow-up. *J Bone Joint Surg Br*, 93, 1060-4.
- ZANTOP, T., HERBORT, M., RASCHKE, M. J., FU, F. H. & PETERSEN, W. 2007. The role of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament in anterior tibial translation and internal rotation. *Am J Sports Med*, 35, 223-7.
- ZHU, J., LI, B., QIU, L., LIU, H., ZHANG, M., WANG, Y., WANG, P., JIAO, D., CHEN, T., LIU, X., CUI, L., SHAN, Y., LUO, B., LIN, N., HUA, X., HU, Z., HU, Y., TU, B., ZHENG, Y., CHEN, S., XU, S., MAO, J., LIU, W., XIANG, M., LI, J., CHEN, J., TANG, Y., CHEN, S., HE, Y., DAI, T., ZHANG, S., ZHANG, Y., FANG, M., HAO, S., LIN, X., HE, X., BAO, B., XI, Z., PENG, X., ZHANG, Q. & DU, G. 2020. A measurement method of knee joint space width by ultrasound: a large multicenter study. *Quant Imaging Med Surg*, 10, 979-987.

9 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Häufigkeitsverteilung von Knieverletzungen und Bandstrukturen des Kniegelenks. ACL (anterior cruciate ligament); PCL (posterior cruciate ligament); LCL (lateral collateral ligament); MCL (medial collateral ligament) (Bollen, 2000).	6
Abb. 2: Darstellung des anatomischen Verlaufs des oberflächlichen Innenbandes (sMCL) und des hinteren Schrägbandes (POL). A: Schematische Darstellung des rechten Kniegelenks mit Blick von medial; B: Anatomisches Präparat des linken Kniegelenks mit Blick von medial. SM (semimembranosus muscle); MGT (medial gastrocnemius tendon); AMT (adductor magnus tendon); VMO (vastus medialis obliquus muscle); MFE (medial femoral epicondyle) (LaPrade et al., 2007).	7
Abb. 3: Anatomisches Präparat des linken Kniegelenks mit Blick von medial. Darstellung des tiefen medialen Kollateralbandes (dMCL) nach Entfernung des oberflächlichen Kollateralbandes und des hinteren Schrägbandes (POL). MM (medial meniscus); SM (semimembranosus tendon); AMT (adductor magnus tendon) (LaPrade et al., 2007).	8
Abb. 4: Darstellung der knöchernen Ansatzpunkte des oberflächlichen Innenbandes (sMCL) und des hinteren Schrägbandes (POL), sowie die schematische Einzeichnung der weichteiligen Ansatzpunkte am Meniskus des tiefen MCL (dMCL). ME (medial epicondyle); MPFL (medial patellofemoral ligament); AT (adductor tubercle); AMT (adductor magnus tendon); GT (gastrocnemius tubercle); MGT (medial gastrocnemius tendon) (LaPrade et al., 2007).	10
Abb. 5: Anatomisches Präparat eines rechten Kniegelenks mit Blick von anterior: ACL (anterior cruciate ligament); AH (anterior horn of the lateral meniscus); MM (anterior horn of the medial meniscus) (Siebold et al., 2015).	11
Abb. 6: Anatomisches Präparat eines rechten Kniegelenks mit Blick auf die laterale Kondyle von medial nach Entfernung des medialen Condylus: a) vollständig gestrecktes Knie: Anteromediales und posterolaterales Bündel des vorderen Kreuzbandes liegen parallel zueinander. b) 90° gebeugtes Knie: überkreuzter Verlauf des AM- und PL-Bündels (Mochizuki et al., 2014).	12
Abb. 7: a) Valgus-Torsionstrauma, b) typisches Trauma beim Alpinski (Angele et al., 2013). 13	
Abb. 8: Übersicht über den Weg von Grunddatensatz bis zur Fragestellung. VKB (vorderes Kreuzband); MCL (medial collateral ligament).	21

