

**Vergleich klinischer Ergebnisse nach operativer
Behandlung der Patellainstabilität durch MPFL-
Plastik mittels körpereigener Sehnen vs. artifiziellen
Transplantaten (FiberTape) nach 12 Monaten:
Eine prospektiv-randomisierte Studie**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades einer
Doktorin der Medizin (Dr. med.)

an der

Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

vorgelegt von

Lynne Winkler

aus

Paulinenaue

2026

Betreuer:in / Gutachter:in der Dissertation: PD Dr. Jannik Frings
Gutachter:in der Dissertation: Prof. Dr. Ralf Oheim

Vorsitz der Prüfungskommission: Prof. Dr. Ralf Oheim
Mitglied der Prüfungskommission: PD Dr. Markus T. Berninger
Mitglied der Prüfungskommission: Prof. Dr. Björn Busse

Datum der mündlichen Prüfung: 30.06.2026

Inhaltsverzeichnis

1. Fragestellungen und Hypothesen	1
2. Einleitung.....	2
2.1. Anatomie des Patellofemoralgelenks	2
2.2. Biomechanik und patellares Tracking.....	2
2.2.1. Statische Stabilisatoren	3
2.2.2. Dynamische passive Stabilisatoren	3
2.2.3. Dynamische aktive Stabilisatoren.....	5
2.2.4. Physiologisches patellares Tracking	5
2.3. Patellainstabilität und Patellamaltracking	6
2.3.1. Nomenklatur patellofemoraler Pathologien	6
2.3.2. Pathomechanismus der Patellainstabilität.....	7
2.3.3. Risikofaktoren für rezidivierende Patellaluxation	8
2.3.4. Begleitverletzungen	10
2.3.5. Klassifikationssysteme	10
2.4. Diagnostik.....	11
2.4.1. Anamnese.....	12
2.4.2. Körperliche Untersuchung.....	12
2.4.3. Röntgen	13
2.4.4. Magnetresonanztomografie.....	14
2.4.5. Dynamische Magnetresonanztomografie	15
2.4.6. Computertomografie	15
2.5. Indikationsstellung und operative Therapie der Patellainstabilität	15
2.5.1. Technische Varianten der MPFL-Plastik	18
2.5.2. Funktionelle Ergebnisse nach MPFL-Plastik	22
2.5.3. Komplikationen der operativen Therapie.....	22
2.5.4. Rehabilitation, Nachbehandlung und Rekonvaleszenz nach MPFL-R ..	23
2.5.5. Reluxationen nach operativer Therapie	24
2.6. Fazit der Literaturrecherche zur MPFL-R	24
3. Material und Methoden	25
3.1. Studientyp und Studiendesign	25
3.2. Apparative Diagnostik	25
3.3. Fallzahlanalyse und Berechnung der statistischen Power	26

3.4. Operationstechnik	27
3.4.1. Gracilissehne	27
3.4.2. FiberTape	27
3.5. Nachbehandlung	30
3.6. Klinische Nachuntersuchungen	30
3.7. Statistische Auswertung	30
3.8. Ethik.....	31
4. Ergebnisse.....	32
4.1. Demographische Ergebnisse.....	32
4.2. Funktionelle Ergebnisse.....	34
4.2.1. Präoperativ t0	34
4.2.2. Postoperativ t1	34
4.2.3. Postoperativ t2	35
4.2.4. Longitudinale Veränderung nach 6 und 12 Monaten (t2 - t1)	36
4.3. Auswertung der klinisch-physikalischen Testungen.....	45
4.4. Postoperative Ereignisse	47
4.4.1. Reluxationen	47
4.4.2. Revisionen	47
4.5. Statistische Auswertung der eingesetzten diagnostischen Scores.....	48
5. Diskussion.....	49
5.1. FiberTape statt autologe Sehne: Klinische Relevanz und ökonomische Aspekte.....	52
5.2. Vergleich der diagnostischen Aussagekraft der Scores	53
5.3. Limitationen	53
5.4. Fazit	54
6. Zusammenfassung.....	55
7. Literaturverzeichnis	56
8. Abkürzungsverzeichnis	66
9. Abbildungsverzeichnis	68
10. Tabellenverzeichnis	70
11. Anhang	71
11.1. Ergänzende Tabellen.....	71

11.2. Nachuntersuchungsbogen	77
11.3. Nachbehandlungsschema.....	86
11.4. Amendment des Beschlusses der Ethik-Kommission	87
12. Erklärung des Eigenanteils gemäß § 7 Abs. 3 Promotionsordnung.....	88
13. Eidesstattliche Versicherung	89
14. Danksagung	90

1. Fragestellungen und Hypothesen

Das mediale patellofemorale Ligament (MPFL) ist als der Hauptakteur der Stabilisierung der Patella anzusehen (Schöttle et al. 2007). Die größte Aufgabe des MPFL besteht darin, laterale Abweichungen der Patella, insbesondere in niedrigen Flexionsgraden des Kniegelenks, zu verhindern (Frosch et al. 2011). Im Rahmen einer Patellaluxation kommt es in > 90% zu einer MPFL-Ruptur (Petri et al. 2012), sodass aus einer insuffizienten Bandheilung rezidivierende Luxationen resultieren. Hier stellt die MPFL-Plastik den Goldstandard zur effizienten Behandlung dar. Für die Rekonstruktion wird weltweit meist die Sehne des M. gracilis verwendet (Loeb et al. 2018). Dies resultiert in überwiegend guten funktionellen Ergebnissen. Dennoch birgt dieses Verfahren quantitative sowie qualitative Limitationen. So sind die biomechanischen Eigenschaften einer Sehne variabel, die Anzahl ist anatomisch begrenzt und Entnahmemorbiditäten wie Hämatome, persistierende Schmerzen oder eine Reduktion der Muskelkraft kommen gelegentlich vor (Minoli et al. 2023, Wisbech Vange et al. 2020, Flaherty et al. 2025). Zudem steht in Revisionsfällen oft kein weiteres vergleichbares Transplantat mehr zur Verfügung. Vor diesem Hintergrund hat die Verwendung artifizieller Transplantate anstelle körpereigener Sehnen zugenommen. Diese Technik wird jedoch durch eine bislang überschaubare Evidenzlage limitiert. Ziel dieser prospektiven, randomisierten Studie ist daher, die klinischen Resultate beider Verfahren zu vergleichen und die Nicht-Unterlegenheit synthetischer Transplantate gegenüber autologer Sehnentransplantate zu prüfen. Die zugrunde liegende Nullhypothese (H_0) lautet: Die Verwendung synthetischer Transplantate ist der MPFL-Plastik mittels autologer Sehnen nicht unterlegen, weder hinsichtlich funktioneller Ergebnisse, Reluxationsrate oder Revisionsrate. Zudem wurde untersucht, ob sich durch die Verwendung synthetischer Transplantate auch die Sehnenentnahme-assoziierte Morbidität reduzieren lässt.

2. Einleitung

2.1. Anatomie des Patellofemoralgelenks

Die patellofemorale Artikulation wird kongruent von der medialen und lateralen Facette der Patella (Facies articularis patellae) und der trochlearen Furche des anterioren Femur gebildet (Duthon 2015). Letztere dient als Gleitlager für die Patella. Die Gelenkfläche des Femurs besteht aus einer medialen und lateralen Facette (Facies patellaris ossis femoris, Trochlea), unterteilt durch den Sulcus intercondylaris femoris (Sherman et al. 2014). Diese beiden Facetten stehen in einem Winkel von physiologisch $137^\circ \pm 8^\circ$ zueinander (Trochleasulkuswinkel) (Runer et al. 2023). Die Patella selbst, eingebettet in die Quadricepssehne, ist das größte Sesambein im menschlichen Körper. Distal wird sie von der Patellasehne an der Tuberositas tibiae befestigt (Jibri et al. 2019).

Die vorherrschende Funktion des patellofemoralen Gelenks besteht darin, einen mechanischen Vorteil für den Mechanismus der Extension bereitzustellen. Es fungiert also als anatomischer Flaschenzug und reduziert Reibung zwischen dem genannten Extensor-Mechanismus und dem Femur (Jibri et al. 2019).

2.2. Biomechanik und patellares Tracking

Die Patella kann sich in diversen Ebenen bewegen. Diese umfassen die medial/laterale-, superior/inferiore-, anterior/posteriore Translation, medial-laterale Rotation, -Neigung (Tilt) und Verschiebung (Shift) (Jibri et al. 2019).

Die patellare Stabilität ergibt sich aus statischen sowie dynamischen Stabilisatoren. Diese wirken aktiv oder passiv (Maas et al. 2021). Statisch wird die Patella direkt durch die Trochlea stabilisiert. Die dynamischen Stabilisatoren inkludieren den M. quadriceps femoris und die Hüftrotatoren (aktiv) sowie den medialen Kapsel-Band-Komplex mit MPFL (mediales patellofemorales Ligament), MPLT (mediales patellotibiales Ligament) und MPML (mediales patellomeniskales Ligament) sowie das laterale Retinakulum (passiv) (Frings und Seitlinger 2020).

2.2.1. Statische Stabilisatoren

Insbesondere die Trochlea fungiert in niedrigen Graden der Flexion als Hauptakteur in der statischen Führung der Patella (Maas et al. 2021). Die Form der Trochlea, mit einer ausgeprägteren lateralen Facette, wirkt der Lateralisierung der Patella entgegen (Runer et al. 2023). In der Analyse des Patellatrackings existieren mit der Position der Tuberositas tibiae, der Beinachse und der Torsion von Femur und Tibia weitere statische Faktoren, die indirekt Einfluss auf das Patellatracking und damit ihre Stabilität haben (Frings und Seitlinger 2020).

2.2.2. Dynamische passive Stabilisatoren

Zu den dynamisch-passiven Stabilisatoren des Patellofemoralgelenks (PFG) zählen die Gelenkkapsel, das mediale und laterale Retinakulum sowie der mediale und laterale patellofemorale Komplex (Runer et al. 2023). Die zwei Retinacula des Knies sind medial sowie lateral angelegte Kapsel-Band-Komplexe. Der mediale patellofemorale Komplex (MPFC) bezeichnet eine mediale mehrschichtige Struktur und beinhaltet oberflächlich das mediale Retinakulum (Runer et al. 2023), in der Tiefe das mediale patellomeniskale- (MPML) und das mediale patellotibiale Ligament (MPTL) und in einer mittleren Schicht das mediale patellofemorale- (MPFL) sowie das mediale kollaterale Ligament (Chouteau 2016). Der MPFC ist eine weite, aufgefächerte Struktur, die über knöcherne und bindegewebige Ansatzstellen verfügt. Er inseriert am superomedialen Rand der Patella und an einem Areal, das superoposterior des medialen Epikondylus femoris lokalisiert ist. Das MPFL, als primärer passiver Stabilisator, ist ca. 55 mm lang und 3 bis 30 mm breit, wobei das patellare Ende der Struktur breiter ist als das femorale (Amis et al. 2003). Neben dieser triangulären Form kann sich das MPFL auch rechteckig oder in Form zweier Stränge präsentieren und unterliegt somit einer gewissen anatomischen Varianz (Patil et al. 2023). Es weist knöcherne Ansätze an Patella, Epicondylus medialis, Tuberculum adductorium auf und inseriert weiter weichteilig an der Quadricepssehne, dem Vastus medialis obliquus (VMO), der Adductor-magnus- und der medialen Gastrocnemiussehne sowie dem oberflächlichen medialen Seitenband (MCL) (Runer et al. 2023). Während der kaudale Anteil des MPFL bei ca. 30° gespannt ist, trifft dies auf den kranialen Teil in voller Extension (0°) zu (Desio et al. 1998). Somit gewährleistet das MPFL ca. 80% der mediolateralen Stabilisation der Patella (Schöttle et al. 2007). Amis et al. (2003) fand heraus, dass das MPFL durchschnittlich einer Kraft von bis zu 208 N entgegenwirken kann. Lateral befindet

sich das laterale Retinaculum, welches ebenfalls als mehrschichtiger Bandkomplex verstanden werden muss. Es besteht aus der Gelenkkapsel in der Tiefe, Teilen des iliotibialen Trakts (ITB) und der Quadricepsaponeurose in der mittleren Schicht sowie oberflächlich der tiefen Muskelfaszie (Frings und Seitlinger 2020). Im Gegensatz zum medialen Bandapparat ist der Einfluss der lateralen Strukturen auf die mediolaterale Stabilität gering, macht aber ebenfalls bis zu 20% der Gesamtstabilität aus (Frings und Seitlinger 2020, Desio et al. 1998).



Abbildung 1:
Schematische
Darstellung der
anatomischen Position
des MPFL.

[Abbildung aus „Acute traumatic patellar dislocation“ (Duthon) 2015; reproduziert mit freundlicher Genehmigung von Elsevier ©].
(Duthon 2015)

2.2.3. Dynamische aktive Stabilisatoren

Zudem gibt es wichtige Verbindungen des MPFL zum M. quadriceps femoris. Dazu zählen vor allem die schrägen Anteile des M. vastus medialis (VMO), der mit seinen Fasern in den MPFC einstrahlt und so synergistisch als aktiver Stabilisator auch in der strecknahen Beugung (0 bis 15°) des Kniegelenks einen wichtigen Einfluss auf die patellofemorale Stabilität hat (Warren et al. 1974, Loeb und Tanaka 2018). Dies bewirkt der VMO durch Zug der Patella in die proximale, posteriore und mediale Richtung. Zudem kann auch die Hüftmuskulatur und hier insbesondere die Hüftabduktoren, Außenrotatoren und Extensoren eine Rolle in der sekundären aktiven Stabilisation des PFG spielen (Runer et al. 2023).

2.2.4. Physiologisches patellares Tracking

Der Kontakt zwischen den knöchernen Gelenkpartnern wird durch den Grad der Flexion bestimmt.

In **voller Extension** (0°) artikulieren Patella und die Trochlea nur kaum bis gar nicht miteinander (Jibri et al. 2019). Die Patella liegt proximal ca. 2 mm lateral des Trochleasulkus (Frings et al. 2022c) und ist somit verschieblich. Dies wird in großen Teilen durch die Einwirkung muskulärer Komponenten, bedingt durch die strecknahe Außenrotation der Tibia und der Veränderung des sogenannten Q-Winkels begründet. Der Q-Winkel ist hier beschrieben als der Winkel zwischen der Zugachse des Quadricepsmuskels in Relation zur Insertion der Patellasehne und deren Ansatz an der Tuberositas tibiae (Frings und Seitlinger 2020).

In **strecknaher Beugung** (0-30°) nähert sich der distale Pol der Patella dem proximalen Teil der Trochlea an. Hier ist das MPFL als dynamische Struktur der wichtigste Stabilisator, während die knöcherne Stabilisation der Patella erst in höherer Beugung beginnt (Frosch et al. 2011). In dieser Position ist die Patella daher besonders vulnerabel für Luxationen. Dies ist insbesondere auch dann der Fall, wenn anatomische Risikofaktoren den physiologischen Lauf der Patella stören oder direkte Anpralltraumata gegen die Kniescheibe wirken (traumatische Luxation).

Mit zunehmender **Flexion** (ab 30-40°) verschiebt sich die Patella nach medial ins Trochleazentrum (Maas et al. 2021), wodurch die Trochlea mit zunehmender Kniebeugung die Stabilisation und Führung des patellofemoralen Trackings

übernimmt (Feller et al. 2007). Bei diesem als patellotrochleäres Engagement bezeichneten Vorgang berühren sich zuerst der distale/laterale Rand der Patella sowie der proximale Teil der lateralen Trochleafacette (Frosch et al. 2011). Die größte Kontaktfläche dieser zwei Interaktionspartner zeigt sich bei 45° Flexion (Runer et al. 2023). Die physiologische Kinematik der Patella unter aktivem Muskeinfluss wurde erstmalig von Frings et al. (2023) beschrieben.

In **höherer Flexion (60-90°)** bewegt die Patella sich dann aufgrund der physiologischen distalen Abweichung der Trochlea von der Femurachse wieder in Richtung lateral (Feller et al. 2007). Hier gewinnt auch der Einfluss des Streckapparates wieder an Bedeutung, der vor allem in einem vergrößerten nach dorsal gerichteten Kraftvektor resultiert (Frosch et al. 2009). Zudem zeigt sich auch ein erneuter Einfluss der passiven Stabilisatoren. So tragen die sekundären Stabilisatoren MPFL und MPML in tiefer Beugung erheblich zur Stabilisation bei (Hinckel et al. 2018).

2.3. Patellainstabilität und Patellamaltracking

2.3.1. Nomenklatur patellofemoraler Pathologien

Die **Patellaluxation** ist definiert als das „Herausrutschen“ der Kniescheibe aus dem femoralen Gleitlager (Wolfe et al. 2023). In über 90% der Fälle geschieht dies in die laterale Richtung und geht dann mit einer Ruptur des MPFL einher (Petri et al. 2012). Die Patellaluxation macht ca. 2-3% aller Knieverletzungen aus (Aglietti et al. 2001) und betrifft 6 bis 12 Personen pro 100.000 Einwohner in Deutschland (Arendt et al. 2018).

Die **patellare Instabilität** beschreibt hingegen einen Zustand wiederkehrender Luxationen oder Subluxationen der Patella, liegt aber auch dann vor, wenn die Wahrscheinlichkeit der Reluxation nach einer primären Patellaluxation sehr hoch ist oder wenn die Patient:innen subjektive Angst vor einer erneuten Luxation verspüren (Frosch et al. 2016).

Das **patellare Maltracking** ist grundlegend als eine Abweichung von der physiologischen patellofemoralen Artikulation (Frosch 2016) definiert. Es kann weiter

in ein proximales und distales Maltracking, oder einen kompletten Verlust des Trackings unterteilt werden.

Die patellofemorale Instabilität und das Maltracking können zwar einzeln vorliegen, jedoch auch in Kombination auftreten. Dennoch ist es sowohl für die Diagnostik als auch die Therapie wichtig, beide (möglicherweise simultan auftretende) Entitäten voneinander zu differenzieren und gezielt zu behandeln (Frings et al. 2017).

2.3.2. Pathomechanismus der Patellainstabilität

Die Hauptbewegung, welche zu einer Patellaluxation führt, wurde durch Jibri et al. (2019) als „kontaktlose Verletzung der unteren Extremität, bei welcher sich das Knie in Extension und der Fuß in externaler Rotation befindet“ beschrieben. Dies beschreibt den häufigsten Mechanismus der Patellainstabilität, welche durch Bagatellbewegungen zur Luxation der Patella führt. Im Rahmen der Luxation kommt es in > 90% zur Zerreißung des MPFL (Petri et al. 2012). Meist rupturiert das MPFL im Bereich des femoralen Ansatzpunktes (Duthon 2015) bei durchschnittlich 200 N und einer Ausdehnung von Δ 25 mm (Feller et al. 2007). Das größte Rupturrisiko findet sich bei der Flexion des Kniegelenks von ca. 25-30°, da in diesen Beugegraden nur eine beginnende und daher noch geringe Artikulation der Patella mit der Trochlea besteht. Dennoch tritt die Patella in dieser Knieposition mit der Trochlea in Kontakt, sodass erhöhte Druckverhältnisse im Patellofemoralgelenk resultieren und dementsprechend rezidivierende Episoden der Patellainstabilität auch eine relevante Auswirkung auf die Entstehung patellofemoraler Knorpelschäden haben können (Frings et al. 2018a). Ein weiterer wichtiger Unfallmechanismus für eine Patellaluxation ist die Krafteinwirkung auf das laterale Kniegelenk, sodass ein sog. Valgusmoment resultiert. Dadurch kommt es effektiv zur Vergrößerung des Q-Winkels und damit zu einem lateralisierenden Kraftvektor auf die Patella, sodass diese luxiert. Hierbei kann es in wenigen Fällen auch zu begleitenden Bandverletzungen, wie der Ruptur des medialen Kollateralbandkomplexes kommen (Braaten et al. 2022). Seltener ist die direkte Krafteinwirkung auf den medialen Patellarand ursächlich (Cash und Hughston 1988). Solche Ursachen werden als „echte“ traumatische Patellaluxation bezeichnet. Meist bestehen in diesem besonderen Fall keine anatomischen oder demografischen Risikofaktoren und das Rezidivrisiko ist per Definition geringer (Frings et al. 2020a).

2.3.3. Risikofaktoren für rezidivierende Patellaluxation

In der Entstehung einer manifesten Patellainstabilität existieren anatomische Abweichungen (Matic et al. 2014) sowie skelettale Unreife (Arendt et al. 2018), die die patellare Instabilität begünstigen können. Diese Abweichungen inkludieren die Trochleadysplasie (Frings et al. 2018a), Patella alta, eine erhöhte Distanz zwischen Tuberositas tibiae und Trochleasulkus (TT-TG-Abstand) und eine verstärkte laterale Neigung der Patella (Patella-Tilt). Auch demografische Faktoren, wie beispielsweise Alter oder Geschlecht und der Verletzungsmechanismus (Arendt et al. 2018) sowie die Anzahl der vorangegangenen Luxationen können als Risikofaktoren für eine Reluxation zählen (Christensen et al. 2017). Weitere Faktoren, die in die Bewertung der Wahrscheinlichkeit einer (Re-)Luxation miteinbezogen werden können, sind Vorliegen eines erhöhten Q-Winkels mit Lateralisation der Tuberositas tibiae und das Bestehen eines Genu valgum und Genu recurvatum (Duthon 2015), eine vermehrte femorale Antetorsion und eine Insuffizienz oder Hypoplasie des Vastus medialis (Balcarek et al. 2013, Sakai et al. 2000). Außerdem beschreibt Duthon (2015) auch die patellare Dysplasie als Risikofaktor.