Abb. 9: a) 30° gebeugtes Knie in TELOS-Fixiervorrichtung in frontaler Neutralstellung, Ansicht von der Seite; b) 30° gebeugtes Knie in Telos-Fixiervorrichtung mit standardisiert appliziertem Valgusstress (15 daN), Ansicht von der Seite; c) 30° gebeugtes Knie in Telos-Fixiervorrichtung mit standardisiert appliziertem Valgusstress (15 daN), Ansicht von oben.	24
Abb. 10: Ultraschallbild des medialen Gelenkspalts in 30° Knieflexion in frontaler Neutralstellung(2A) und mit standardisiert appliziertem Valgusstress (15daN) durch das Telos-Haltegerät (2B). Die weißen Pfeile zeigen die mediale Femurepikondyle, den medialen Meniskus und das proximale mediale Tibiaplateau. Eine weiße Linie ist zwischen dem Femur und dem Rand der Tibia abgebildet, welches die Messung des medialen Gelenkspalts in Millimetern angibt. MCL (medial collateral ligament) (<i>Lutz et al., 2021b</i>).	26
Abb. 11: Patient:innenrekrutierung. 135 Patient:innen wurden insgesamt in der Studie erfasst, davon wurden 20 Pat. aufgrund der oben aufgelisteten Punkte ausgeschlossen. Von den insgesamt 115 eingeschlossenen Pat. haben 75 Pat. aufgrund der oben aufgelisteten Punkte nicht teilgenommen. Die insgesamt 40 verbliebenen Pat., die zu einer Nachuntersuchung erschienen sind, wurden je nach Therapie-Algorithmus der kombinierten VKB- und MCL-Verletzung in zwei Gruppen eingeteilt. VKB (vorderes Kreuzband), MCL (medial collateral ligament).	31
Abb. 12: Säulendiagramm mit den sonographischen Ergebnissen der medialen Gelenkspaltweite (Mittelwert± Standardabweichung; in mm angegeben) des medialen Kniegelenks. Durchschnittliche Differenz zwischen appliziertem Valgusstress und frontaler Neutralstellung des Kniegelenks in 0° und 30° Knieflexion, sowie die Seitendifferenz der durchschnittlichen Differenz in 0° und 30° Knieflexion.	34
Abb. 13: Säulendiagramm mit den Ergebnissen des IKDC-Scores (Mittelwert ± Standardabweichung) für Gruppe 1 und 2.	36
Abb. 14: Säulendiagramm mit den Ergebnissen des Lysholm-Scores (Mittelwert ± Standardabweichung) für Gruppe 1 und 2.	36

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammensetzung der beiden Vergleichsgruppen. VKB (vorderes Kreuzband), MCL (medial collateral ligament).	20
Tabelle 2: Patient:innendaten der gesamten Studiengruppe. Stetige Variable ist in Mittelwert \pm Standardabweichung (range) angezeigt, kategoriale Variablen sind in Prozent angegeben. BMI (body mass index), MCL (medial collateral ligament).	32
Tabelle 3: Ergebnisse der Scores und Fragebögen: Stetige Variablen sind als Mittelwert \pm Standardabweichung (range) angegeben. a Medianwerte; b statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen. VAS, Visual Analogue Scale (Schmerz); IKDC, International Knee Documentation Committee.	35

11 Anhang



Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie
des Klinikum rechts der Isar
der Technischen Universität München
Anstalt des öffentlichen Rechts

Vorstand: Univ.-Prof. Dr. A. B. Imhoff



Fragebogen zu Ihrem Kniegelenk

Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient,

ihr freundliches Einverständnis vorausgesetzt, würden wir Sie bzw. Ihr Kniegelenk gerne **heute** mit Hilfe der folgenden Fragebögen (s.u.) beurteilen.

Die Teilnahme an dieser Befragung ist völlig freiwillig und hat keinerlei Auswirkung auf Art und Qualität ihrer Behandlung. Selbstverständlich können Sie Ihre erteilte Zustimmung ohne Angabe von Gründen jederzeit widerrufen.

Die Befragung und die daraus resultierenden Ergebnisse sind Inhalt einer klinischen Studie, die später von uns veröffentlicht wird. Die Veröffentlichung der Daten geschieht völlig anonym. Wenn Sie sich etwa fünfzehn Minuten Zeit nehmen, um die folgenden Fragebögen auszufüllen, würden Sie der universitären Wissenschaft einen großen Schritt weiterhelfen.

Die Befragungstermine finden an den Kontrollterminen statt oder es werden Ihnen die Fragebögen incl. frankiertem Rückumschlag per Post zugesandt. Dies alles soll für Sie keine Mehrbelastung bedeuten.

Wenn Sie mit der anonymen Befragung einverstanden sind, bitten wir Sie, mit Ort, Datum und Unterschrift Ihr Einverständnis schriftlich niederzulegen.

Vielen Dank für Ihre Kooperation.