Zur objektiven Quantifizierung des kumulierten Einflusses der genannten Risikofaktoren kann der „Patellar Instability Severity Score“ (PISS), der Auskunft über das Gesamtausmaß einer patellaren Instabilität gibt, herangezogen werden. Hier wird anhand der folgenden Faktoren eine Bewertung vorgenommen: Alter, beidseitige Instabilität, Ausmaß einer trochlearen Dysplasie, Patella alta, TT-TG-Distanz, Patella-Tilt (Balcarek et al. 2014). Diese Berechnungsmethode, mit einer maximalen Wertung von 7 Punkten, kann insbesondere nach initialer Patellaluxation zur Abschätzung der Reluxationswahrscheinlichkeit herangezogen werden (Balcarek et al. 2014). Ab einem Wert von 4 Punkten wird von einer 5-fach erhöhten Wahrscheinlichkeit der Reluxation ausgegangen (Balcarek et al. 2014).

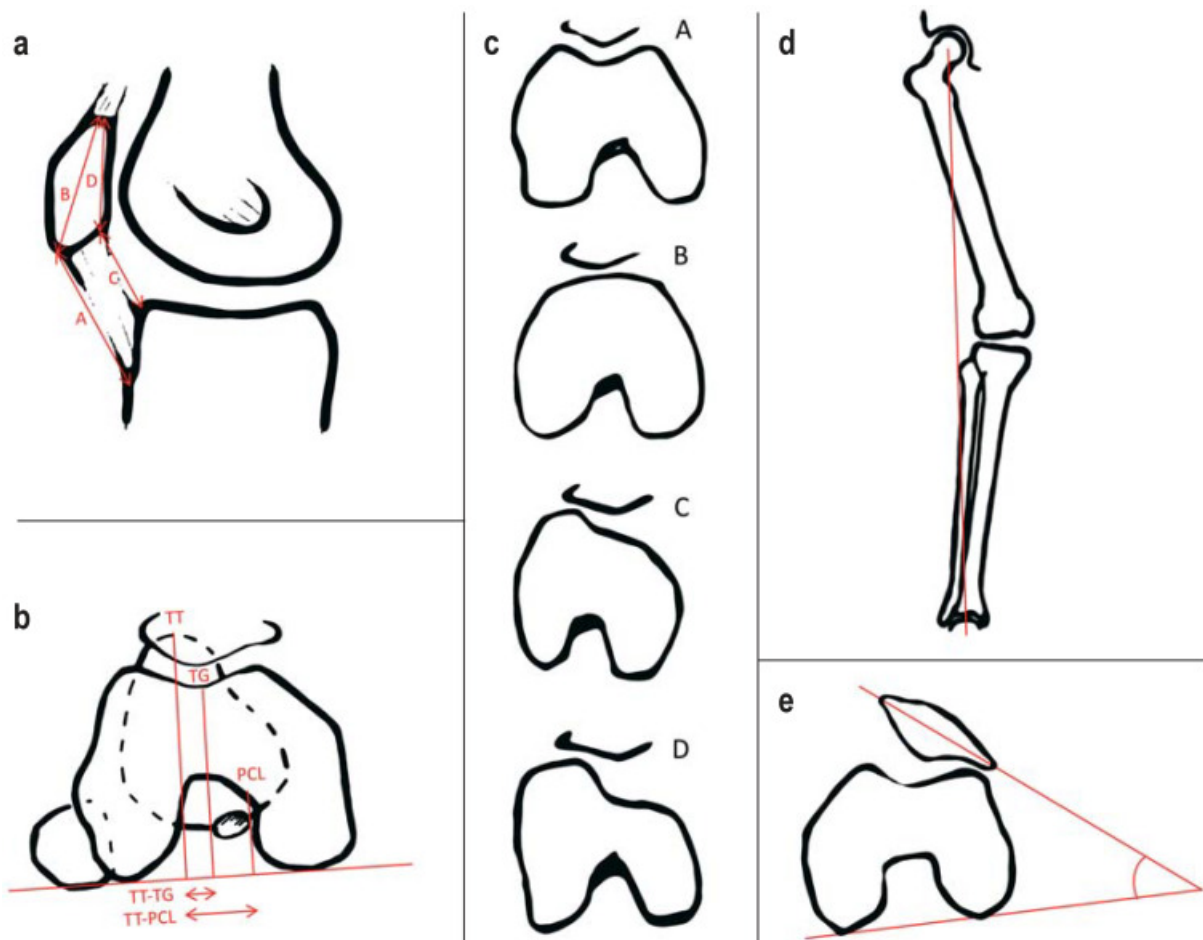


Abbildung 2: Diagramm der anatomischen Risikofaktoren der patellofemorale Instabilität. a) Patella alta: Bestimmung der patellaren Höhe anhand des Insall-Salvati Index (A/B) oder des Caton-Deschamps index (C/D), b) Lateralisation der tibialen Tuberositas, bestimmt anhand der TT-TG Distanz und der Distanz zwischen der tibialen Tuberositas (TT) und der medialen Grenze des hinteren Kreuzbands (PCL), c) Trochleadysplasie: Eingeteilt in A-D anhand der Dejour Klassifikation, d) Valgische Beinachse: hier verläuft die mechanische Achse der unteren Extremität nicht zentral durch das Tibiplateau, sondern lateral des Plateaus, e) Patella-Tilt: gemessen als Winkel zwischen der Patella und der posterioren Kondylen-Linie

[Abbildung aus „Conservative versus surgical Treatment for primary patellar dislocation“ Frings et al. 2020; reproduziert mit freundlicher Genehmigung durch 1. Deutsches Ärzteblatt international ©].
(Frings et al. 2020a)

2.3.4. Begleitverletzungen

Die häufigsten Begleitverletzungen präsentieren sich als Meniskusschäden und Frakturen des Femurs oder der Patella (Jibri et al. 2019). Osteochondrale Frakturen können in 58% der Fälle auftreten (Frings et al. 2020a, Uimonen et al. 2021). Da MPFL-Rupturen häufig am femoralen Ansatz auftreten, sind insbesondere auch partielle Läsionen des Vastus medialis obliquus (VMO) und des medialen Retinakulums möglich (Dall'Oca et al. 2020).

2.3.5. Klassifikationssysteme

Die patellare Instabilität und mit Patellaluxationen einhergehende Verletzungen, wie die MPFL-Ruptur, können auf verschiedene Weise klassifiziert werden. So kann die akute MPFL-Ruptur in einen erheblichen Einriss-Typ und einen Abriss-Typ eingeteilt werden (Nomura 1999). Letzteres, auch Avulsions-Läsion genannt, ist hier definiert als ein Abriss des MPFL an seinem femoralen Ansatz, ohne dass das Ligament selbst dabei gerissen ist. Ein kompletter (Ein-)Riss des MPFL findet sich oftmals in unmittelbarer Nähe des femoralen Ansatzes (Nomura 1999).

Die Lokalisation einer MPFL-Ruptur kann nach Dall'Oca (2020) folgendermaßen eingeteilt werden:

- Auf der Höhe des patellaren Ansatzes:
 - P₀: Isolierte ligamentäre Verletzung
 - P₁: Zusätzliches Vorliegen eines knöchernen Abriss-Fragments
 - P₂: Zusätzliches Vorliegen eines knöchernen Abriss-Fragments, welches die artikuläre Oberfläche der Patella mit einbezieht (Dall'Oca et al. 2020).
- Auf der Höhe des femoralen Ansatzes
- Mittig im Ligament
- Multiple Läsionen in mehr als einer Lokalisierung

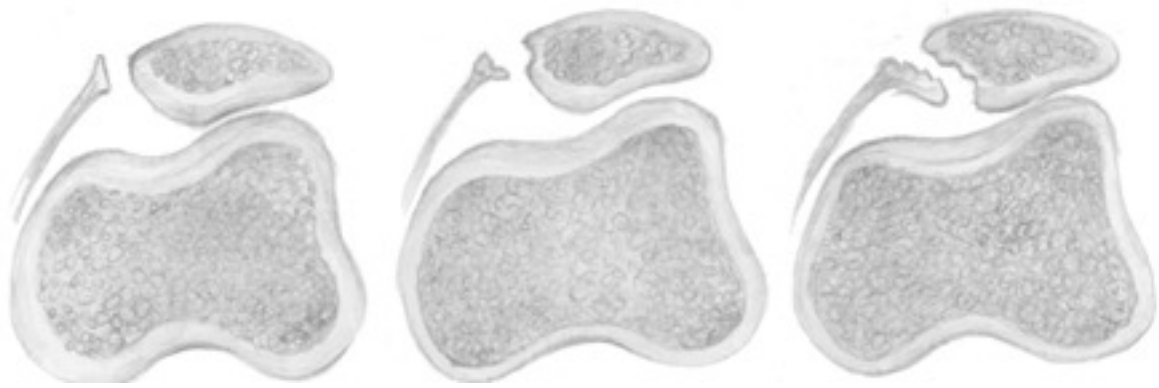


Abbildung 3: Die drei Typen der MPFL-Verletzungen. Von links nach rechts: P₀; P₁; P₂

[Abbildung aus „MPFL reconstruction: indications and results.“ Dall’Oca et al. 2020; reproduziert mit freundlicher Genehmigung durch Acta Biomedica ©].
(Dall’Oca et al. 2020)

Die **patellare Instabilität sowie das Maltracking** können nach Frosch und Schmeling (2016) in Typ 1-5 eingeteilt werden. Während Typ 1 eine einfache bzw. traumatische Luxation ohne Maltracking oder vorher bestandene Instabilität beschreibt, weisen die weiteren Typen mindestens eine dieser Pathologien auf. So zeigt sich bei Typ 2 eine isolierte Instabilität, wobei in 90% der Fälle ein rupturiertes MPFL ohne begleitende Risikofaktoren ursächlich ist (Frings et al. 2017). Bei Typ 3 liegt eine Kombination von Instabilität und Maltracking vor, bei Typ 4 eine Instabilität mit komplettem Verlust des Trackings und bei Typ 5 das Maltracking ohne begleitende Instabilität.

2.4. Diagnostik

Diagnostiziert werden patellofemorale Pathologien vornehmlich mittels Magnetresonanztomografie (MRT). Hier können statische Parameter Hinweise auf ein mögliches Maltracking bzw. dessen Ursache liefern. Eine neue Möglichkeit der dynamischen visuellen Darstellung des (Mal-)Trackings ist die dynamische MRT (Frings et al. 2022b). Auch eine Computertomografie (CT) kann zur Darstellung anatomischer Risikofaktoren herangezogen werden (Schmeling et al. 2020).

2.4.1. Anamnese

Neben der Analyse der zuvor erwähnten Risikofaktoren inkludiert die Anamnese relevante Informationen bezüglich Art des Traumas und Richtung der Luxation. In über 90% der Fälle disloziert die Patella nach lateral (Petri et al. 2012). Außerdem beschreiben die Patient:innen meist ein Verdrehtrauma oder selten eine direkte Krafteinwirkung auf das Knie, wobei der typische Hergang als „am Boden fixierte untere Extremität in Innenrotation, das Knie einem Valgusstress ausgesetzt“ (Cash und Hughston 1988) beschrieben werden kann. Dieser Unfallmechanismus tritt in bis zu 72% der Fälle erstmalig während sportlicher Aktivitäten auf (Atkin et al. 2000). Nicht selten ereignet sich die Patellaluxation allerdings im Rahmen von sog. Bagatellbewegungen des Alltags, ohne dass diese als „adäquates Trauma“ beschrieben werden können (Atkin et al. 2000).

2.4.2. Körperliche Untersuchung

Neben dem möglichen Verbleib der Patella in dislozierter Position, lateral des Kniegelenks, können weitere für die patellofemorale Instabilität charakteristische Zeichen in der körperlichen Untersuchung auffallen. Klinische Zeichen des Maltrackings inkludieren das sogenannte „J-Sign“, also die übermäßige Lateralisierung der Patella in der aktiven Extension sowie eine schnappende oder sprunghafte Rezentrierung der Patella beim Eintritt in die Trochlea (Abb. 4) (Attal et al. 2015). Beim „Apprehension-Sign“ zeigt sich bei manuellem Druck auf die Patella nach lateral eine reflektorische, unwillkürliche Abwehrkontraktion der zuvor entspannten Quadriceps-Muskulatur. Die Verschieblichkeit der Patella, sowie ein fehlender lateraler Anschlag sind Hinweise auf eine vorangegangene Luxation mit einhergegangener Verletzung des MPFL (Dall'Oca et al. 2020). Auch können sich eine Hypermobilität oder Hämarthrose zeigen (Cash und Hughston 1988). Des Weiteren sollten das Gangbild, Muskelatrophien und Achsenabweichungen untersucht werden (Frings und Seitlinger 2020).

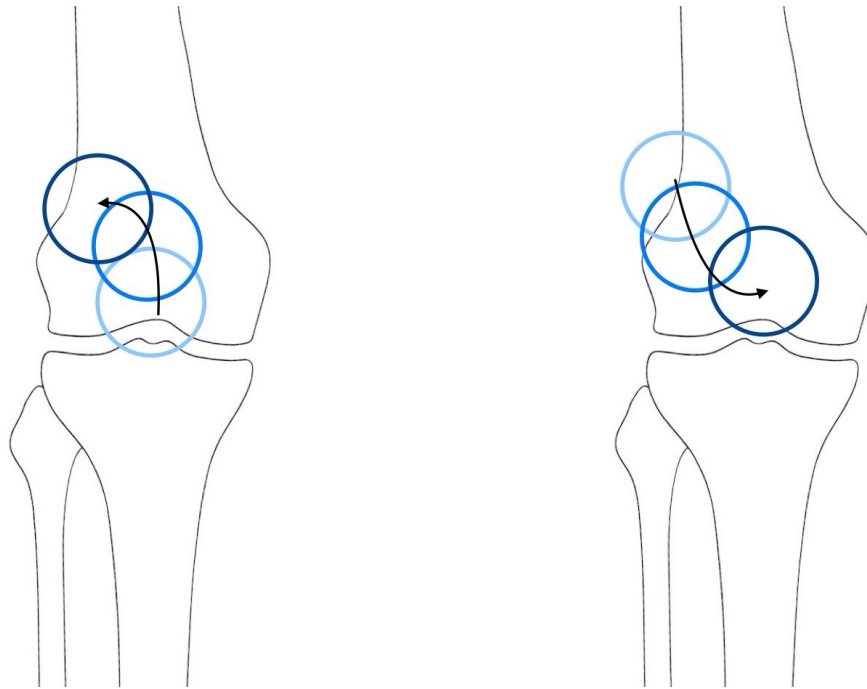


Abbildung 4: Schematische Darstellung von J-sign (links) und reversed J-sign (rechts) in Anlehnung an Attal et al. (2015)

2.4.3. Röntgen

Die native Röntgendiagnostik in zwei Ebenen (anterior-posterior und lateral in 30° Flexion) stellt nach wie vor die Basisdiagnostik nach stattgehabter Patellaluxation dar. Hier können knöcherne Verletzungen, wie Frakturen oder osteochondrale Abschlagfragmente aus der Gelenkoberfläche dargestellt werden (Duthon 2015). Letztere werden mit 30-40% initial häufig übersehen (Desio et al. 1998). Darüber hinaus ist das Röntgenbild für die Quantifizierung bestimmter Risiko- und prädisponierenden Faktoren eine wichtige Grundlage. Klassische radiologische Zeichen, die auf dem seitlichen Röntgenbild erhoben werden können, sind die Indices zur Bestimmung der Patellahöhe, wie die Insall-Salvati-Ratio (ISR), der Caton-Deschamps Index (CDI) und der patellotrochleare Index (PTI) (Abb. 5). Zudem kann ein exakt seitlich projiziertes Röntgenbild Hinweise auf eine Dysplasie der Trochlea femoris geben. Charakteristisch zeigt sich bei einem hypoplastischen medialen Epikondylus eine nach medial abgeflachte Trochlea. Diese wird nach Dejour in Typ A-D eingeteilt (Dejour und le Coultre 2007, Dejour et al. 1994). Eine Seitansicht kann radiologischen Zeichen der Risikofaktoren wie das „crossing-sign“ der Trochleadysplasie darstellen. Dabei zeigt sich der Trochleasulkus in der gleichen Ebene wie die anteriore Begrenzung der lateralen lateralen Femurkondyle“ (Wolfe et

al. 2023). Nach akuten Traumata und zum Ausschluss knöcherner Abscherfrakturen kann ergänzend die axiale Projektion der Patella sinnvoll sein. Bei klinischem Verdacht auf (insbesondere valgische) Beinachsendeformitäten kann eine Ganzbeinröntgenaufnahme im Stehen als erweiterte Standarddiagnostik ergänzt werden.

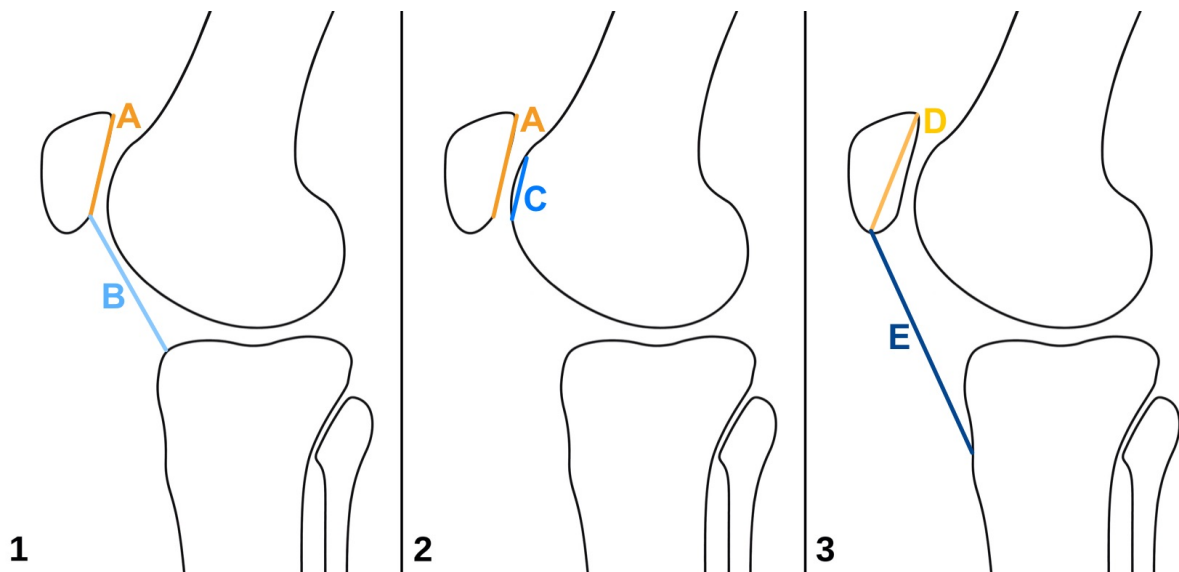


Abbildung 5: Schematische Darstellung röntgenologischer Parameter: 1. $CDI = B/A$ (Normwert 0,6 - 1,2); 2. $PTI = C/A$ (Normwert 12,5 - 50%); 3. $ISR = E/D$ (Normwert 0,8 - 1,2)

2.4.4. Magnetresonanztomografie

Die Magnetresonanztomografie (MRT) ist der Goldstandard zur Diagnostik im Bereich des Patellofemoralgelenks. Neben der Detektion (osteo-)chondraler Flake-Frakturen und Knochenmarksödeme ist die MRT essenziell zur quantifizierbaren Darstellung anatomischer Risikofaktoren der patellaren Instabilität. So können die Trochleadysplasie oder eine lateralisierte Tuberositas tibiae, die durch die Distanz zwischen dieser und dem tiefsten Punkt der Trochlea (TT-TG Distanz) oder die Distanz zwischen Tuberositas tibiae und hinterem Kreuzband (TT-PCL) gemessen wird, quantifiziert werden (Frings et al. 2018a, Schmeling et al. 2020). Außerdem kann der Knorpelstatus erhoben und verbliebene Risikofaktoren nach vorausgegangenen Operationen können beurteilt werden (Schmeling et al. 2020).

2.4.5. Dynamische Magnetresonanztomografie

Eine dynamische MRT kann sowohl postoperativ zur Erfolgsevaluation als auch präoperativ zur Darstellung des Einflusses anatomischer Risikofaktoren auf das Patellatracking bei aktiver Kontraktion der Quadriceps-Muskulatur herangezogen werden (Frings et al. 2022b). Diese Sonderform der MRT-Diagnostik bietet die besondere Möglichkeit der Beurteilung des Patellatrackings unter Muskeleinfluss, ist jedoch vor allem universitären Zentren vorbehalten.

2.4.6. Computertomografie

Die Computertomografie bietet deutliche Vorteile gegenüber der MRT, wenn es um die Beurteilung knöcherner Strukturen geht. Hier können beispielsweise (Fehl-)lagen von Bohrkanälen oder post-traumatische knöcherne Strukturen exakt beurteilt werden. Eine weitere wichtige Indikation zur Durchführung einer CT-Untersuchung ist die Analyse der Torsionsverhältnisse der unteren Extremität, welche sich als Verdacht entweder klinisch oder indirekt auf dem Ganzbeinröntgen andeuten (Frings et al. 2019). Unter Verwendung definierter Messmethoden können die intraossären Torsionsverhältnisse von Femur und Tibia exakt analysiert werden. Gerade bei klinischem Verdacht sollte die Indikation zu dieser erweiterten Bildgebung großzügig gestellt werden.

2.5. Indikationsstellung und operative Therapie der Patellainstabilität

Nach MPFL-Ruptur können einerseits konservative Behandlungsmethoden sowie andererseits chirurgische Rekonstruktionen des Ligaments in Betracht gezogen werden. Das konservative Behandlungskonzept kommt vor allem beim seltenen Typ 1 (traumatische Luxation) in Betracht, da diese ein niedriges Risiko der Reluxation zeigt (Frosch und Schmeling 2016). Der chirurgische Ansatz ist insbesondere bei der manifesten Instabilität das Mittel der Wahl, kann aber auch bereits bei erstmaligen Luxationsereignissen indiziert sein, wenn die Patient:innen ein entsprechendes Risikoprofil zeigen (Loeb et al. 2018). Das Vorliegen (osteo-)chondraler Fragmente oder erheblicher Begleitverletzungen stellen dringliche Indikationen für eine operative Therapie dar (Frosch und Schmeling 2016, Balcarek et al. 2013). Zur Entscheidungshilfe bei der Abwägung konservativer gegenüber operativer Therapiekonzepte können Risikostratifizierungsmodelle hinzugezogen werden, welche eventuell vorliegende demographische und anatomische Risikofaktoren

sowie deren gewichteten Einfluss auf das individuelle Reluxations-Risikoprofil mit einbeziehen. In der Therapie der patellofemorale Instabilität ist die alleinige konservative der operativen Maßnahme hinsichtlich der Reluxationsrate unterlegen (Straume-Næsheim et al. 2022, Recker et al. 2025, Cohen et al. 2022). Denn nach der konservativen Therapie zeigte sich trotz funktioneller Verbesserung ein bis zu 6-fach erhöhtes Risiko der persistierenden patellaren Instabilität. Dementsprechend zeigt die konservative Therapie ein erhöhtes Risiko für Sekundärpathologien wie eine patellofemorale Arthrose oder osteochondrale Frakturen, welche durch das Risiko potenzieller Reluxationen bedingt sind (Liebensteiner et al. 2021). Weiter berichteten Cohen et al. (2022) nicht nur von einer Reluxationsrate von 7% nach operativer Therapie versus 30% nach konservativer Therapie, sondern ebenfalls von einem durchschnittlich höheren funktionellen Ergebnis in der operativen Gruppe. Ebenso positiv wirkt sich die operative Therapie auf das Schmerzniveau aus, wobei im Vergleich zur konservativen Therapie keine vermehrten Bewegungseinschränkungen beobachtet wurden (Le et al. 2023). Zudem ist das Timing operativer Maßnahmen entscheidend. Kommt es zu mehrfachen Reluxationen, resultiert dies in einem signifikant schlechteren „Outcome“. So nehmen die funktionellen Ergebnisse bei Patient:innen mit ≥ 2 Luxationsereignissen signifikant ab (Ryskamp et al. 2024). Als mögliche Ursachen kommen Knorpel- oder Begleitschäden sowie chronische Schmerzen und die konsekutiv eingeschränkte Mobilität infrage (Migliorini et al. 2022b).

Es ist wichtig zu verstehen, dass die patellare Instabilität und das patellare Maltracking zwei sich unterscheidende Entitäten sind. So muss bei der Planung operativer Behandlungsoptionen stets die Stabilisation der Patella als Behandlung der Instabilität von der Korrektur des Maltrackings unterschieden werden. Eine Behandlung beider Entitäten mit einer einzigen operativen Maßnahme ist meist nicht möglich. Die bekannteste und grundlegende Technik der operativen Patellastabilisation ist die MPFL-Plastik oder -Rekonstruktion (MPFL-R). Hier wird der mediale Bandapparat augmentiert und dessen Funktion durch ein autologes Sehnentransplantat oder artifizielle Alternativen übernommen. Die alleinige MPFL-R sollte nicht bei Patient:innen mit einer TT-TG Distanz > 20 mm, Abweichungen der femoralen Torsion $\geq 10^\circ$ (nach Waidelich), hochgradiger Trochleadysplasien oder Patella alta und einer valgischen Beinachse $\geq 5^\circ$ durchgeführt werden (Liebensteiner et al. 2021). Um hingegen bei diesen Risikofaktoren das patellare Maltracking zu

therapieren, kommen weitere operative Techniken in Betracht. Die Art der Maßnahme ist von der zugrundeliegenden Begleitpathologie bzw. der vorhandenen Risikofaktoren abhängig. Dazu zählen beispielsweise die Verschiebeosteotomie der Tuberositas tibiae (TTO), die Trochleaplastik (Feller et al. 2007) oder die distale femorale Osteotomie (DFO) (Frings et al. 2018b). Die DFO erfolgt meist biplanar mittels oszillierender Säge und anschließender Refixation (Frings 2018b). Bei der TTO wird die Tuberositas tibiae nach Elmslie-Trillat medialisiert und/oder distalisiert und im Anschluss ebenso mit Zugschrauben fixiert (Frings et al. 2022a). Im Rahmen der Trochleaplastik wird bei meist schwach ausgeprägtem Sulcus und somit Elevation der medialen bzw. zentralen Facette eine Vertiefung der Trochlea femoris chirurgisch erarbeitet (Feller et al. 2007). Diese Maßnahmen sollten immer mit einer MPFL-R kombiniert werden (Frings et al. 2018a). Zur Ableitung der notwendigen Maßnahmen erstellten Frings et al. (2018a) basierend auf der in Kapitel 2.3.5. beschriebenen Klassifikation von Frosch und Schmeling (2016) den in Abb. 6 dargestellten Therapiealgorithmus.

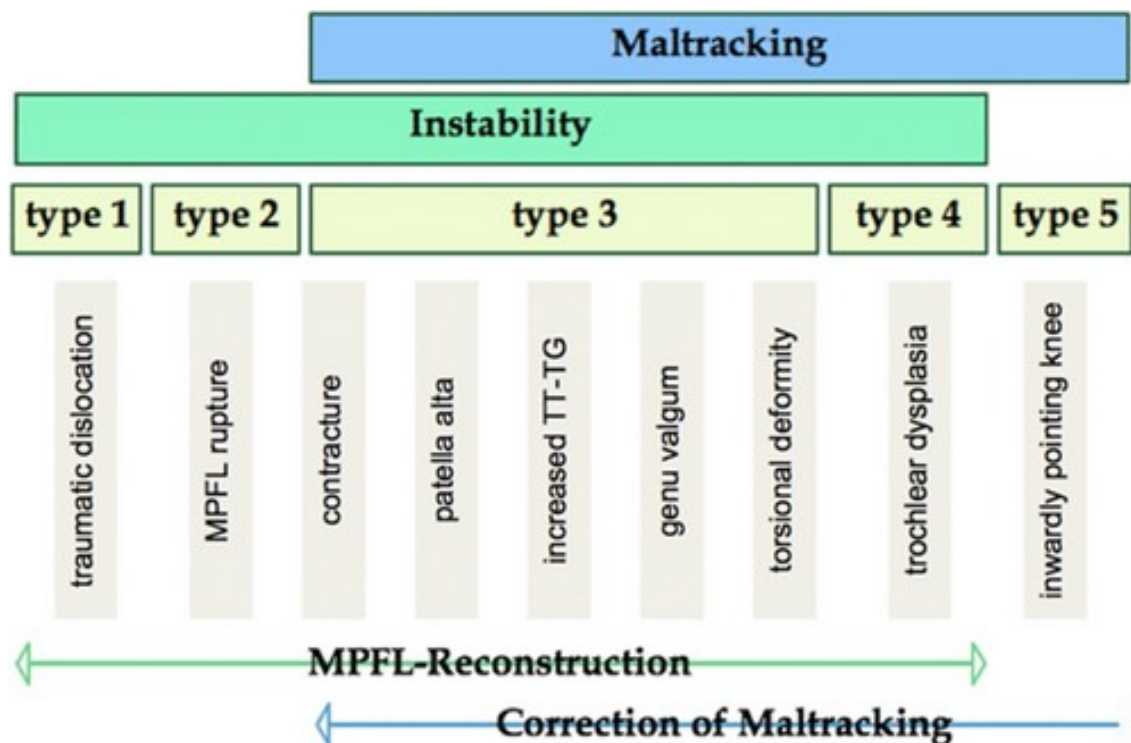


Abbildung 6: Therapiealgorithmus der Patellainstabilität und des Maltrackings modifiziert nach Frings et al., basierend auf der Klassifikation von Frosch und Schmeling (Frosch und Schmeling 2016).

[Abbildung aus „Combined distal femoral osteotomy (DFO) in genu valgum leads to reliable patellar stabilization and an improvement in knee function“ Frings et al. 2018; reproduziert mit freundlicher Genehmigung durch Springer Nature ©]. (Frings et al., 2018b).

2.5.1. Technische Varianten der MPFL-Plastik

Die MPFL-Plastik kann anhand vieler verschiedener Verfahren durchgeführt werden, wobei diese sich in Transplantat und Verankerungstechnik unterscheiden können (Frosch et al. 2011). Prinzipiell kommen verschiedene Sehmentransplantate für die MPFL-R infrage. Am häufigsten kommen international jedoch die Sehnen der Mm. gracilis oder semitendinosus zur Anwendung, da diese sowohl ausreichend lang sind als auch günstige biomechanische Eigenschaften haben (Loeb et al. 2018). Daneben hat sich auch die Verwendung eines gestielten Quadricepssehmentransplantates etabliert (Fink et al. 2018). Fink et al. beschreiben hier die Entnahme eines 10-12mm breiten 3 mm dicken und 80-90mm langen Streifens aus dem zentralen Teil der Sehne. Dieser kann dann subkutan oder unter dem medialen Retinaculum getunnelt und mit einer Interferenzschraube oder einem Nahtanker am femoralen Ansatzpunkt befestigt werden. An der Patella muss hier keine Fixierung erfolgen (Fink et al. 2018).

Die Verfahren, welche die Gracilissehne nutzen, unterscheiden sich hauptsächlich in der patellaren Verankerung. Nach der Sehnenentnahme wird diese meist als Doppelbündel präpariert. Die patellare Verankerung kann nun in Inlay-Technik (mit Anlage von zwei patellaren Knochenkanälen und nachfolgende Nutzung von zwei Interferenzschrauben zur Nahtverankerung) oder Onlay-Technik (Nutzung von zwei Fadenankern) erfolgen (Smith et al. 2024). Technische Varianten können auch die Kombination der Fixationsmethoden beinhalten.

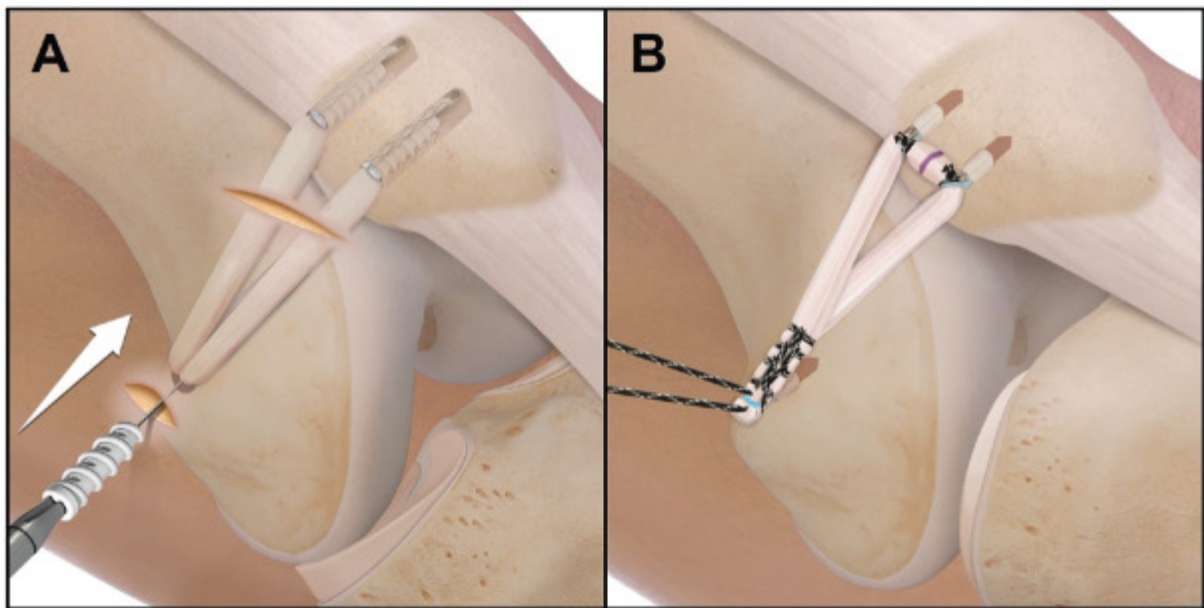


Abbildung 7: Darstellung verschiedener MPFL-R Techniken mittels (A) Zwei parallel gesetzte sich auflösende Fadenanker (3,9 × 17,9 mm) in Interferenztechnik an der Patella sowie eine biokompositive Interferenzschraube (6 × 20 mm) am Femur oder (B) zwei 2,6 mm große All-Suture-Anker (ASA) an der Patella und ein weiterer ASA am Femur.

[Abbildung aus „All-Suture Anchor Onlay Fixation for Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction: A Biomechanical Comparison of Fixation Constructs“ Smith et al. 2024; reproduziert mit freundlicher Genehmigung durch Sage Publications ©].
(Smith et al 2024)

Wenngleich der Einsatz der genannten Transplantate historisch bedingt als Goldstandard gilt, hat die Verwendung autologer Sehnen auch Nachteile. So kommt es durch die Entnahme der Sehnen gelegentlich zu Entnahmemorbiditäten, wie Schmerzen im Entnahmbereich, Hämatome, krampfartige Retraktion der zurückbleibenden Muskulatur oder sogar iatrogene Nervenschädigungen, wie z.B. des R. infrapatellaris n. saphenus bei der Gewinnung der Gracilissehne am Pes anserinus superficialis (Wisbech Vange et al. 2020, Flaherty et al. 2025, Sipahioglu et

al. 2017). Darüber hinaus sind die körpereigenen Sehnen anatomisch variabel und unterliegen größeren interindividuellen Unterschieden, was sich nicht nur in Länge und Durchmesser der Sehnen, sondern auch hinsichtlich ihrer biomechanischen Eigenschaften zeigt (Minoli et al. 2023, Moghamis et al. 2020). Außerdem sind die Sehnen naturgemäß nur limitiert vorhanden, was insbesondere im Revisionsfall oder nach bereits stattgehabter Sehnenplastik (z.B. vordere Kreuzbandplastik) am selben Knie zum Nachteil werden kann. Aus diesen Gründen kommen zunehmend auch artifizielle Transplantate zum Einsatz (Nomura et al. 2000a). Ein Beispiel ist hier das FiberTape® (FT) (Fa. Arthrex, Naples, USA), welches bereits erfolgreich für die operative Therapie z.B. von Verletzungen des Acromio-Klavicular-Bereichs oder der Rotatorenmanschette genutzt wird (Lee et al. 2018). Es besteht aus ultrahochmolekularem Polyethylenmaterial mit einem geflochtenen Mantel aus Polyesterband und präsentiert daher günstige biomechanische Eigenschaften (Lee et al. 2018). So bietet sich das FT auch für die Verwendung im patellofemorale Bereich an (Lee et al. 2018, Calvo Rodriguez et al. 2014). In der bisherigen Literatur konnte keine Unterlegenheit des FT gegenüber körpereigener Sehnentransplantate gezeigt werden (Henstenburg et al. 2024, Deo 2023). Einzelne Arbeiten zeigten sogar geringere Relaxationsraten, wenn ein FT verwendet wurde (Migliorini 2022a). Aufgrund der ausbleibenden Beeinträchtigung der assoziierten Muskulatur legen einzelne Autoren zudem ein verringertes Risiko für konsekutive Verletzungen des operierten Kniegelenks nahe (Hobson 2021). Trotz dieser günstigen Literaturlage ist die Evidenz zur Verwendung des FT für die MPFL-R noch limitiert. Dies ist insbesondere auf kleine Stichproben sowie eine fehlende Randomisierung der überwiegend retrospektiven Studien zurückzuführen.

Jede MPFL-R-Technik exprimiert Vor- und Nachteile. Wenngleich insbesondere unterschiedliche patellare Fixationsmethoden der Transplantate (z.B. Onlay-Technik mit Fadenankern versus Inlay-Technik mit Interferenzschrauben) mit Technik-spezifischen Komplikationsprofilen einhergehen, führen die meisten dieser Techniken zu einer vergleichbar effizienten Stabilisation des PFG (Sequeira et al. 2022, Kang et al. 2019). Alle Rekonstruktionstechniken haben gemeinsam, dass bei der femoralen Fixation die anatomische Rekonstruktion der Insertion von außerordentlicher Wichtigkeit ist. Abweichungen von der isometrischen Insertion können entweder zu Schmerzen aufgrund eines erhöhten Anpressdrucks oder zur Insuffizienz der MPFL-R führen (Maione et al. 2023). Der isometrische Insertionspunkt befindet sich „1,3

mm anterior zur Verlängerung der posterioren Femurkortikalis und 2,5 mm distal zu dem posterioren Ursprung der medialen Femurkondyle“ (Loeb et al. 2018). Die fluoroskopische Determinierung der Landmarken ist hier zu empfehlen (Schöttle et al. 2008). Auch der zur Fixierung angestrebte Winkel kann die Spannung des Transplantats beeinflussen (Walsh et al. 2024). Meist wird ein verlässliches Ergebnis bei einem Winkel von 30° erzielt (Sourougeon et al. 2025). Weiter kann eine übermäßige iatrogene Straffung, welche präventiv gegen Lockerungen wirken soll, zu Schmerzen, reduzierter ROM und Revisionen führen (Sourougeon et al. 2025). Aber auch intraoperative Faktoren spielen für den Erfolg der MPFL-R eine Rolle. Neben bereits beschriebenen Faktoren, wie beispielsweise der Wichtigkeit des Isometrie-Punkts, sind weitere Aspekte zu beachten. So sollte der femoral angelegte Knochentunnel ≥ 2 mm größer als der Durchschnitt des Transplantats sein, um eine übermäßige Spannung zu verhindern (Walsh et al. 2024).

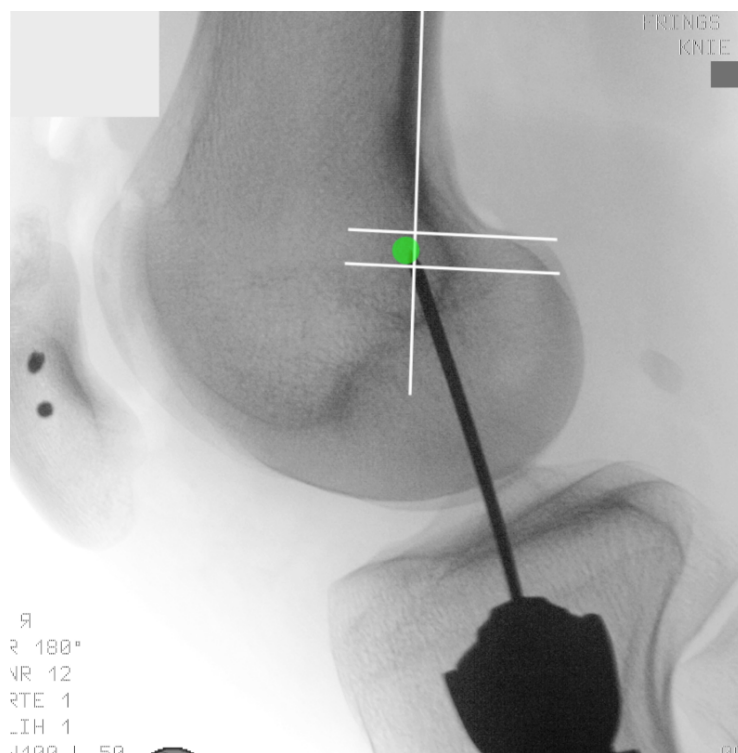


Abbildung 8: Radiografische Darstellung des Schöttle-Punkts, welcher zwischen einer Linie entlang der hinteren Femurkortikalis, der hinteren Begrenzung der Blumensaat-Linie und dem dia- zu metaphysären Übergang liegt

2.5.2. Funktionelle Ergebnisse nach MPFL-Plastik

Das funktionelle Ergebnis nach einer durchgeführten MPFL-Plastik hängt von verschiedenen Faktoren ab. Neben der Abwesenheit weiterer Risikofaktoren können patientenbezogene demografische Faktoren das funktionelle Ergebnis beeinflussen. So profitieren jüngere (< 30 Jahre) Patient:innen eher von der MPFL-R und zeigen überlegene funktionelle Ergebnisse sowie eine wahrscheinlichere Rückkehr zu sportlichen Aktivitäten als ältere (Pautasso et al. 2021). Andererseits zeigt sich in der älteren Population eine geringe Komplikationsrate, was sich möglicherweise auf einen weniger sportlich aktiven und somit risikoreichen Lebensstil zurückführen lässt (Migliorini et al. 2022b).