Ort, Datum,

Unterschrift

1. Allgemeine Daten

Name _____

Vorname _____

Beruf _____

Telefon _____

Email _____

Adresse _____

Geb. Datum _____

Alter Größe Gewicht

Betroffenes Knie, für das dieser Fragebogen gilt:

links

rechts

4. Wiederaufnahme von sportlicher Aktivität:

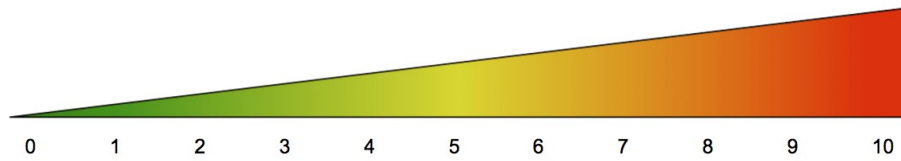
- Aktivität/Sport pro Woche aktuell:
0-1x 2-3x 4-5x 6-7x
 - Sportarten: _____
 - Dauer der jeweiligen Sport-/Trainingseinheiten: _____ min
 - Sportlevel: Freizeit/Breitensport Profisport
 - Wie viele Wochen nach der Operation erfolgte die Wiederaufnahme sportlicher Tätigkeit:
_____ Wochen
 - Haben Sie die sportliche Belastbarkeit auf dem Level wie vor der Operation erreicht? JA / NEIN
-

3. VAS

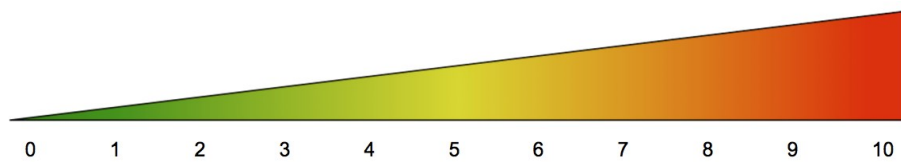
Visuelle Analogskala = subjektive Einschätzung Ihrer aktuellen Schmerzen

Bitte kreisen Sie eine Zahl zwischen 0 (keine Schmerzen) und 10 (unerträgliche Schmerzen) ein.

a) Wie stark sind Ihre Schmerzen im Knie in Ruhe?



b) Wie stark sind Ihre Schmerzen im Knie während Belastung (z.B. Sport, etc.)?



4. Tegner Aktivitäts-Index

Bitte kreuzen Sie in der untenstehenden Liste die *höchste* Belastungsstufe an, in die Sie sich derzeit einordnen können. Bitte kreuzen Sie in der nachfolgenden Liste nur **EIN** Kästchen an!

- 10. Wettkampfsport:** Fußball, nationale und internationale Elite
- 9. Wettkampfsport:** Fußball, niedrigere Ligen; Eishockey; Ringen oder Kampfsport; Gymnastik
- 8. Wettkampfsport:** Squash oder Badminton; Leichtathletik (Sprungdisziplinen); Alpin Ski
- 7. Wettkampfsport:** Tennis; Leichtathletik (Laufdisziplinen); Motorcross; Handball; Basketball
- Freizeitsport:** Fußball; Eishockey; Squash; Leichtathletik (Sprungdisziplinen)
- 6. Freizeitsport:** Tennis; Badminton; Leichtathletik (Laufdisziplinen); Motorcross; Handball; Basketball; Alpin Ski; Jogging (mindestens 5 Mal pro Woche)
- 5. Arbeit / Beruf:** Schwere körperliche Arbeit (z. B. Bauarbeiten, Waldarbeiten, usw.)
- Wettkampfsport:** Velo oder Mountainbike; Langlauf
- Freizeitsport:** Jogging auf unebenem Untergrund (mindestens 2 Mal pro Woche)
- 4. Arbeit / Beruf:** Mäßig schwere körperliche Arbeit (z. B. Chauffeur, schwere Hausarbeiten, Lagerarbeit, usw.)
- Freizeitsport:** Rad oder Mountainbike; Langlauf; Jogging auf ebenem Untergrund (mindestens 2 Mal pro Woche)
- 3. Arbeit / Beruf:** Leichte körperliche Arbeit (z. B. Gastronomie, Pflegeberufe, usw.)
- Wettkampf- oder Freizeitsport:** Schwimmen
- Waldspaziergänge (auf unebenem Untergrund) möglich**
- 2. Arbeit / Beruf:** Leichte Arbeit (wechselnd Sitzen, Stehen, Laufen und Treppensteigen)
- Gehen auf unebenem Untergrund möglich, aber keine Waldspaziergänge**
- 1. Arbeit / Beruf:** Sitzende Tätigkeit (z. B. Büro, Callcenter, usw.)
- Gehen auf ebenem Untergrund möglich**
- 0. Krankschreibung oder IV-Rente wegen Kniebeschwerden**

6. LYSHOLM- Kniescore

Bitte kreisen Sie den entsprechenden Buchstaben ein.