2.5.3. Komplikationen der operativen Therapie

Nach operativer Therapie auftretende Komplikationen variieren mit der Operationsmethode und treten je nach Literatur in 0-32,3% der Fälle auf (Jackson et al. 2023). Diese Methoden inkludieren, insbesondere zur patellaren Fixierung, die Nutzung intraossärer Tunnel, verschiedene Nahttechniken zur Transplantatfixation sowie Nahtanker, wobei letztere in der Literatur oft zusammengefasst werden. In der Gesamtschau exhibieren die Tunneltechniken (29,8%) mehr Komplikationen als die verschiedenen Nahttechniken (21,6%) (Shah et al. 2012). Komplikationen können sich als persistierender anteriorer Knieschmerz und persistierende Bewegungseinschränkung (Matzkin 2019), sowie einer Atrophie des Quadrizepsmuskels zeigen (Chouteau 2016). **Bewegungseinschränkungen**, insbesondere ein Flexionsdefizit, treten bei insgesamt ca. 13,4% der Patient:innen auf, wobei kein Unterschied in den verschiedenen Fixationstechniken ersichtlich ist (Shah et al. 2012). Diese Komplikationen können beispielsweise aufgrund einer übermäßigen Spannung des Transplantats (**Hyperkompressionssyndrom**) oder einem zu proximal angelegten Knochentunnel vorliegen (Chouteau 2016). Eine nicht-anatomische, proximale Kanalposition führt in Beugung zu einer unphysiologisch großen Transplantatspannung und damit zu einem erhöhten retropatellaren Anpressdruck, woraus wiederum Schmerzen und Revisionen resultieren können (Korthaus et al. 2022; Lee et al. 2018). Denn ein erhöhter mittlerer Spitzendruck aufgrund einer nicht-anatomischen femoralen Bohrkanallage ist für bis zu 38,2% der Revisionen verantwortlich (Korthaus et al. 2022). Intraoperativ werden in der Literatur verschiedene Strategien postuliert, um möglichst physiologische Spannungsverhältnisse zu erreichen. So wird die Fixation des Transplantats in

30-60° Flexion diskutiert, um eine zu hohe Transplantatspannung zu vermeiden (Shah et al. 2012). Die Begründung basiert auf Studien (Ahmad et al. 2009), welche von einer maximalen Länge des Transplantats bei 60° Flexion berichten. Ein grundlegender Vorteil bei Nutzung der Onlay-Technik mit Fadenankern, jedoch auch anderen Nahttechniken, ist die Reduktion des perioperativen Frakturrisikos, wie es bei transpatellaren Bohrungen beobachtet wird. Denn in bis zu 8,3% der Fälle können nach MPFL-R **Frakturen der Patella** auftreten (Jackson et al. 2023). Diese Komplikation wird fast ausschließlich bei der Nutzung eines transossären Tunnels mit Interferenzschraube berichtet (Jackson et al. 2023). Das Risiko einer Fraktur wird hier durch die Nutzung längerer und mehr als einer Schraube bzw. Knochentunnel erhöht (Jackson et al. 2023). Die Patellafrakturen können entweder direkt intraoperativ bei Kontakt der Verankerung mit einer kleinen, dysplastischen Patella, oder postoperativ aufgrund einer sekundären Schwächung der Patella durch den Knochentunnel, auftreten (Shah et al. 2012). Das Risiko einer Fraktur kann vermindert werden, indem der Knochentunnel in richtiger Größe angelegt und der anteriore Kortex der Patella erhalten wird (Smith et al. 2018). **Infektionen** oder **Hämatome** sind hingegen keiner Technik vermehrt zuzuordnen (Shah et al. 2012). Sie treten in bis zu 4% der Fälle auf (Jackson et al. 2023). **Reoperationen** treten nach MPFL-R in 0-11% der Fälle auf (Jackson et al. 2023), wobei als häufige Ursachen eine persistierende Instabilität oder Knorpelschäden genannt werden (Tscholl et al. 2020). Die prozentualen Angaben der Notwendigkeit nach Nutzung der einzelnen Techniken variieren je nach Literatur, können sich aber auf 0,5% (Naht), 1,9% (Fadenanker) und 2,85% (ossäre Tunnel) belaufen (Jackson et al. 2023).

2.5.4. Rehabilitation, Nachbehandlung und Rekonvaleszenz nach MPFL-R

Im Zuge der Nachbehandlung kann auf die Verwendung einer Schiene oder Orthese meist verzichtet werden. Einige Autoren empfehlen eine temporäre Teilbelastung, wobei im eigenen Vorgehen eine sofortige postoperative Vollbelastung unter Zuhilfenahme von Unterarmgehstützen gewährt wird. Zudem wird nach der isolierten MPFL-R ein freies Bewegungsausmaß des Kniegelenkes gewährt. Eine komplett schmerzfreie und volle ROM, wiederkehrende Muskelkraft und -kontrolle sowie uneingeschränkte Möglichkeit der sportlichen Aktivität werden normalerweise innerhalb von 4-5 Monaten postoperativ erreicht (Hetsroni et al. 2019). Begleitende Eingriffe, wie Osteotomien oder andere knöcherne Eingriffe können diese Phase verlängern (Tscholl et al. 2020). Additiv zur physiotherapeutischen Behandlung

können Kryotherapie und elektrische Stimulation in Erwägung gezogen und auch die begleitende Analgesie sollte nicht außer Acht gelassen werden (Bitar et al. 2012).

2.5.5. Reluxationen nach operativer Therapie

Nach der operativen Therapie können eine Rezidivinstabilität bzw. Reluxationen auftreten. Diese Ereignisse werden in der Literatur insgesamt mit $4,3\% \pm 5,6\%$ angegeben, wobei die Reluxationen nach Nahttechniken (4,8%) etwas häufiger auftreten als nach Nutzung intraossärer Tunnel (3,3%) (Shah et al. 2012). Trotz variierender Zahlen in der Literatur zeigen hier Naht- (5,9%) und Ankertechniken (6,6%) vergleichbare Ereignisraten. Dabei ist die Missachtung vorliegender anatomischer Risikofaktoren einer der Hauptgründe für ein Versagen der MPFL-R (Kita et al. 2015).

2.6. Fazit der Literaturrecherche zur MPFL-R

Grundsätzlich belegen Daten aus früheren Studien, dass die MPFL-Rekonstruktion aus der Sicht der Patient:innen meist eine zufriedenstellende Operationsmethode darstellt. Auch nach simultaner TTO, wenn nötig, ist die MPFL-R eine zuverlässige Methode, um wiederkehrende patellare Luxationen zu therapieren. Sie zeigt laut der aktuellen Literatur zufriedenstellende Ergebnisse ohne einen Einbruch im mittelfristigen Follow-up. Über 87% der operierten Patient:innen äußerten dies bei der finalen Nachuntersuchung, welche je nach Studie bei zwei bis acht Jahren postoperativ stattfand (Tscholl et al. 2020). Dies lässt die Annahme zu, dass die Mehrheit der Patient:innen dazu in der Lage sind, wieder einen erfüllenden und zufriedenstellenden Lebensstil zu führen. Auch die regelmäßige Beteiligung an sportlichen Aktivitäten kann meist langfristig beibehalten oder sogar intensiviert werden (Tscholl et al. 2020).

3. Material und Methoden

3.1. Studientyp und Studiendesign

Es handelte sich um eine prospektive, randomisierte, bizenrische, konfirmatorische Nicht-Unterlegenheitsstudie. Eingeschlossen wurden Jugendliche und Erwachsene, die sich mit einer Patellainstabilität oder stattgehabter Patellaluxation mit oder ohne (osteo-)chondralen Abscherfrakturen, vorstellten und für eine isolierte MPFL-Plastik sowie ggf. Refixation der Abscherfragmente indiziert wurden. Alle teilnehmenden Patient:innen wurden ausführlich über die Studie aufgeklärt und willigten zur Teilnahme an der Studie ein. Patient:innen mit nicht-abgeschlossener skelettaler Reife wurden ausgeschlossen. Weitere (ligamentäre) Begleitverletzungen, höhere korrekturbedürftige anatomische Risikofaktoren und Begleiteingriffe sowie höhergradige Voroperationen (mehr als laterales Release oder mediale Raffung) führten weiterhin zum Ausschluss.

3.2. Apparative Diagnostik

Zunächst erfolgte eine gründliche klinische Untersuchung aller eingeschlossenen Patient:innen, samt sorgfältiger Analyse der zugrundeliegenden MRT-Aufnahmen. Hierbei wurden folgende gängige radiologische Parameter für die Einschätzung anatomischer Risikofaktoren erhoben und gemessen, um höhergradige anatomische Risikofaktoren auszuschließen:

- TT-TG-Abstand (TT-TG)
- TT-PCL-Abstand (TT-PCL)
- Caton-Deschamps-Index (CDI)
- Patella-Trochlea-Index (PTI)
- Lateraler Inklinationswinkel der Trochlea (LTI)
- Insall-Salvati-Ratio (ISR)
- Trochleare Tiefe
- Beinachse in der Frontalebene (in klinisch begründeten Fällen)

Nachdem die Indikation zur MPFL-Plastik gestellt wurde und die Patient:innen der Teilnahme an der Studie zugestimmt hatten, erfolgte die Randomisierung. Mithilfe einer Randomisierungsliste wurden die teilnehmenden Patient:innen einer von zwei

Gruppen zugeordnet. Patienten in Gruppe G wurden für die MPFL-Plastik mittels ipsilateraler autologer Gracilissehne geplant, Patienten der Gruppe F wurden für die gleiche Prozedur mit einem artifiziellen Transplantat (FiberTape®) geplant. Das Ergebnis der Randomisierung wurde den Patient:innen mitgeteilt. Des Weiteren wurden Patient:innen mit (osteo-)chondralen Flakes als Subgruppe eingeteilt und untersucht, wobei die Patient:innen mit präoperativen Abscherfrakturen dem verbleibenden Patient:innenkollektiv gegenübergestellt wurden.

Die wissenschaftliche Evaluation der klinischen Ausgangssituation erfolgte mithilfe standardisierter Fragebögen, mit deren Hilfe die Patient:innen gebeten wurden den Zustand des Kniegelenkes vor der letztmalig stattgehabten Luxation zu beurteilen. Die Fragebögen umfassten den Lysholm Score, die Visuelle Analog Skala (VAS) für Schmerz, Kujala's Anterior Knee Pain Score, Tegner's Activity Index und den BPFI (Banff Patellofemoral Instability Instrument) 2.0. Darüber hinaus wurden Geburtsdatum, Alter, Geschlecht, Größe, Gewicht, BMI und die betroffene Seite sowie die Gesamtanzahl der Luxationsereignisse und die Anzahl der Voroperationen erfasst. Zudem erfolgte eine zusätzliche klinische Untersuchung, in deren Rahmen das Bewegungsausmaß und die Umfänge beider Oberschenkel bei 10 und 15 cm proximal des Gelenkspalts ermittelt wurden.

3.3. Fallzahlanalyse und Berechnung der statistischen Power

Basierend auf dem BPFI 2.0, einem validierten, krankheitsspezifischen Patient-Reported Outcome Measure (PROM) erfolgte die Fallzahlberechnung für diese Studie. Eine entsprechende a-priori Fallzahlanalyse erfolgte auf der Grundlage von Milinkovic et al. (2023) mittels G*Power-1 (Version 3.1.9.6). Bei einer Effektstärke von $z = 0,4$, α -Fehlerwahrscheinlichkeit = 0,05 ergab sich eine Teststärke (Power) von 0,95, um einen Unterschied der postoperativen BPFI 2.0-Score-Werte zwischen den Gruppen nachweisen zu können. Unter Berücksichtigung einer geschätzten Drop-out-Rate von 10% wurde eine Gesamtsubjektzahl von 78 Patient:innen berechnet, mit finalen 35 Patient:innen pro Behandlungsgruppe. Da diese Dissertation sich mit der Publikation der Zwischenergebnisse befasst, ist eine Erreichung der absoluten Fallzahl nicht das primär vorauszusetzende Ziel dieser Arbeit.

3.4. Operationstechnik

3.4.1. Gracilissehne

Nach einer diagnostischen Arthroskopie erfolgte die Entnahme der Gracilissehne über eine ca. 3cm lange Längsinzision über dem Pes anserinus superficialis. Nach Spaltung der Sartoriusfaszie wurde die Gracilissehne identifiziert, mobilisiert und mit dem Sehnenstripper vom Muskel abgelöst. Das Transplantat wurde mit Fäden armiert und in einer mit 1%iger Vancomycinlösung getränkten Kompresse eingewickelt. Dann erfolgte ein ca. 2cm langer Hautschnitt am medialen Patellarand, mit scharfer Präparation bis durch das mediale Retinakulum. Nach Anfrischen der Insertion wurden zwei Fadenanker (FastTak®, Fa. Arthrex, Naples, FL, USA) zwischen dem medialen und proximalen Dritten der Patella eingebracht und unter dem Bildverstärker lagekontrolliert (Abb. 9). Unter streng seitlicher Projektion des Kniegelenkes erfolgte dann die Lokalisation des femoralen Isometriepunktes und die Hautinzision darüber (Abb. 10). Die korrekte Insertion wurde mittels Ösendraht markiert und erneut radiologisch kontrolliert (Abb. 10). Anschließend wurde der Draht in kranioventraler Orientierung eingebracht und mit einem 6 mm durchmessenden kanülierten Bohrer bis zur Gegenkortikalis überbohrt. Dann erfolgte die Präparation zwischen der zweiten und dritten Schicht des medialen Retinakulums nach Warren (Warren und Marshall 1979), mit anschließendem Vorlegen eines Durchzugsfadens. Schließlich folgte die Fixierung des Transplantates mittig an der Patella (Abb. 11), durch Herunterknoten der Fäden auf den medialen Patellarand, gefolgt vom Durchführen der Sehne nach femoral, wo das Transplantat in den Bohrkanal eingezogen wurde. Nach mehrfachem Durchbewegen wurde das Kniegelenk in 70-90° überführt, der kontralaterale Durchzugsfaden temporär fixiert und die Transplantatspannung zwischen 0-30° Kniebeugung geprüft. Die finale femorale Fixierung erfolgte mit einer 6 x 20 mm Biointerferenzschraube (FastThread®, Fa. Arthrex, Naples, FL, USA), unter kontinuierlicher Sicherung der physiologischen Bandspannung (Abb. 11). Im Anschluss erfolgte die Readaptation des medialen Retinakulums mit Wundspülung und schichtweiser Wundnaht.

3.4.2. FiberTape

Bei der Verwendung eines artifiziellen Transplantates entfiel die Sehnenentnahme. Die folgenden Schritte erfolgten analog zum Vorgehen mit der Gracilissehne. Im Gegensatz zum oben beschriebenen Vorgehen erfolgte die femorale Bohrung hier

mit einem 5 mm Bohrer. Die Fixierung erfolgte ebenfalls mit einer 6 x 20 mm Interferenzschraube (FastThread®, Fa. Arthrex, Naples, FL, USA).

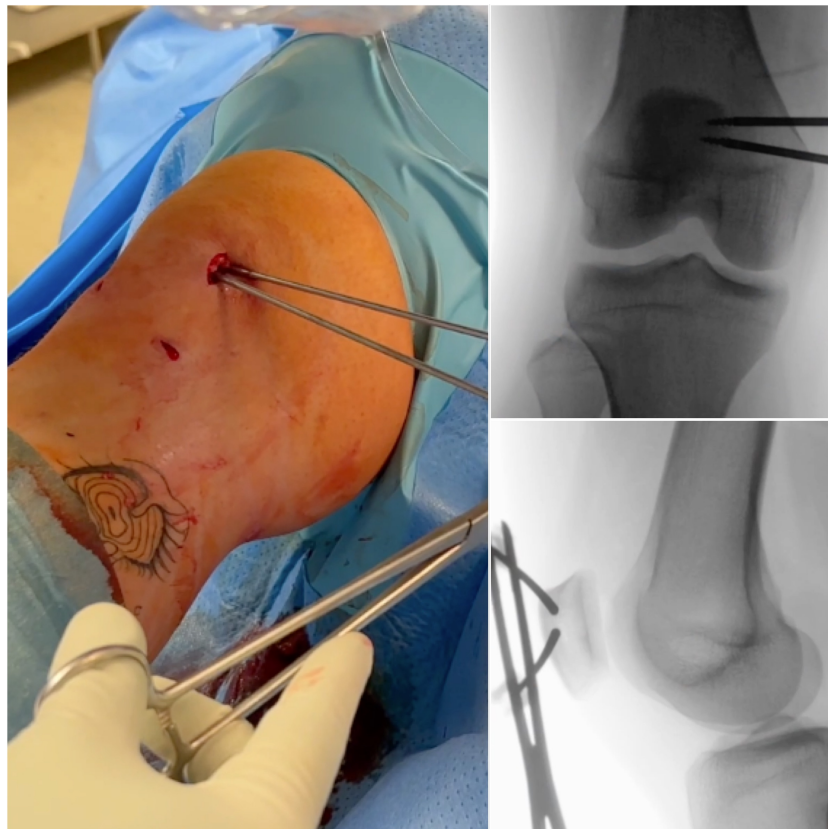


Abbildung 9: Röntgenologische Lagekontrolle eingebrachter Fadenanker in 2 Ebenen

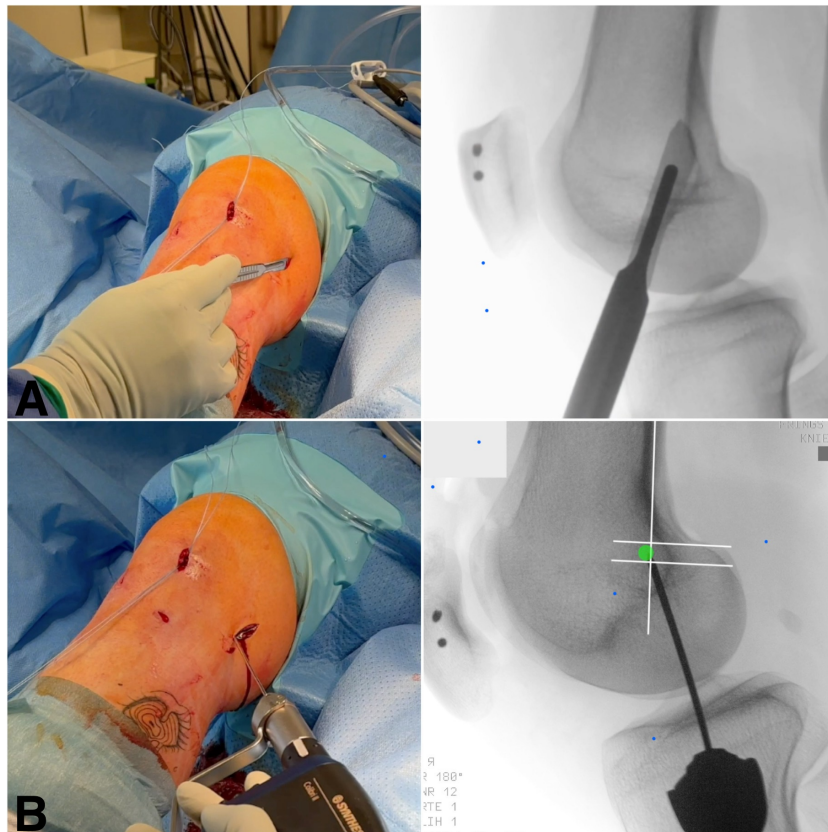


Abbildung 10: A: Lokalisation des Isometripunktes unter Bildwandlerkontrolle; B: Lagekontrollierte Einbringung des Ösendrahts

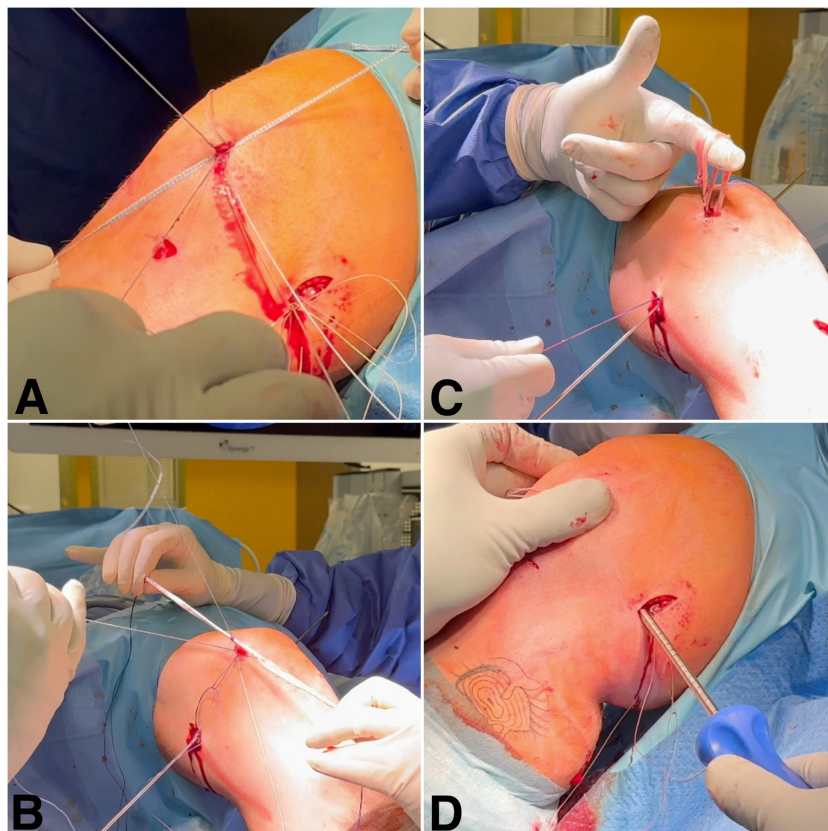


Abbildung 11: A,B: Fixierung des jeweiligen Transplantats an der Patella; C: Durchzug des Transplantats nach femoral; D: femorale Fixierung mittels Biointerferenzschraube

3.5. Nachbehandlung

Die postoperative Nachbehandlung gliedert sich in drei Phasen, die sich unter anderem durch sukzessive Physiotherapie auszeichnen. Insgesamt ist ein in allen Phasen ein freier Bewegungsumfang und eine schmerzadaptierte Vollbelastung (initial an Unterarmgehstützen) möglich. Eine Orthesenversorgung ist nicht notwendig. Die detaillierte Beschreibung der Nachbehandlung kann dem Schema in Anhang 11.3. entnommen werden.

3.6. Klinische Nachuntersuchungen

Die Nachuntersuchungen wurden standardisiert nach 6 und 12 Monaten postoperativ geplant und durchgeführt. Es erfolgte erneut eine standardisierte körperliche Untersuchung, die der Eingangsuntersuchung entsprach. Zusätzlich wurden im Rahmen der Nachuntersuchung die subjektive Oberflächensensitivität sowie Druck- und/oder Bewegungsschmerzen im Bereich des vorderen Knies und des Transplantatverlaufs abgefragt. Die körperliche Untersuchung wurde immer von derselben Person durchgeführt. Zudem wurden die Patient:innen erneut gebeten, die standardisierten Fragebögen auszufüllen. Außerdem wurden Reluxationen und Revisionen abgefragt und quantifiziert. Einige der Patient:innen, welche nicht persönlich erscheinen konnten, erklärten sich entweder zu einer telefonischen Befragung bereit oder reichten ausgefüllte Fragebögen per E-Mail ein.

3.7. Statistische Auswertung

Aufgrund logistischer Rahmenbedingungen konnten nicht bei allen Patient:innen sämtliche geplanten Parameter erhoben werden. Unvollständige Datensätze wurden aus den jeweiligen Analysen ausgeschlossen, jedoch, sofern möglich, für Teilauswertungen berücksichtigt. Eine Imputation fehlender Werte wurde nicht vorgenommen, um die ursprüngliche Datengrundlage unverfälscht zu erhalten. Die Auswertung der erhobenen Daten erfolgte anhand von Microsoft® Excel Version 16.99.2, sowie Numbers Version 14.0. Weitere statistische Analysen wurden mit IBM SPSS® Statistics Version 29.0.2.0 durchgeführt. Die Normalverteilung der Daten wurde mit dem Shapiro-Wilk-Test geprüft. Für die meisten Variablen lag der p-Wert $> 0,05$, sodass von einer Normalverteilung ausgegangen werden konnte. Die Voraussetzung der Varianzhomogenität wurde mit dem Levene-Test überprüft. In

einzelnen Fällen wurde die Zeile „Equal variances not assumed“ verwendet. Zunächst erfolgte die deskriptive Analyse demographischer Daten und radiologischer Ergebnisse. Es folgte der Vergleich innerhalb der Gruppen F (FiberTape®) und G (Gracilissehne) zum postoperativen Zeitpunkt (t_1 , t_2) im Vergleich zum präoperativen Ausgangswert (t_0), um zu determinieren, ob jegliche Intervention eine signifikante Verbesserung erbrachte. Der Vergleich der absoluten sowie bereinigten Werte (postoperativ vs. präoperativ sowie 12 Monate postoperativ vs. 6 Monate postoperativ; Δ -Werte) beider Gruppen zu den jeweiligen Zeitpunkten identifizierte mögliche gruppenbezogene Unterschiede im postoperativen Verlauf unter Ausschluss individueller Ausgangsunterschiede. Des Weiteren betrachteten wir Patient:innen mit (osteo-)chondralen Abscherfrakturen mithilfe des gleichen Verfahrens. Neben dem post- zu präoperativen Vergleich determinierten wir jedoch zuerst etwaige Unterschiede zu Patient:innen ohne diese Begleitverletzungen, bevor wir Unterschiede zwischen den Transplantatgruppen untersuchten. Die normal verteilten Daten wurden als Mittelwerte und Standardabweichungen präsentiert und in Box-Plots und Graphen dargestellt. Unterschiede wurden mit dem Student's t-Test untersucht. Als Signifikanzniveau wurde $p < 0,05$ festgelegt. Der VAS-Score zeigte einige nicht normalverteilte Daten, sodass hier mittels Wilcoxon- und Mann-Whitney U Test nichtparametrische Verfahren angewendet wurden.

3.8. Ethik

Die dieser Dissertation zugrunde liegende Studie wurde von der Ethik-Kommission der Ärztekammer Hamburg genehmigt (siehe Anhang 10.2). Die Auswertung der Studiendaten erfolgte anonymisiert. Eine Einverständniserklärung der Patient:innen beziehungsweise der Erziehungsberechtigten lag in allen Fällen vor. Zudem erhielten alle Teilnehmer:innen der Studie eine ausführliche Beratung und ein Informationsblatt.

4. Ergebnisse

4.1. Demographische Ergebnisse

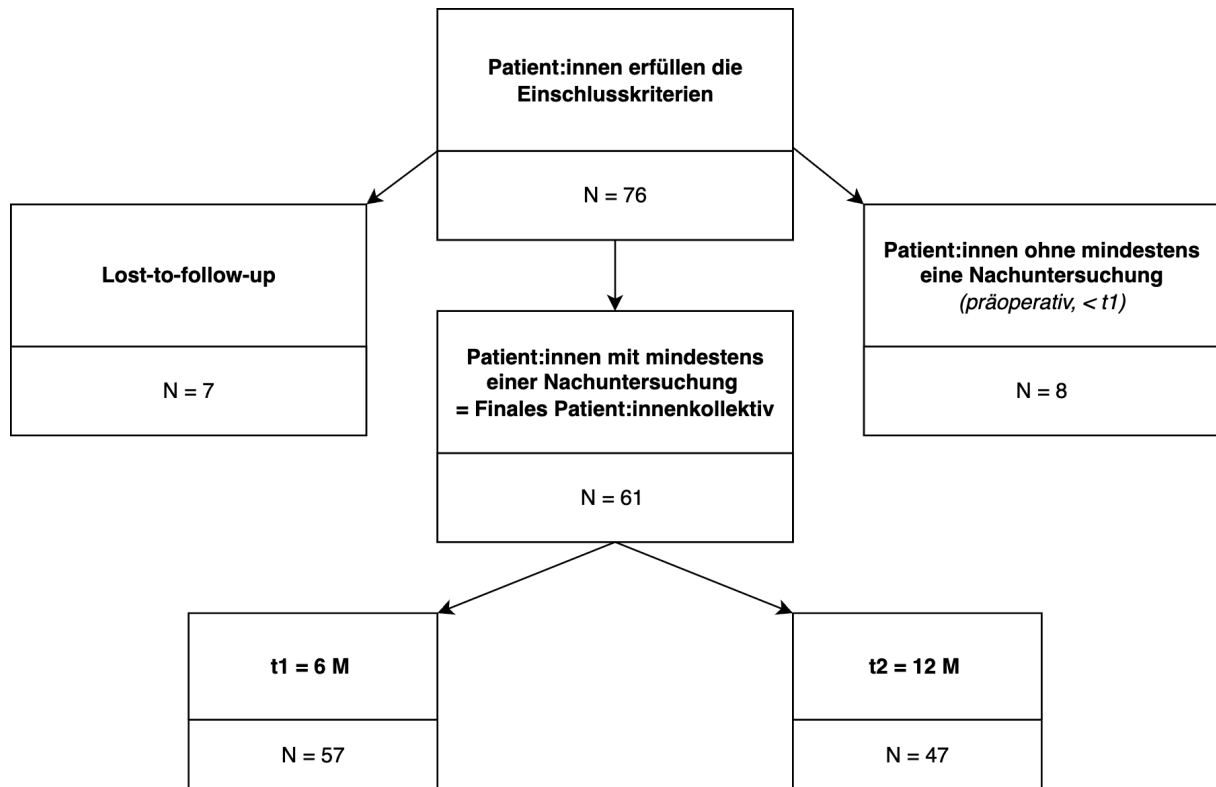


Abbildung 12: Flussdiagramm der Patient:innenauswahl und Nachuntersuchungen (t1 = 6 Monate, t2 = 12 Monate).

Insgesamt bildeten 61 eingeschlossene Patient:innen das finale Kollektiv. Davon waren 36 weiblich und 25 männlich. Das Durchschnittsalter lag bei $24,0 \pm 6,9$ (15-49) Jahren. Das durchschnittliche Gewicht lag bei $78,1 \pm 18,2$ kg und die Körpergröße bei 177 ± 11 cm. Die präoperativ gemessenen radiologischen Parameter sind Tabelle 1 zu entnehmen. Es zeigte sich kein Anhalt für relevante Begleitpathologien innerhalb des Patient:innenkollektivs. Insgesamt wurden 30 Patient:innen mit der Gracilissehne und 31 Patient:innen mit einem FiberTape operiert. Bei 37 Patient:innen erfolgte eine isolierte MPFL-Plastik ohne weitere Prozeduren. In 24 Fällen zeigten sich osteochondrale (n=10) oder chondrale (n=14) Abscherfrakturen, welche je nach Größe und Beschaffenheit des Fragments mittels Smartnails refixiert, im Sinne einer AMICplus-Behandlung (Autologe Matrixinduzierte Chondrogenese mit autologen Knorpelchips) behandelt oder entfernt wurden. Diese Flakes waren in 17

Fällen retropatellar lokalisiert, wobei sieben als der medialen patellaren Facette zugehörig und vier als zentral beschrieben wurden. Die weiteren sechs retropatellaren Abscherfrakturen wurden nicht näher charakterisiert. Sechs (osteo-)chondrale Flakes waren an der lateralen Femurkondyle lokalisiert. Eine Abscherfraktur wurde nicht näher definiert. Die Nachuntersuchungen erfolgten im Mittel nach 6,1 Monaten $\pm$ 26 Tage (t_1) und 11,9 $\pm$ 60 Tage (t_2).

Tabelle 1

	Normwert	Mittelwert ($\pm$ SD)	N
TT-TG	< 15 mm (15-20mm)	12,5 ($\pm$ 3,53)	61
TT-PCL	$\leq$ 24 mm	21,15 ($\pm$ 3,45)	56
CDI	0,6-1,2	1,19 ($\pm$ 0,12)	61
ISR	0,8-1,3	1,24 ($\pm$ 0,23)	41
Trochleatiefe	3 - 10 mm	4,74 ($\pm$ 1,44)	52
LTI	> 11°	17,53 ($\pm$ 5,66)	54
PTI	12,5 - 50%	49 ($\pm$ 19)	38
Achse	< 5°	1,36 ($\pm$ 2,72) val	36

Präoperative Diagnostik des Patient:innenkollektivs mittels Magnetresonanztomografie. Darstellung des Normwerts und des Mittelwerts ($\pm$ SD)

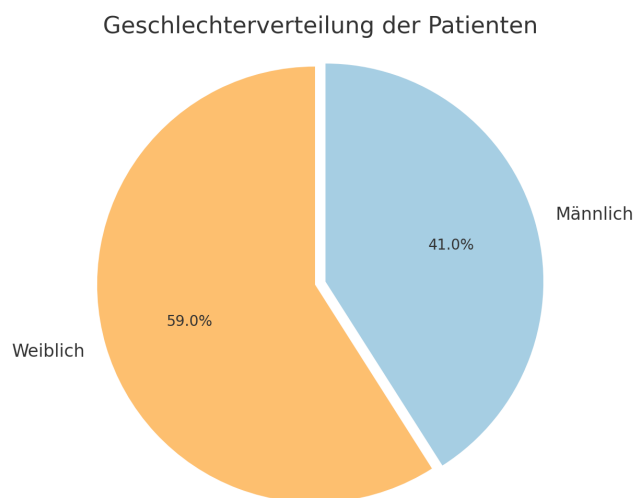


Abbildung 13: Geschlechterverteilung der Studienteilnehmer:innen (n=61)

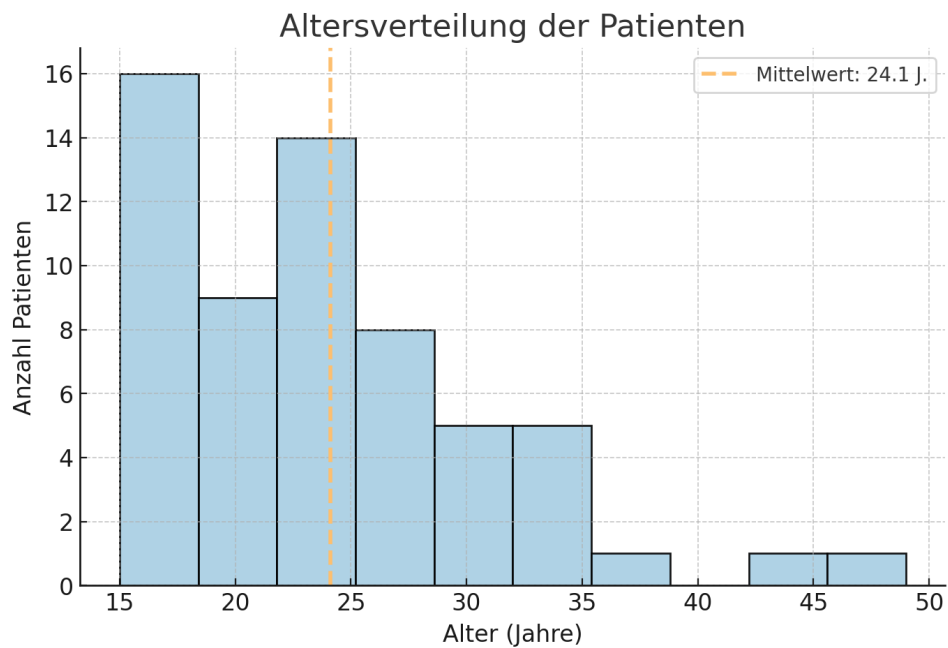


Abbildung 14: Alterverteilung der Studienteilnehmer:innen (n=61)

4.2. Funktionelle Ergebnisse

4.2.1. Präoperativ t_0

Präoperativ zeigten sich in beiden Gruppen vergleichbare Ausgangswerte aller funktionellen Scores (Tab. 2) und des Schmerzniveaus (Tab. 3), ohne signifikanten Unterschied zwischen den beiden Transplantatgruppen.

Patient:innen mit Flake-Fraktur wiesen präoperativ ein niedrigeres Funktionsniveau auf, als Patient:innen ohne diese Begleitverletzungen. Diese signifikanten Unterschiede waren sowohl im Lysholm- ($p = 0,048$) und Kujala-Score ($p = 0,039$) abzulesen (Tab. 5, Tab. 11 in Kapitel 11.1). Es zeigten sich präoperativ keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Schmerzniveaus (Tab. 4, Tab. 9 in Kapitel 11.1).

4.2.2. Postoperativ t_1

Nach 6 Monaten ($t_1 = 6,1$ Monate $\pm$ 26 Tage) zeigten beide Transplantatgruppen eine signifikante Reduktion des Schmerzniveaus und eine Steigerung der funktionellen Outcomeparameter im Vergleich zum präoperativen Ausgangsstatus (Tab. 2, 3). Diese Verbesserung zeigte sich in beiden Gruppen anhand des Banff-Scores als signifikant. In Gruppe F traten zusätzlich signifikante Verbesserungen im Kujala- und

Lysholm-Score auf, welche sich in Gruppe G nicht zeigten (Tab. 2). Diese Gruppenunterschiede waren nicht signifikant (alle $p > 0,183$). Abweichend von den übrigen Scores zeigte der Tegner-Score zu diesem Zeitpunkt keine signifikanten Verbesserungen.

In der gesonderten Betrachtung von Patient:innen mit und ohne Begleitverletzungen erzielten beide Subgruppen sechs Monate postoperativ funktionelle Verbesserungen, wobei diese in der Gruppe mit Flake-Frakturen deutlicher ausfielen. Der Unterschied zwischen den Subgruppen war signifikant (Kujala $p = 0,006$; Lysholm $p = 0,002$; Banff $p < 0,001$; Tab 5). Diese Ergebnisse zeigten sich sowohl im Gesamtkollektiv, als auch in getrennter Betrachtung der Transplantate F und G, wobei das genutzte Material die Resultate nicht beeinflusste (Tab. 5, Tab. 11, 12 in Kapitel 11.1). Beide Subgruppen zeigten außerdem eine signifikante Schmerzreduktion ohne signifikante Gruppenunterschiede (Tab. 4, Tab. 9 in Kapitel 11.1) oder Einflüsse des verwendeten Transplantats (Tab. 10 in Kapitel 11.1).

4.2.3. Postoperativ t_2

12 Monate ($t_2 = 11,9$ Monate $\pm$ 60 Tage) postoperativ zeigten beide Transplantatgruppen vergleichbare absolute Werte bezüglich Schmerz- und Funktionsparametern (Tab. 2, 3).

Eine signifikante Verbesserung im Vergleich zum präoperativen Zustand zeigte sich in allen funktionellen Scores beider Transplantatgruppen, mit Ausnahme des Tegner-Scores in Gruppe F. Es zeigten sich keine signifikanten Gruppenunterschiede (alle $p > 0,201$; Tab. 2, 3).

Bei gesonderter Betrachtung der Patient:innen mit präoperativer (osteo-)chondraler Abscherfraktur und jenen ohne zeigten beide Subgruppen deutliche funktionelle Verbesserungen im Vergleich zum Ausgangsstatus, wobei diese Verbesserungen in der Flake-Gruppe deutlicher ausfielen. Dieser Subgruppenunterschied war teils signifikant (Kujala-Score gesamt sowie in Gruppe F: $p < 0,023$, Lysholm Score gesamt sowie Gruppe G: $p < 0,046$; Tab. 5, Tab. 11 in Kapitel 11.1). Patient:innen mit und ohne Begleitverletzungen zeigten 12 Monate postoperativ zudem jeweils eine deutliche Schmerzreduktion (Tab. 4, Tab. 9 in Kapitel 11.1), wobei die Wahl des Transplantats diese Ergebnisse nicht beeinflusste (Tab. 10 in Kapitel 11.1).

4.2.4. Longitudinale Veränderung nach 6 und 12 Monaten ($t_2 - t_1$)

In Relation zur 6-monatigen Nachuntersuchung gab es 12 Monate postoperativ keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen F und G. Beide Gruppen zeigten weiterhin stabile bzw. sich leicht verbessernde Funktionsparameter sowie eine fallende Tendenz der VAS, welche jedoch nur teilweise signifikant waren (Tab. 2, 3).

Im Vergleich der Subgruppen der Patient:innen mit und ohne präoperative Abscherfrakturen zeigten sich in beiden Gruppen weitere signifikante Verbesserungen der Funktionalität, welche sich insbesondere im Kujala-, Tegner- und Banff-Score der Patient:innen mit Abscherfrakturen darstellten (alle $p < 0,015$, Tab. 5). Die Gruppe ohne Begleitverletzungen zeigte einen signifikanten funktionellen Zuwachs anhand des Tegner-Scores ($p = 0,036$; Tab. 5). Die weiteren Ergebnisse waren nicht signifikant (Tab. 5, Tab. 11 in Kapitel 11.1). Zwischen den Subgruppen waren signifikante Unterschiede im Banff-Score (Gesamt; F) sowie Kujala-Score (F) auszumachen, wobei die Flake-Gruppe im Vergleich zur Gruppe ohne Flakes jeweils höhere Werte erzielte (Tab. 5, Tab. 11 in Kapitel 11.1). In näherer Betrachtung der Transplantatgruppen erzielten Patient:innen ohne Abscherfrakturen in Gruppe G in diesem Zeitraum außerdem ein signifikant besseres Ergebnis im Kujala- sowie Tegner-Score als Patient:innen ohne Abscherfrakturen in Gruppe F (beide $p < 0,019$; Tab. 12 in Kapitel 11.1). Eine zur 6-monatigen Nachuntersuchung weitere signifikante Schmerzreduktion fand nicht statt (Tab. 4, Tab. 9 in Kapitel 11.1).

Tabelle 2: Funktionelle Ergebnisse über die Zeitpunkte t0 bis t2 nach Transplantatgruppe

		Kujala		Lysholm		Tegner		Banff	
		F	G	F	G	F	G	F	G
t ₀	Mittelwert (± SD)	61,27 (± 24,36)	64,28 (± 23,07)	61,67 (± 21,50)	64,28 (± 23,22)	4,6 (± 2,01)	4,46 (± 1,92)	43,51 (± 20,69)	49,01 (± 23,91)
	p	0,628		0,699		0,794		0,394	
	95%-KI	[-15,39 , 9,37]		[-13,92 , 9,40]		[-0,90 , 1,17]		[-18,37 , 7,37]	
t ₁	Mittelwert (± SD)	76,83 (± 16,29)	75,34 (± 15,78)	76,13 (± 17,42)	76,17 (± 15,22)	4,13 (± 1,15)	4,52 (± 1,38)	66,82 (± 17,17)	63,16 (± 18,75)
	p	0,738		0,992		0,273		0,469	
	95%-KI	[-7,38 , 10,36]		[-9,90 , 8,95]		[-1,10 , 0,38]		[-6,42 , 13,74]	
t ₂	Mittelwert (± SD)	79,96 (± 13,11)	83,13 (± 9,94)	82,04 (± 13,60)	82,08 (± 11,52)	5,00 (± 1,68)	5,58 (± 1,56)	71,40 (± 20,38)	68,89 (± 17,12)
	p	0,354		0,795		0,223		0,648	
	95%-KI	[-9,98 , 3,65]		[-6,43 , 8,35]		[-1,53 , 0,37]		[-8,58 , 13,61]	
t ₁ - t ₀	Δ Mittelwert (± SD)	17,13 (± 26,80)	11,07 (± 28,55)	15,04 (± 23,64)	12,556 (± 28,25)	-0,38 (± 2,14)	0,12 (± 1,90)	23,78 (± 21,06)	15,11 (± 23,78)
	95%-KI	[5,81 , 28,44]	[-0,22 , 22,37]	[5,06 , 25,02]	[1,38 , 23,73]	[-1,28 , 0,53]	[-0,65 , 0,89]	[14,67 , 32,89]	[5,50 , 24,73]
	p	* 0,005	0,054	* 0,005	0,29	0,4	0,76	* <0,001	* 0,004
F vs. G	p	0,441		0,733		0,396		0,183	
	95%-KI	[-9,59 , 21,69]		[-12,23 , 17,28]		[-1,64 , 0,66]		[-4,23 , 21,57]	
t ₂ - t ₀	Δ Mittelwert (± SD)	19,35 (± 29,06)	20,35 (± 28,40)	22,83 (± 27,41)	18,83 (± 29,16)	0,48 (± 2,45)	1,32 (± 1,84)	26,96 (± 25,19)	25,53 (± 23,96)
	95%-KI	[6,78 , 31,91]	[8,07 , 32,63]	[10,97 , 34,68]	[6,22 , 31,44]	[-0,58 , 1,54]	[0,50 , 2,13]	[14,82 , 39,10]	[13,98 , 37,07]
	p	* 0,004	* 0,002	* <0,001	* 0,005	0,359	* 0,003	* <0,001	* <0,001
F vs. G	p	0,907		0,705		0,201		0,859	
	95%-KI	[-18,07 , 16,07]		[-13,79 , 20,23]		[-2,15 , 0,47]		[-14,74 , 17,61]	
t ₂ - t ₁	Δ Mittelwert (± SD)	-0,15 (± 11,86)	6,87 (± 11,03)	4,15 (± 14,26)	4,57 (± 11,68)	0,35 (± 1,68)	1,26 (± 1,42)	1,32 (± 18,14)	2,85 (± 12,80)
	95%-KI	[-5,70 , 5,40]	[2,1 , 11,64]	[-2,57 , 10,87]	[-0,48 , 9,62]	[-4,28 , 1,13]	[0,65 , 1,88]	[-7,17 , 9,81]	[-2,83 , 8,52]
	p	0,955	* 0,007	0,212	0,074	0,358	* <0,001	0,748	0,309
F vs. G	p	0,051		0,917		0,060		0,753	
	95%-KI	[-14,07 , 0,80]		[-8,43 , 7,60]		[-1,86 , 0,04]		[-11,25 , 8,19]	

Auswertung der absoluten und longitudinalen Ergebnisse der funktionellen Fragebögen (Kujala, Lysholm, Tegner, Banff). Darstellung der absoluten Werte zu den Zeitpunkten t₀ (= präoperativ (n = 59); t₁ (= 6 Monate postoperativ (n=53); t₂ (= 12 Monate postoperativ (n = 47)) im Vergleich zu t₀ sowie intergruppalen Vergleich zu den verschiedenen Zeitpunkten mittels unabhängiger t-Testung

Tabelle 3: VAS über die Zeitpunkte t₀ bis t₂ nach Transplantatgruppe

		F	G
t ₀	Median [IQR]	2,5 [5]	4 [4]
	p	0,302	
t ₁	Median [IQR]	1 [1]	2 [2]
	p	0,782	
t ₂	Median [IQR]	1 [3]	2 [3]
	p	0,695	
t ₁ - t ₀	ΔMedian [IQR]	-1 [4]	-2 [3]
	p	* 0,022	* <0,001
	Z-Wert	-2,299	-3,531
F vs. G	p	0,371	
t ₂ - t ₀	ΔMedian [IQR]	-2 [6]	-2 [4]
	p	* 0,007	* 0,002
	Z-Wert	-2,702	-3,125
F vs. G	p	0,634	
t ₂ - t ₁	ΔMedian [IQR]	0 [2]	0 [2]
	p	0,700	0,578
	Z-Wert	0,385	0,557
F vs. G	p	0,980	

Darstellung der absoluten Werte sowie der longitudinalen Veränderung der VAS in den Transplantatgruppen zu den Zeitpunkten t₀ (= präoperativ (n = 59)); t₁ (= 6 Monate postoperativ (n=53)); t₂ (= 12 Monate postoperativ (n = 47)) im Vergleich zu t₀ mittels Wilcoxon-Test sowie intergruppaler Vergleich zu den verschiedenen Zeitpunkten mittels Mann-Whitney U Tests

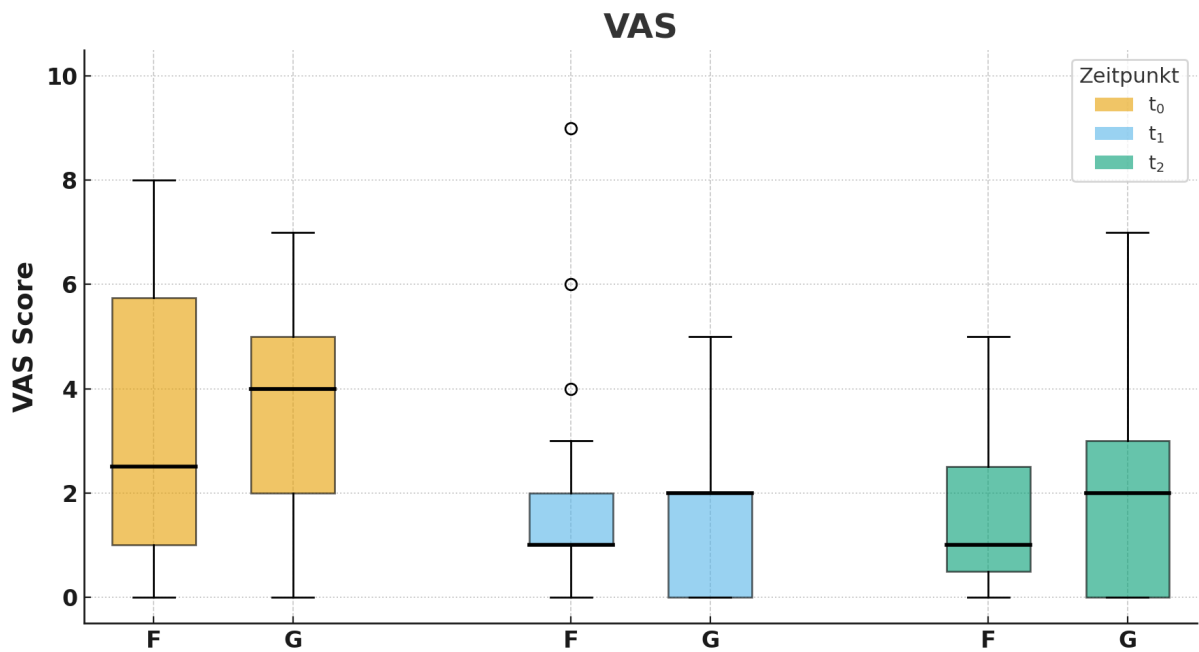


Abbildung 15: Darstellung der Mediane der absoluten Werte der VAS in den Transplantatgruppen zu den Zeitpunkten t₀ (= präoperativ (n = 59)); t₁ (= 6 Monate postoperativ (n=53)); t₂ (= 12 Monate postoperativ (n = 47))

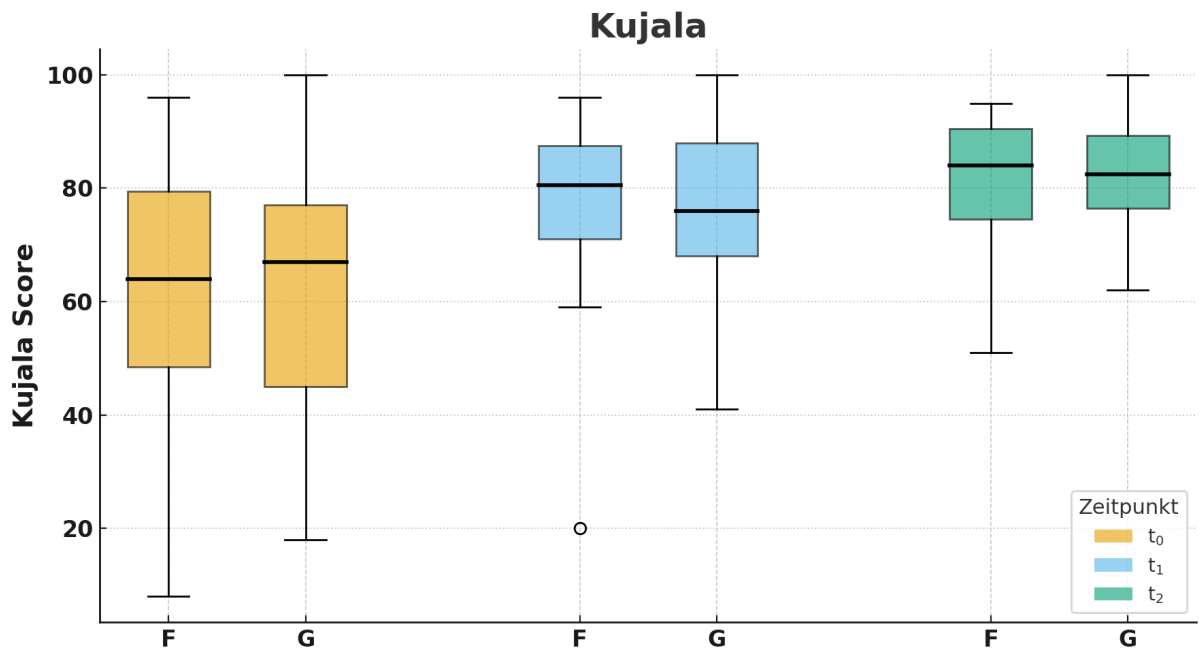


Abbildung 16: Darstellung der Mediane der absoluten Werte des Kujala-Scores in den Transplantatgruppen zu den Zeitpunkten t₀ (= präoperativ (n = 59)); t₁ (= 6 Monate postoperativ (n=53)); t₂ (= 12 Monate postoperativ (n = 47))

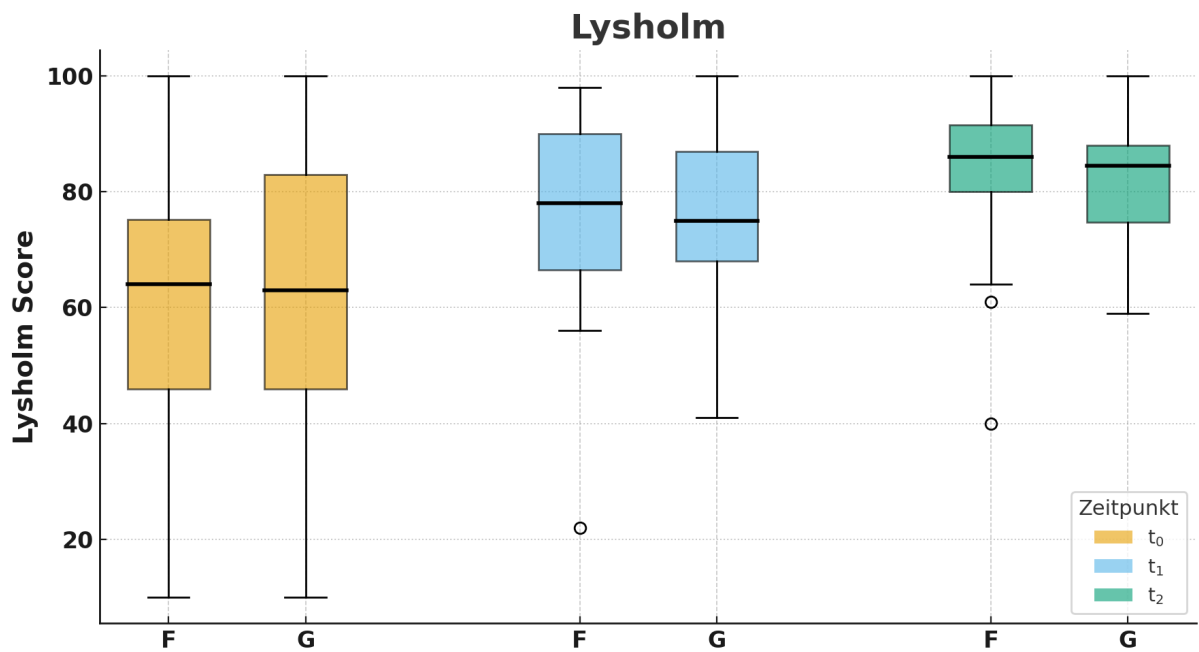


Abbildung 17: Darstellung der Mediane der absoluten Werte des Lysholm Scores in den Transplantatgruppen zu den Zeitpunkten t₀ (= präoperativ (n = 59)); t₁ (= 6 Monate postoperativ (n=53)); t₂ (= 12 Monate postoperativ (n = 47))

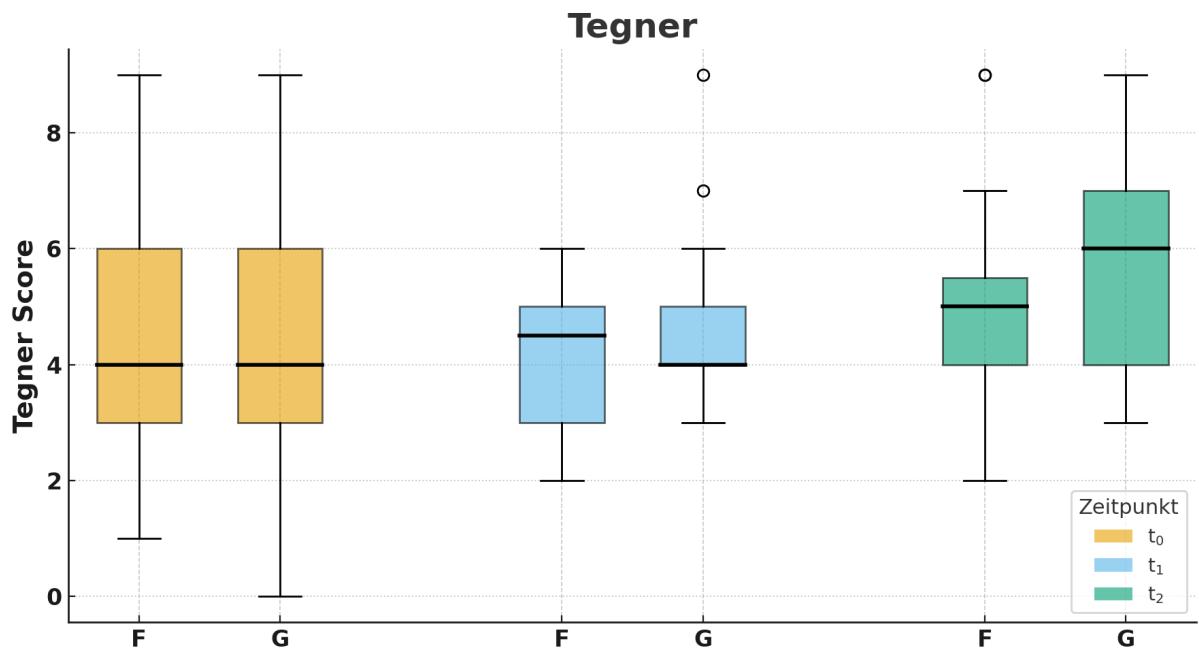


Abbildung 18: Darstellung der Mediane der absoluten Werte des Tegner Scores in den Transplantatgruppen zu den Zeitpunkten t₀ (= präoperativ (n = 59)); t₁ (= 6 Monate postoperativ (n=53)); t₂ (= 12 Monate postoperativ (n = 47))

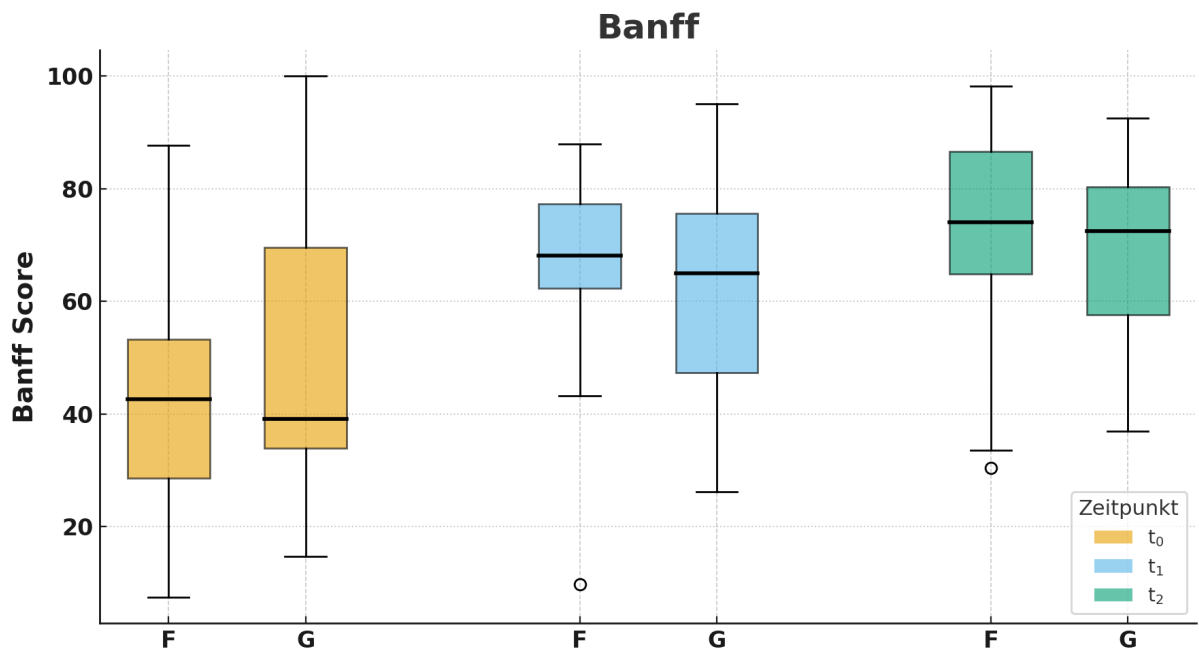


Abbildung 19: Darstellung der Mediane der absoluten Werte des Banff Scores in den Transplantatgruppen zu den Zeitpunkten t₀ (= präoperativ (n = 59)); t₁ (= 6 Monate postoperativ (n=53)); t₂ (= 12 Monate postoperativ (n = 47))

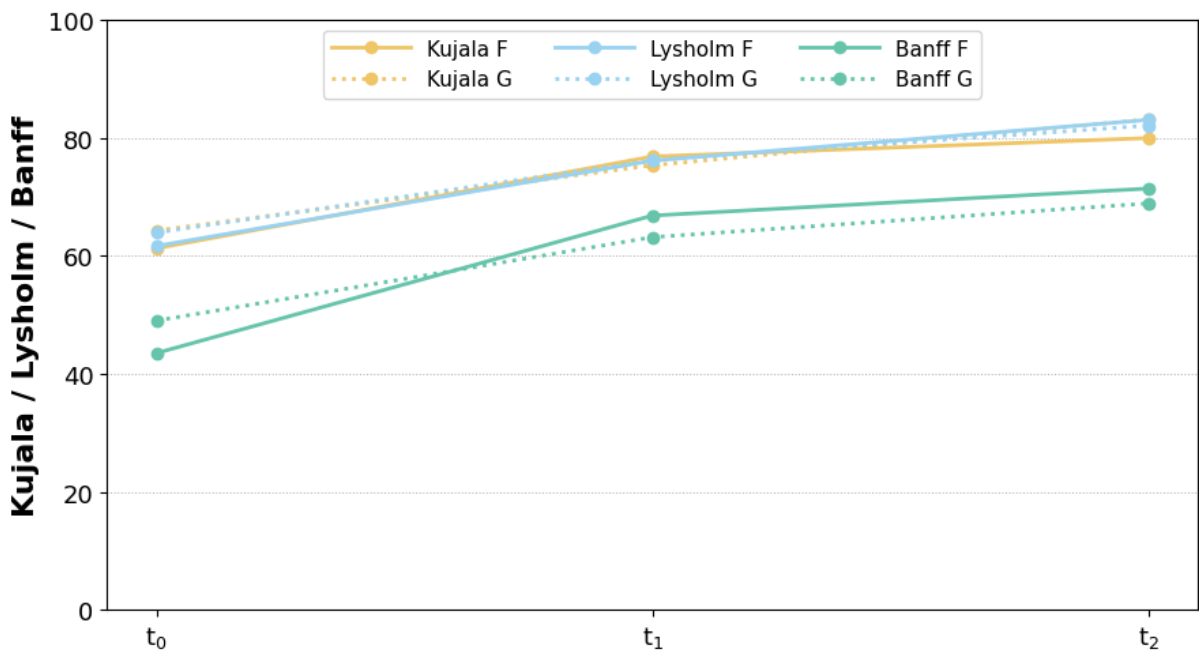


Abbildung 20: Darstellung der longitudinalen Entwicklung mittels Mittelwerte des Kujala-, Lysholm- und Banff-Scores in den Transplantatgruppen zu den Zeitpunkten t₀ (= präoperativ (n = 59)); t₁ (= 6 Monate postoperativ (n=53)); t₂ (= 12 Monate postoperativ (n = 47))

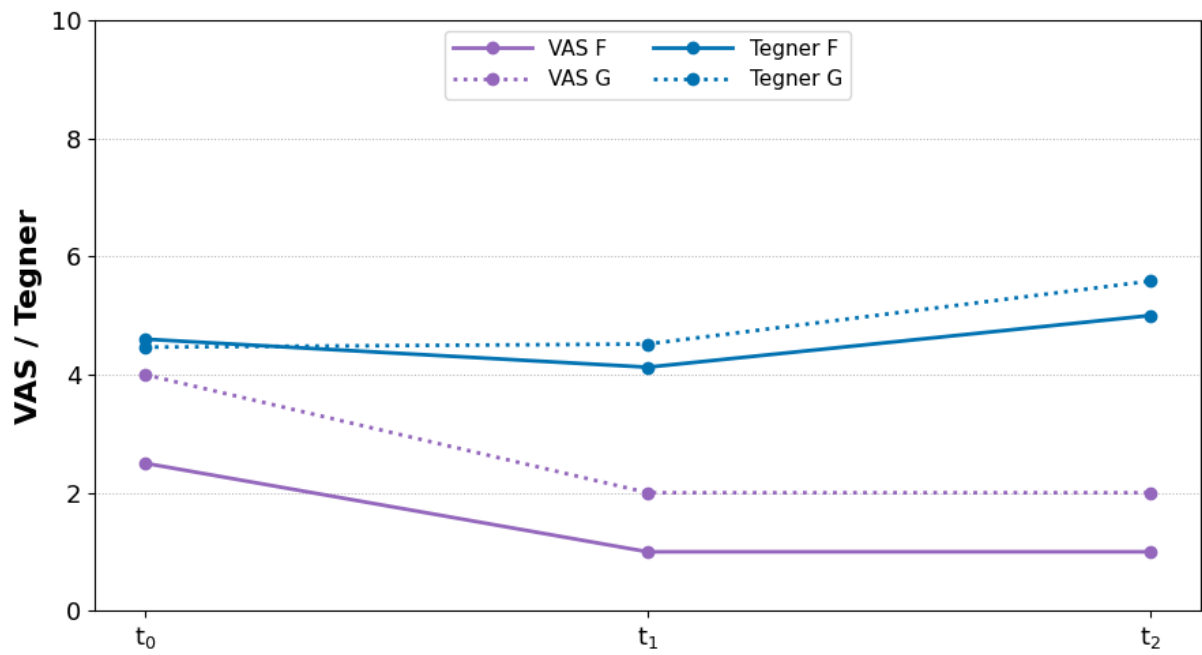


Abbildung 21: Darstellung der longitudinalen Entwicklung mittels Mittelwerte des Tegner-Scores sowie der VAS in den Transplantatgruppen zu den Zeitpunkten t_0 (= präoperativ (n = 59)); t_1 (= 6 Monate postoperativ (n=53)); t_2 (= 12 Monate postoperativ (n = 47))

Tabelle 4: VAS über die Zeitpunkte t₀ bis t₂ nach Flake-Status

Gesamt		Flake		Kein Flake	
t ₀	Median [IQR]	3 [5]		3 [4]	
	p	0,613			
t ₁	Median [IQR]	1 [2]		1,5 [2]	
	p	0,115			
t ₂	Median [IQR]	1 [2]		2 [2]	
	p	0,126			
t ₁ - t ₀	ΔMedian [IQR]	-2 [3]		-1 [4]	
	p	* < 0,001		* 0,015	
	Z-Wert	-3,401		-2,437	
Flake vs. Kein Flake	p	0,100			
t ₂ - t ₀	ΔMedian [IQR]	-2 [4]		-1,5 [6]	
	p	* 0,002		* 0,008	
	Z-Wert	-3,108		-2,646	
Flake vs. Kein Flake	p	0,348			
t ₂ - t ₁	ΔMedian [IQR]	0 [1,75]		0 [2]	
	p	0,650		0,587	
	Z-Wert	0,454		0,543	
Flake vs. Kein Flake	p	0,980			

Darstellung der absoluten Werte sowie der longitudinalen Veränderung der VAS in den Gruppen Flake vs. Kein Flake zu den Zeitpunkten t₀ (= präoperativ (n = 59)); t₁ (= 6 Monate postoperativ (n=53)); t₂ (= 12 Monate postoperativ (n = 47)) im Vergleich zu t₀ mittels Wilcoxon-Test sowie intergruppaler Vergleich der Ergebnisse mittels Mann-Whitney U Tests

Tabelle 5: Funktionelle Ergebnisse über die Zeitpunkte t₀ bis t₂ nach Flake-Status

		Kujala		Lysholm		Tegner		Banff	
		Flake	Kein Flake	Flake	Kein Flake	Flake	Kein Flake	Flake	Kein Flake
Gesamt									
t ₀	Mittelwert (± SD)	54,38 (± 28,85)	68,49 (± 17,38)	55,92 (± 25,71)	67,49 (± 18,37)	4,67 (± 2,01)	4,44 (± 1,88)	45,14 (± 25,80)	47,20 (± 19,80)
	p	* 0,039		* 0,048		0,668		0,753	
	95%-KI	[0,74 , 27,48]		[-0,09 , 23,05]		[-1,27 , 0,82]		[-11,03 , 15,15]	
t ₁	Mittelwert (± SD)	79,17 (± 12,46)	73,60 (± 17,89)	81,78 (± 12,33)	71,83 (± 17,45)	4,39 (± 1,16)	4,30 (± 1,39)	67,82 (± 14,98)	62,49 (± 19,95)
	p	0,208		* 0,024		0,800		0,292	
	95%-KI	[-14,35 , 3,21]		[-18,55 , -1,35]		[-0,81 , 0,63]		[-15,39 , 4,73]	

t ₂	Mittelwert (± SD)	85,50 (± 9,38)	78,76 (± 12,34)	85,75 (± 8,44)	80,19 (± 14,44)	5,55 (± 1,70)	4,49 (± 1,56)	76,75 (± 15,80)	65,21 (± 19,30)
	p	* 0,044		0,105		0,366		* 0,034	
	95%-KI	[-13,48 , -0,19]		[-12,86 , 1,73]		[-1,41 , 0,53]		[-22,17 , -0,90]	
t ₁ - t ₀	Δ Mittelwert (± SD)	26,48 (± 35,53)	3,61 (± 14,01)	26,57 (± 29,11)	3,14 (± 17,28)	1,46 (± 2,61)	-0,04 (± 1,38)	24,15 (± 25,40)	15,49 (± 18,76)
	95%-KI	[11,55 , 41,41]	[-1,85 , 9,07]	[14,01, 39,20]	[-3,56 , 9,84]	[-1,35 , 0,91]	[-0,58 , 0,51]	[12,59, 35,71]	[7,91, 23,06]
	p	*0,001	0,186	* <0,001	0,344	0,693	0,890	* <0,001	* <0,001
Flake vs. Kein Flake	p	* 0,006		* 0,002		0,768		* <0,001	
	95%-KI	[-38,59 , -7,15]		[-36,63 , -10,22]		[-0,98 , 1,34]		[-21,64 , 4,31]	
t ₂ - t ₀	Δ Mittelwert (± SD)	33,80 (± 31,66)	9,12 (± 20,40)	31,35 (± 31,01)	12,04 (± 23,38)	1,25 (± 2,38)	0,60 (± 2,02)	34,23 (± 28,80)	19,05 (± 17,00)
	95%-KI	[18,98 , 48,62]	[0,88 , 17,35]	[16,83 , 45,87]	[3,44 , 22,02]	[0,14 , 2,37]	[-0,23 , 1,43]	[19,91 , 48,56]	[11,10 , 27,00]
	p	* <0,001	* 0,031	* <0,001	* 0,009	* 0,030	0,151	* <0,001	* <0,001
Flake vs. Kein Flake	p	* 0,005		* 0,026		0,327		0,061	
	95%-KI	[-40,19 , 9,18]		[-35,46 , 3,16]		[-1,97 , 0,67]		[-30,55 , 0,19]	
t ₂ - t ₁	Δ Mittelwert (± SD)	6,40 (± 10,70)	1,17 (± 12,45)	4,15 (± 11,59)	4,57 (± 13,69)	1,20 (± 1,96)	0,52 (± 1,12)	7,13 (± 11,59)	-2,44 (± 17,19)
	95%-KI	[1,40 , 11,40]	[-4,21 , 6,56]	[-1,53 , 9,83]	[-1,35 , 10,48]	[0,28 , 2,12]	[0,04 , 1,01]	[1,70 , 12,56]	[-10,06, 5,18]
	p	* 0,015	0,656	0,142	0,124	* 0,013	* 0,036	* 0,013	0,513
Flake vs. Kein Flake	p	0,151		0,917		0,183		* 0,040	
	95%-KI	[-12,43 , 1,98]		[-7,60 , 8,43]		[-1,70 , 0,34]		[-18,81 , -0,33]	

Darstellung der absoluten Werte zu den Zeitpunkten t₀ (= präoperativ (n = 59); t₁ (= 6 Monate postoperativ (n=53); t₂ (= 12 Monate postoperativ (n = 47)) sowie der longitudinalen Veränderungen von Patient:innen mit vs. ohne (osteo-)chondrale Flakes innerhalb der jeweiligen Interventionsgruppen im Vergleich zu t₀ sowie Vergleich der Subgruppen zu den verschiedenen Zeitpunkten mittels unabhängiger t-Testung

4.3. Auswertung der klinisch-physikalischen Testungen

Die standardisierten Messungen der Bewegungsumfänge (ROM) sowie der Muskelumfänge der Quadricepsmuskulatur (10 cm und 15 cm Abstand zum Gelenkspalt ipsi- und kontralateral) zeigten postoperativ in beiden Gruppen gering ausgeprägte Defizite am operierten Bein (Mediane von 0-1cm, Tab. 6), jedoch ohne signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (alle $p > 0,181$; Tab. 6). Die Mittelwerte der ROM, die sich auf alle untersuchten Patient:innen beziehen, lagen in beiden Gruppen im Bereich von 136-143° (Tab. 6) und zeigten im zeitlichen Verlauf eine Angleichung zwischen operierter und kontralateraler Seite. Bezüglich des Bewegungsumfanges (ROM) zeigten sich ausschließlich leichte Flexionsdefizite ipsilateral. Bei den betroffenen Patient:innen betrug der durchschnittliche Flexionsverlust 10,9° nach 6 Monaten und 7,7° nach 12 Monaten. Diese Defizite betrafen 8 (F) bzw. 9 (G) Patient:innen zum Zeitpunkt t_1 sowie 7 (F) und 5 (G) Patient:innen zum Zeitpunkt t_2 . Ein zur Prüfung der Verlässlichkeit der Ergebnisse ergänzend durchgeführter Related-Samples Sign-Test, der die methodische Richtung, nicht jedoch die Größe der Unterschiede berücksichtigt, bestätigte die Hauptergebnisse mit identischer Tendenz und ohne abweichende Signifikanzbewertungen.

Tabelle 6

Score		Mittelwert (± SD) ipsilateral	Mittelwert (± SD) kontralateral	Median des Defizits [± IQR]	Range des Defizits	p	Effekt größe (r)
ROM t ₁	F	137,00 (± 7,68)	141,25 (± 5,82)	0 [± 5]	0 - 30	0,714	0,05
	G	136,60 (± 11,79)	142,20 (± 5,02)	0 [± 6]	0 - 40		
ROM t ₂	F	140,25 (± 6,17)	142,75 (± 5,95)	0 [± 5]	0 - 10	0,792	0,04
	G	140,48 (± 6,31)	142,62 (± 5,39)	0 [± 15]	0 - 15		
Umfang 10cm t ₁	F	43,29 (± 5,54)	44,17 (± 5,55)	1 [± 1,8]	0 - 3	0,890	0,02
	G	42,72 (± 4,45)	43,54 (± 4,47)	1 [± 1,0]	0 - 3		
Umfang 15cm t ₁	F	49,38 (± 7,60)	49,93 (± 7,87)	0,5 [± 1,5]	0 - 3	0,181	0,2
	G	47,48 (± 4,94)	48,78 (± 4,77)	1 [± 2,0]	0 - 3		
Umfang 10cm t ₂	F	43,62 (± 5,73)	44,33 (± 5,59)	0 [± 1,5]	0 - 3	0,405	0,13
	G	42,35 (± 4,16)	43,23 (± 3,97)	1 [± 1,5]	0 - 3		
Umfang 15cm t ₂	F	49,36 (± 7,62)	50,10 (± 7,58)	1 [± 1,0]	0 - 3	0,957	0,01
	G	47,80 (± 4,31)	48,70 (± 4,19)	1 [± 2,0]	0 - 2		

Postoperative intergrupale Auswertung der körperlichen Untersuchung zu den Zeitpunkten
6 und 12 Monate nach Operation
ROM: Bewegungsamplitude in Grad
Umfang: Umfänge in cm bei je 10 und 15 cm über dem Gelenkspalt

Tabelle 7

Score		Δ Median [IQR]	Range	p
Defizit ROM $t_2 - t_1$	F	0 [5]	-5 - 5	0,157
	G	0 [7,5]	-10 - 5	0,417
Defizit U 10cm $t_2 - t_1$	F	0 [1]	-2 - 2	0,226
	G	0 [1,25]	-2 - 2	0,951
Defizit U 15cm $t_2 - t_1$	F	0,5 [1,25]	-2 - 1	0,821
	G	0 [1,5]	-3 - 2	0,321

Postoperative longitudinale Vergleichsanalyse innerhalb der einzelnen Gruppen zu den Zeitpunkten 12 vs. 6 Monate postoperativ

Defizit ROM: Flexionsdefizit der ROM ipsilateral vs. kontralateral in Grad

Defizit U: Defizit der Umfänge in cm bei je 10 und 15 cm über dem Gelenkspalt ipsilateral zu kontralateral) zu den Zeitpunkten 6 und 12 Monate nach Operation

4.4. Postoperative Ereignisse

4.4.1. Relaxationen

In beiden Transplantatgruppen ereignete sich während der postoperativen Nachuntersuchungsperiode je eine Relaxation und betraf somit 3,3% (G) und 3,2% (F) der Patient:innen. In Gruppe G ereignete sie sich nach 6 Monaten, in Gruppe F nach 12 Monaten. Beim Vergleich der Relaxationen zwischen den beiden Gruppen mittels Fisher's Exact Test zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied ($p = 1,0$).

4.4.2. Revisionen

Die Revisionsrate bis zur 12 Monats-Nachuntersuchung war mit einer Revisionsoperation pro Gruppe ausgeglichen, mit 3,3% in der Gruppe G und 3,2% in Gruppe F. In Gruppe G handelte es sich um ein partielles Release der MPFL-Plastik bei Hyperkompressionssyndrom, in Gruppe F erfolgte ein Debridement bei oberflächlicher Wundinfektion. Es bestanden keine signifikanten Unterschiede ($p = 1,0$).

4.5. Statistische Auswertung der eingesetzten diagnostischen Scores

Die Analyse der Korrelationskoeffizienten (Tab. 8) zeigt, dass der postoperative BP II 2.0 zu beiden Messzeitpunkten und in beiden Transplantatgruppen durchgängig die stärksten positiven Korrelationen mit den präoperativ erhobenen Werten aufwies. Auch die postoperativen Ergebnisse der VAS und der Tegner-Score korrelierten positiv, wenn auch schwächer mit dem präoperativen Status. Für den Kujala- und den Lysholm-Score konnten dagegen keine konsistenten Zusammenhänge zwischen den Messzeitpunkten festgestellt werden (Tab. 8).

Tabelle 8

		F		G	
		N (=Anzahl Patient:innen)	Korrelationskoeffizient	N (=Anzahl Patient:innen)	Korrelationskoeffizient
Banff	t ₁ - t ₀	23	0,418	24	0,47
	t ₂ - t ₀	19	0,367	19	0,337
VAS	t ₁ - t ₀	24	0,107	27	0,213
	t ₂ - t ₀	23	0,104	23	0,103
Tegner	t ₁ - t ₀	24	-0,011	26	0,413
	t ₂ - t ₀	23	0,18	22	0,452
Kujala	t ₁ - t ₀	24	0,14	27	-0,049
	t ₂ - t ₀	23	-0,177	23	-0,206
Lysholm	t ₁ - t ₀	24	0,248	27	-0,032
	t ₂ - t ₀	23	-0,111	23	-0,216

Darstellung der Korrelation der prä- und postoperativ mittels funktioneller Scores erhobenen Ergebnisse

5. Diskussion

Die wichtigste Erkenntnis dieser Arbeit war, dass die MPFL-Plastik mittels artifizierter Transplantate zur Behandlung der Patellainstabilität zu guten bis exzellenten klinischen Ergebnissen führt. Im kurzfristigen Nachuntersuchungszeitraum von bis zu zwölf Monaten postoperativ zeigten sich keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Funktionalität, Schmerzen, Revisionen oder Reluxationen im Vergleich mit der autologen Gracilissehne, bei einem präoperativ homogenen Patient:innenkollektiv. Beide Gruppen zeigten signifikante Verbesserungen nach sechs und zwölf Monaten, im Vergleich zum präoperativen Ausgangsstatus, wobei die funktionellen Scores insgesamt auf einem vergleichbaren Niveau lagen und die Schmerzintensität auf der VAS-Skala gering ausgeprägt war. Auch in den klinischen Untersuchungen zu muskulären Umfängen und der Bewegungsamplitude zeigten sich keine signifikanten Gruppenunterschiede. Bei der Interpretation der Ergebnisse spiegelt der durchschnittlich niedrige Median wider, dass bei der Mehrheit der Patient:innen kein bzw. ein nur sehr geringes Funktionsdefizit vorlag. Entsprechende indirekte Hinweise auf eine reduzierte Morbidität bei Nutzung des FT im Vergleich zur Sehnenentnahme konnten somit nicht bestätigt werden. Insgesamt deuten die Ergebnisse auf ein stabiles funktionelles „Outcome“ ein Jahr nach dem Eingriff hin, wobei sich beide Verfahren hinsichtlich der funktionellen Ergebnisse als vergleichbar darstellen und keine vermehrte Entnahmemorbidität bei Nutzung der Gracilissehne beobachtet wurde. Auch in der Literatur ist die Verwendung artifizierter Materialien als Transplantate im Rahmen der MPFL-Plastik eine bekannte und als effektive Option beschriebene Maßnahme, deren Einsatz bereits im Rahmen einiger Studien untersucht wurde. Dabei handelte es sich meist um Fallserien und retrospektive sowie prospektive Fall-Kontroll-Studien. So konnten Gomes et al. bereits 1992 zeigen, dass die MPFL-R mittels artifiziellem Polyester-Material in einem Kollektiv von 30 Patient:innen mit Patellainstabilität nach 24 Monaten eine Verbesserung der Symptome erbrachte. Konträr zu der vorliegenden Studie fand hingegen kein direkter Vergleich zu einer weiteren Kohorte mit einem autologen Material statt. Die Autoren stellten zudem fest, dass Patient:innen mit schweren präoperativen (osteo-)chondralen Defekten nach MPFL-R ein deutlich schlechteres Outcome aufwiesen, als jene ohne. Diese Beobachtung konnte in der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt werden. Denn im Gegenteil dazu zeigten Patient:innen dieser Studie mit genannten Flake-Frakturen präoperativ schlechtere Werte und postoperativ

signifikante funktionelle Verbesserungen, welche sich teilweise auch als signifikant besser als die Ergebnisse der Patient:innen ohne solche Begleitverletzungen zeigten. Dies lässt vermuten, dass gerade Patient:innen mit größerem Begleitschaden vermehrt von einer operativen Intervention profitieren. Ob dieser Profit auf die MPFL-R oder die begleitenden Maßnahmen zurückzuführen ist, lässt sich aus den Daten nicht ableiten. Auch in der Subgruppenanalyse gab es keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich des verwendeten Transplantats. Weiterhin traten in der Studie von Gomes et al. (1992) bei 14,29% der Patient:innen Komplikationen im Sinne einer Patellafraktur auf. Diese Komplikationsrate ist vergleichbar zu weiteren Arbeiten. So zeigten Deo et al. (2023) bei der retrospektiven Untersuchung eines synthetischen Materials (Xiros, UK), welches im Rahmen von MPFL-Rekonstruktionen genutzt wurde, dass dieses eine sinnvolle Option darstellt, aber mit Komplikationen wie postoperativen Schmerzen, persistierender Instabilität und Infektionen in insgesamt 10,6% der Fälle einhergeht. Lee et al. (2018) hingegen berichten von Infektionen und Hypertrophie des Narbengewebes in insgesamt 0,9% der Fälle. Dies entspricht den anderen, in der Literatur beschriebenen Komplikationsraten welche generell zwischen 0 und 32% variieren (Jackson et al. 2023, Shah et al. 2012). Deo et al. beobachteten nach MPFLR mittels artifiziellem Material nach 4,8 Jahren signifikante funktionelle Verbesserungen mittels Kujala Score. Im Vergleich zur vorliegenden Arbeit verfügten die Autoren zwar bis dato über ein längeres Follow-up (4,84 Jahre) sowie über eine größere Stichprobe (n = 85), jedoch fehlte eine Kontrollgruppe. Bei ähnlich langer Follow-up Dauer von 5,9 Jahren jedoch vergleichsweise geringer Komplikationsrate von 0,7% konnten auch Nomura et al. (2000a) in einem prospektiven Studiendesign gute funktionellen Ergebnisse und eine hohe Patient:innenzufriedenheit erzielen. Die Autoren berichten von der MPFL-R mittels artifiziellem Material (tape-type Leeds-Keio ligament aus Polyester, Neoligaments Ltd) bei 27 Patient:innen. Trotz der Bestätigung der Sicherheit und Effektivität in dieser Studie, fehlte auch in dieser Studie eine Kontrollgruppe, und damit die Möglichkeit zum direkten Vergleich, während in der vorliegenden Arbeit zwei etablierte Transplantate direkt miteinander verglichen wurden. Dies erlaubt eine differenziertere Beurteilung der klinischen Wirksamkeit. Darüber hinaus war die Patient:innenanzahl vergleichsweise gering und das Kollektiv mit 79,2% weiblichen Studienteilnehmerinnen inhomogen. In der vorliegenden Studie entsteht neben einem ausgewogenen Geschlechterverhältnis auch durch den Einschluss von Patient:innen mit (osteo-)chondralen Flakefrakturen und entsprechenden

Begleitprozeduren ein repräsentatives Patientenkollektiv, welches der hohen Inzidenz sog. Flake-Frakturen bei Patient:innen mit erstmaliger Patellaluxation gerecht wird. Auch eine jüngere prospektive Fallserie (Sasaki et al. 2022), die 43 Patient:innen im Rahmen einer prospektiven Studie über maximal zwei Jahre nachuntersuchte und gute funktionelle Ergebnisse ohne Reluxationen beobachtete, bestätigt die Erkenntnisse dieser Arbeit, wobei wir Reluxationen und Revisionen in ca. 3% je Gruppe beobachteten, unabhängig vom verwendeten Transplantat. Tsushima et al. (2019) verglichen die biomechanischen Eigenschaften von FiberTape® mit dem autologen Semitendinosussehnen im Rahmen einer biomechanischen Kadaverstudie und beobachteten eine höhere Steifigkeit sowie einer größeren Versagenslast des FiberTapes® im Vergleich zur autologen Sehne. Allerdings wurden hier auch verschiedene patellare Ankerfixationssysteme verwendet, was die direkte Vergleichbarkeit hinsichtlich der Transplantate limitiert. Dennoch lässt sich daraus zumindest eine biomechanische Eignung des FT zur Verwendung bei der MPFL-R ableiten. Allerdings existiert bisher wenig Evidenz aus klinischen Studien mit Kontrollgruppen oder einem prospektiven Studiendesign, die eine direkte Vergleichbarkeit des artifiziellen Materials mit einem autologen Sehnentransplantat zulässt. Die Erkenntnisse dieser Arbeit werden auch durch eine prospektive aber nicht-randomisierten Vergleichsstudie (Lee et al. 2018) bestätigt. So konnte dort gezeigt werden, dass sich zwischen einem artifiziellen Transplantat (Arthrex, FL, USA) und einem Autograft 12, 24 und 48 Monate nach MPFL-R keine signifikanten Unterschiede der funktionellen Ergebnisse zeigten. Die gestaffelte Nachuntersuchung zu mehreren Zeitpunkten erlaubte auch in der vorliegenden Studie eine differenzierte Verlaufskontrolle der klinischen Ergebnisse. So konnten sechs Monate postoperativ insbesondere frühe Heilungsverläufe und Schmerzreduktion detektiert werden, während die Untersuchung nach 12 Monaten aufgrund der bereits stabileren Belastbarkeit Einblicke in die wiederhergestellte Funktionalität und Patient:innenzufriedenheit gab. Um die Vergleichbarkeit mit der bisherigen Literatur zu optimieren, sind die Ergebnisse der Nachuntersuchungen nach 24 bzw. 60 Monaten Follow-up postoperativ abzuwarten. Im Gegensatz zur vorliegenden Arbeit erfolgte in der Studie von Lee et al. keine Randomisierung beim Patient:inneneinschluss, was die Datenqualität etwas limitiert. Zusammenfassend lässt sich in der aktuellen Literatur ein Konsens hinsichtlich der Wirksamkeit und Eignung artifizieller Materialien zur MPFL-R erkennen. Auf diesen Erkenntnissen aufbauend ist die dieser Arbeit zugrundeliegende Studie die erste randomisierte,

prospektive Studie, welche ein autologes sowie artifizielles Material miteinander vergleicht und differenziert darstellt. Zudem ist das Patient:innenkollektiv der vorliegenden Arbeit nach Ausschluss sämtlicher anatomischer Risikofaktoren vergleichsweise homogen und nachvollziehbar, sodass die klinische Ergebnisse direkt auf die verwendeten Transplantate zurückgeführt werden können. Somit kann aktuell davon ausgegangen werden, dass artifizielle Transplantate der autologen Sehne nicht unterlegen sind und somit die Nullhypothese H_0 angenommen werden kann.

5.1. FiberTape statt autologe Sehne: Klinische Relevanz und ökonomische Aspekte

Die Anwendung eines autologen Materials birgt aufgrund der Entnahme eine einhergehende Morbidität, die sich in diversen Komplikationen wie Hämatomen, Kraftverlust und verstärkten Schmerzen äußern kann (Shah et al. 2012). Die Nutzung eines artifiziiellen Transplantats hingegen bietet den Vorteil einer verkürzten Operationsdauer und vermeidet die mit der Entnahme eines autologen Transplantats einhergehende Morbidität (Lee et al. 2018). Weiterhin zeigten Migliorini et al. (2023) im Vergleich von Allograft zu Autograft, dass aufgrund der fehlenden Entnahmemorbidität die Rehabilitation möglicherweise verkürzt sein und eine schnellere Wiederherstellung der Muskelkraft des ipsilateralen Beins erzielt werden kann (Migliorini et al. 2023). Zudem kann die Implantation artifiziieller Transplantate mit einem geringeren Flurschaden verbunden sein (Lubowitz et al. 2024). Biomechanisch besitzt das FiberTape eine deutlich geringere Dehnbarkeit als autologe Hamstring Sehnen (Lee et al. 2018). Obwohl diese Eigenschaft im Sinne einer höheren Stabilität interpretiert werden kann, geht sie auch mit einer größeren Gefahr der Hyperkompression einher (Sasaki et al. 2022). Weitere Vorteile, wie die verkürzte Operationsdauer und die möglicherweise verminderte Morbidität, könnten mit einem gesundheitsökonomischen Vorteil des artifiziiellen Materials einhergehen (Deo et al. 2023, Hendawi et al. 2019, Henstenburg et al. 2024). Beispielhaft zeigt allein das in dieser Studie genutzte FiberTape mit Materialkosten von 98 € (Listenpreis) zwar einen finanziellen Mehraufwand, jedoch belaufen sich die Kosten für eine Minute Operationszeit in unserer ambulanten Institution auf etwa 14 € (Dr. R. Thuneke, persönliche Kommunikation, 15.07.2025). Diese Aspekte unterstreichen demnach auch die hohe klinische Relevanz der Nullhypothese, dass das FiberTape

als künstliches Material dem Autograft auch über klinische Aspekte hinaus nicht unterlegen ist. Denn dass die Nullhypothese angenommen werden konnte, bildet die Grundlage für eine daraus ableitbare Therapieempfehlung zur Optimierung der zukünftigen Patientenversorgung. So wird beispielsweise in der aktuellen S2e-Leitlinie (Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V.) die Nutzung von synthetischem Material bei MPFL-Plastik lediglich erwähnt. Die Erkenntnisse der vorliegenden MPFL-Studie unterstützen die Anwendung artifizieller Transplantate. Um eine abschließende, statistisch fundierte Beurteilung zu erreichen, bleiben die Ergebnisse der 24- und 48 monatigen Nachuntersuchungen abzuwarten.

5.2. Vergleich der diagnostischen Aussagekraft der Scores

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen tendenzielle, jedoch noch nicht als signifikant belegte Differenzen der Korrelationskoeffizienten der einzelnen Fragebögen. So wiesen der Banff- und Tegner-Score sowie die VAS durchgängig die höchsten positiven Korrelationen zwischen den prä- und postoperativen Angaben auf und könnten somit die klinische Entwicklung der Patient:innen differenzierter und verlässlicher abbilden. Für den Kujala- und den Lysholm-Score konnten dagegen keine konsistenten Zusammenhänge festgestellt werden; hier traten teilweise auch negative Korrelationen auf, was auf eine eingeschränkte Eignung zur Verlaufserfassung hindeutet. Im Vergleich zum BP II 2.0 verwenden der Kujala- und der Lysholm-Score eine gröbere Abstufung (in Fünferschritten) sowie eine geringere Anzahl an Fragen, wodurch differenzierte Symptome im Gesamtwert unter Umständen weniger exakt abgebildet werden. Jedoch zeigte sich der BP II 2.0 in der Literatur inkohärent zu weiteren Outcome-Parametern. Frings et al. (2025) postulierten eine mit 100 Punkten unrealistischen Normgröße des Scores, wobei ein realistischer Wert deutlich unter diesem Wert liegen könnte. Neben dem weiblichen Geschlecht und der Präsenz von Komorbiditäten beeinflussen auch das Patient:innenalter sowie die präoperativ erhobenen Werte die Erreichbarkeit der minimalen klinisch relevanten Veränderung (MIC) (Frings et al. 2025, Zimmermann et al. 2025).

5.3. Limitationen

Die vorliegende Arbeit weist einige Limitationen auf. Zunächst handelt es sich um ein kurzfristiges Follow-up. Weiterhin ist die volle statistische Power der Studie bislang

nicht erreicht, was die Interpretation der Ergebnisse eingeschränkt. Da es sich um eine Auswertung von Zwischenergebnissen handelt, um erste klinische Entwicklungen und Trends frühzeitig darzustellen, war das Erreichen der vollen Fallzahl zum Zeitpunkt dieser Auswertung nicht entscheidend. Beeinflusst wurde die Anzahl unter anderem auch durch eine Lost-to-Follow-up Rate von 9,2%. Der Hauptgrund waren hier Adressänderungen bzw. Nichterreichbarkeit der betreffenden Patient:innen. Die Einbeziehung von Fällen mit begleitender osteochondraler Verletzung schränkt die Homogenität des Kollektivs ein. Osteochondrale Verletzungen sind jedoch mit einer hohen Inzidenz mit der erstmaligen Patellaluxation vergesellschaftet und sind Teil des Krankheitsbildes. Das untersuchte Kollektiv kann somit als repräsentative Stichprobe gesehen werden.

5.4. Fazit

Artifizielle Transplantate stellen eine effektive und sichere Alternative für die MPFL-Plastik zur Behandlung der isolierten Patellainstabilität dar und sind der autologen Sehnenbandplastik hinsichtlich funktioneller Ergebnisse, Schmerzreduktion, Revisionsrate und Komplikationen nicht unterlegen. Beide Gruppen profitierten deutlich von einer signifikanten Verbesserung gegenüber dem präoperativen Ausgangsniveau. Entsprechend ist die Verwendung artifizieller Transplantate geeignet um etablierte Standards zu ergänzen oder in ausgewählten Fällen zu ersetzen. Damit liefert die Arbeit eine klinisch relevante und wichtige Grundlage für die evidenzbasierte Weiterentwicklung klinischer Leitlinien und für individualisierte Therapieempfehlungen bei der MPFL-Plastik.

6. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit analysierte die klinischen Ergebnisse einer prospektiven, randomisierten Studie, in der die Rekonstruktion des medialen patellofemoralen Ligaments (MPFL) unter Verwendung eines synthetischen FiberTapes mit der etablierten Technik unter Einsatz autologer Sehnen verglichen wurde. Der Fokus lag auf funktionellen Ergebnissen, Komplikationen, Reluxations- und Revisionsraten sowie auf der potenziellen Reduktion von Entnahmemorbiditäten. Es konnte gezeigt werden, dass beide Verfahren nach 6 bis 12 Monaten postoperativ zu vergleichbaren funktionellen Resultaten führten. Auch bezüglich der Schmerzen, Reluxations- und Revisionsraten zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Damit wurde die Nullhypothese der Gleichwertigkeit bestätigt. Bei potenziell geringerer perioperativer Morbidität und kürzeren Operationszeit der Rekonstruktion mittels synthetischen FiberTapes gegenüber der autologen Technik kann bei sonstiger Gleichwertigkeit und darüber hinaus vorliegender gesundheitsökonomischer Vorteile des FiberTapes grundlegend eine Favorisierung des Letzteren suggeriert werden. Auch wenn es sicher sinnvoll ist, die endgültigen Ergebnisse vorauszusetzen, um eine universelle Therapie-Empfehlung abzuleiten, liefern die hier präsentierten Zwischenergebnisse jedoch einen wichtigen Beitrag zur aktuellen Diskussion über die Verwendung synthetischer Implantate in der MPFL-Chirurgie und bilden die Grundlage für zukünftige Therapieableitungen und eine damit optimierte Patient:innenversorgung.

This prospective, randomized study compared medial patellofemoral ligament (MPFL) reconstruction using a synthetic FiberTape with the established autologous tendon technique. Outcomes assessed included functional results, complications, redislocation and revision rates, and potential reduction in donor site morbidity. Both techniques achieved comparable functional outcomes at 6 to 12 months postoperatively, with no significant differences in pain, redislocation, or revision rates, thereby confirming the null hypothesis of equivalence. Given the potentially lower perioperative morbidity, shorter operative time, and additional health-economic benefits associated with FiberTape, a preference for this method may be warranted. While definitive conclusions should await final results, these interim findings provide an important contribution to the ongoing discussion on synthetic implants in MPFL surgery and form a basis for future therapeutic strategies and optimized patient care.

7. Literaturverzeichnis

1. Ahmad CS, Brown GD, Shubin Stein BE. The docking technique for medial patellofemoral ligament reconstruction: surgical technique and clinical outcome. *Am J Sports Med.* 2009 Oct;37(10):2021-7. doi: 10.1177/0363546509336261. Epub 2009 Jun 22. PMID: 19546481.
2. Arendt EA, Askenberger M, Agel J, Tompkins MA. Risk of Redislocation After Primary Patellar Dislocation: A Clinical Prediction Model Based on Magnetic Resonance Imaging Variables. *Am J Sports Med.* 2018 Dec;46(14):3385-3390. doi: 10.1177/0363546518803936. Epub 2018 Nov 6. PMID: 30398902.
3. Atkin DM, Fithian DC, Marangi KS, Stone ML, Dobson BE, Mendelsohn C. Characteristics of patients with primary acute lateral patellar dislocation and their recovery within the first 6 months of injury. *Am J Sports Med.* 2000 Jul-Aug;28(4):472-9. doi: 10.1177/03635465000280040601. PMID: 10921637.
4. ATTAL, R., DIRISAMER, F. & PAGENSTERT, G. 2015. Klinische Untersuchung des Patellofemoralgelenks. *Untersuchungstechniken / Diagnostik des Patellofemoralgelenkes*, AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral, 22 - 38.
5. Balcarek P, Oberthür S, Hopfensitz S, Frosch S, Walde TA, Wachowski MM, Schüttrumpf JP, Stürmer KM. Which patellae are likely to redislocate? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014 Oct;22(10):2308-14. doi: 10.1007/s00167-013-2650-5. Epub 2013 Sep 5. PMID: 24005331.
6. Bitar AC, Demange MK, D'Elia CO, Camanho GL. Traumatic patellar dislocation: nonoperative treatment compared with MPFL reconstruction using patellar tendon. *Am J Sports Med.* 2012 Jan;40(1):114-22. doi: 10.1177/0363546511423742. Epub 2011 Oct 19. PMID: 22016458.
7. Braaten JA, Banovetz MT, Rodriguez AN, Thomas P, LaPrade RF. From Anatomy to Complex Reconstruction: A Modern Review on the Medial Collateral Ligament of the Knee. *Arch Bone Jt Surg.* 2022 Oct;10(10):818-826. doi: 10.22038/ABJS.2022.66697.3179. PMID: 36452420; PMCID: PMC9702019.
8. Calvo Rodríguez R, Figueroa Poblete D, Anastasiadis Le Roy Z, Etchegaray Bascur F, Vaisman Burucker A, Calvo Mena R. Reconstruction of the medial patellofemoral ligament: Evaluation of the clinical results of autografts versus allografts. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol.* 2015 Sep-Oct;59(5):348-53. English, Spanish. doi: 10.1016/j.recot.2014.10.006. Epub 2014 Dec 4. PMID: 25481698.
9. Cash JD, Hughston JC. Treatment of acute patellar dislocation. *Am J Sports Med.* 1988 May-Jun;16(3):244-9. doi: 10.1177/036354658801600308. PMID: 3381981.
10. Christensen TC, Sanders TL, Pareek A, Mohan R, Dahm DL, Krych AJ. Risk Factors and Time to Recurrent Ipsilateral and Contralateral Patellar Dislocations. *Am J Sports Med.* 2017 Jul;45(9):2105-2110. doi: 10.1177/0363546517704178. Epub 2017 May 2. PMID: 28463535.

11. Chouteau J. Surgical reconstruction of the medial patellofemoral ligament. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2016 Feb;102(1 Suppl):S189-94. doi: 10.1016/j.otsr.2015.06.030. Epub 2016 Jan 18. PMID: 26797001.
12. Cohen D, Le N, Zakharia A, Blackman B, de Sa D. MPFL reconstruction results in lower redislocation rates and higher functional outcomes than rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2022 Nov;30(11):3784-3795. doi: 10.1007/s00167-022-07003-5. Epub 2022 May 26. PMID: 35616703.
13. Dall'Oca C, Elena N, Lunardelli E, Ulgelmo M, Magnan B. MPFL reconstruction: indications and results. *Acta Biomed.* 2020 May 30;91(4-S):128-135. doi: 10.23750/abm.v91i4-S.9669. PMID: 32555079; PMCID: PMC7944812.
14. Dejour H, Walch G, Nove-Josserand L, Guier C. Factors of patellar instability: an anatomic radiographic study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1994;2(1):19-26. doi: 10.1007/BF01552649. PMID: 7584171.
15. Dejour D, Le Coultre B. Osteotomies in patello-femoral instabilities. *Sports Med Arthrosc Rev.* 2007 Mar;15(1):39-46. doi: 10.1097/JSA.0b013e31803035ae. PMID: 17301701.
16. Deo H, Mohamed R, Ahmed G. Medium-term outcome of medial patellofemoral ligament reconstruction using synthetic graft. *Knee.* 2023 Oct;44:220-226. doi: 10.1016/j.knee.2023.08.004. Epub 2023 Sep 5. PMID: 37672914.
17. Desio SM, Burks RT, Bachus KN. Soft tissue restraints to lateral patellar translation in the human knee. *Am J Sports Med.* 1998 Jan-Feb;26(1):59-65. doi: 10.1177/03635465980260012701. PMID: 9474403.
18. Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. (DGU), Leitlinie Patellaluxation Version 25.01.2021, gültig bis 24.10.2026, AWMF-Nr. 012-024
19. Duthon VB. Acute traumatic patellar dislocation. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2015 Feb;101(1 Suppl):S59-67. doi: 10.1016/j.otsr.2014.12.001. Epub 2015 Jan 12. PMID: 25592052.
20. Feller JA, Amis AA, Andrich JT, Arendt EA, Erasmus PJ, Powers CM. Surgical biomechanics of the patellofemoral joint. *Arthroscopy.* 2007 May;23(5):542-53. doi: 10.1016/j.arthro.2007.03.006. PMID: 17478287.
21. Fink C, Steensen R, Gföller P, Lawton R. Quadriceps Tendon Autograft Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2018 Jun;11(2):209-220. doi: 10.1007/s12178-018-9476-1. PMID: 29679209; PMCID: PMC5970111.
22. Frings, J., Akoto, R., Müller, G. et al. Plastik des medialen patellofemoraleen Ligaments. *Trauma Berufskrankh* 19 (Suppl 3), 297–303 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10039-017-0318-y>
23. Frings J, Krause M, Wohlmuth P, Akoto R, Frosch KH. Influence of patient-related factors on clinical outcome of tibial tubercle transfer combined with medial

- patellofemoral ligament reconstruction. *Knee*. 2018a Dec;25(6):1157-1164. doi: 10.1016/j.knee.2018.07.018. Epub 2018a Aug 14. PMID: 30115592.
24. Frings J, Krause M, Akoto R, Wohlmuth P, Frosch KH. Combined distal femoral osteotomy (DFO) in genu valgum leads to reliable patellar stabilization and an improvement in knee function. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2018b Dec;26(12):3572-3581. doi: 10.1007/s00167-018-5000-9. Epub 2018b Jun 4. PMID: 29869201.
 25. Frings J, Krause M, Akoto R, Frosch KH. Clinical Results after Combined Distal Femoral Osteotomy in Patients with Patellar Maltracking and Recurrent Dislocations. *J Knee Surg*. 2019 Sep;32(9):924-933. doi: 10.1055/s-0038-1672125. Epub 2018 Oct 3. PMID: 30282099
 26. Frings J, Balcarek P, Tscholl P, Liebensteiner M, Dirisamer F, Koenen P. Conservative Versus Surgical Treatment for Primary Patellar Dislocation. *Dtsch Arztebl Int*. 2020a Apr 17;117(16):279-286. doi: 10.3238/arztebl.2020.0279. PMID: 32519945; PMCID: PMC7370958.
 27. Frings J, Dust T, Krause M, Ohlmeier M, Frosch KH, Adam G, Warncke M, Maas KJ, Henes FO. Objective assessment of patellar maltracking with 3 T dynamic magnetic resonance imaging: feasibility of a robust and reliable measuring technique. *Sci Rep*. 2020b Oct 8;10(1):16770. doi: 10.1038/s41598-020-72332-9. PMID: 33033292; PMCID: PMC7546634.
 28. Frings J, Seitlinger G. Biomechanik und Untersuchung des patellofemorale Gelenks. *Arthroskopie*. 2020 Jun; 33:404–411. <https://doi.org/10.1007/s00142-020-00388-w>
 29. Frings, J., Krause, M. & Frosch, KH. Tuberositasosteotomie zur Behandlung des lateralen Patellamaltrackings oder Patella alta mit begleitender Instabilität. *Knie J*. 4, 94–99 (2022a).
 30. Frings J, Dust T, Krause M, Frosch KH, Adam G, Warncke M, Welsch G, Henes FO, Maas KJ. Dynamic Mediolateral Patellar Translation Is a Sex- and Size-Independent Parameter of Adult Proximal Patellar Tracking Using Dynamic 3 Tesla Magnetic Resonance Imaging. *Arthroscopy*. 2022c May;38(5):1571-1580. doi: 10.1016/j.arthro.2021.10.014. Epub 2021 Oct 29. PMID: 34715275.
 31. Frings J, Dust T, Meyer J, Krause M, Frosch KH, Adam G, Henes FO, Spink C, Maas KJ. The Influence of Surgical Realignment Procedures on Dynamic Patellar Tracking: A Dynamic Magnetic Resonance Imaging-Controlled Feasibility Study. *Diagnostics (Basel)*. 2022b Nov 11;12(11):2761. doi: 10.3390/diagnostics12112761. PMID: 36428821; PMCID: PMC9689423.
 32. Frings, J., Zimmermann, F., Hinz, M. et al. Bildgebung des Patellofemorale Gelenks. *Arthroskopie* 36, 402–414 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00142-023-00639-6>
 33. Frings, J., Janssen, E., Krause, M., Frosch, K.-H., Vettorazzi, E., Weiler, A. et al. (2025) Thin flap sulcus-deepening trochleoplasty in patellar instability yields good functional outcomes without progressive cartilage deterioration in the short-term

- follow-up—a retrospective single-surgeon cohort study. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 33, 3156–3168.
34. Flaherty A, Escalera C, Haeberle H, Fealy S, Lee SK. Injury to the Main Branch of the Saphenous Nerve following Hamstring Tendon Graft Harvesting: A Report of 3 Cases. *HSS J*. 2025 Feb;21(1):107-112. doi: 10.1177/15563316241230285. Epub 2024 Mar 3. PMID: 39564412; PMCID: PMC11572331.
 35. Frosch KH, Nägerl H, Kubein-Meesenburg D, Buchholz J, Dörner J, Dathe H, Hellerer O, Dumont C, Stürmer KM. Eine neuartige Kniegelenksendoprothese mit physiologischer Gelenkform. Teil 2: Erste klinische Ergebnisse [A new total knee arthroplasty with physiologically