1. Hinken oder humpeln Sie?

- a) nie
- b) wenig oder nur zeitweise
- c) schwer und ständig

2. Benötigen Sie eine Gehhilfe?

- a) nein
- b) Stock oder Krücke
- c) gehunfähig

3. Treppensteigen?

- a) problemlos
- b) etwas erschwert
- c) langsam, Stufe um Stufe
- d) unmöglich

4. In die Hocke gehen?

- a) problemlos
- b) etwas erschwert
- c) schwer möglich (nicht über 90°)
- d) unmöglich

5. Unsicherheitsgefühl im Kniegelenk?

- a) nie
- b) selten beim Sport oder schweren Anstrengungen
- c) häufig beim Sport oder schweren Anstrengungen
- d) gelegentlich bei Alltagsarbeiten
- e) oft bei Alltagsarbeiten
- f) bei jeder Bewegung bzw. jedem Schritt

6. Schmerzen?

- a) keine
- b) ab und zu ein wenig bei schwerer Anstrengung
- c) Auftreten bei Knieunsicherheit
- d) Auftreten bei schweren Anstrengungen
- e) Auftreten während oder nach einem Spaziergang von mehr als 2 km Länge
- f) Auftreten während oder nach einem Spaziergang von weniger als 2 km Länge
- g) ständig und stark

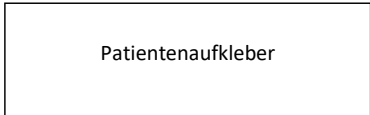
7. Schwellung des Kniegelenkes?

- a) keine
- b) bei Knieunsicherheit
- c) bei schwerer Anstrengung
- d) bei leichter Anstrengung
- e) ständig

8. Muskelschwäche des/ der Beine(s)?

- a) keine
- b) gering (Oberschenkelumfang 1-2 cm verringert)
- c) ausgeprägt (Oberschenkelumfang mehr als 2 cm verringert)

Herzlichen Dank für Ihre Mithilfe.



Klinische Untersuchung

Datum der Untersuchung: _____

Name des Untersuchers: _____

BMI: _____ kg/cm²

Grunderkrankung/Medikamente: _____

Rauchen: ja / nein **packyrs:** __

Alkohol: _____

Zufriedenheit mit dem Operationsergebnis:

Zufrieden

bedingt zufrieden

nicht zufrieden

Klinische Untersuchung:

<u>Inspektion:</u>	Schwellung	Rötung	Überwärmung	i. a. Erguss
	Gelenkblockade	Beinachse: Varus / Valgus		
<u>Palpation:</u>	Druckschmerz	med. Gelenkspalt	lat. Gelenkspalt	
	med. FC	lat. FC	med. TP	lat. TP

ROM:

Flex/Ext. (ipsilateral): _____

Flex/Ext. (kontralateral): _____

MCL:

Ipsilateral: 0°: - / + / ++ / +++ 30°: - / + / ++ / +++

Kontralateral: 0°: - / + / ++ / +++ 30°: - / + / ++ / +++

LCL:

Ipsilateral: 0°: - / + / ++ / +++ 30°: - / + / ++ / +++

Kontralateral: 0°: - / + / ++ / +++ 30°: - / + / ++ / +++

VKB:

Ipsilateral: Lachmann - / + / ++ / +++ Pivot Shift - / + / ++ / +++

kontralateral: Lachmann - / + / ++ / +++ Pivot Shift - / + / ++ / +++

HKB:

Ipsilateral: posterior Sag-sign pos./neg hintere Schublade - / + / ++ / +++

Kontralateral: posterior Sag-sign pos./neg hintere Schublade - / + / ++ / +++

Meniskus:

Ipsilateral: Steinmann I pos./neg. Steinmann II pos./neg. McMurray

Test pos./neg.

Kontralateral: Steinmann I pos./neg. Steinmann II pos./neg. McMurray

Test pos./neg.

Patellofemoral:

Krepitationen pos./neg.

Zohlen-Zeichen pos./neg.

Apprehension pos./neg.



Klinikum rechts der Isar
Technische Universität München



Sonografische Untersuchung:

MCL: gemessen bei 20° Knieflexion in Neutralposition und unter Valgusstress mit Haltegerät Typ GA-III/E (Art.-Nr. 1100000) der Firma Telos GmbH

Ipsilateral: Neutral _____ mm Valgusstress _____ mm
Kontralateral: Neutral _____ mm Valgusstress _____ mm

Bemerkungen: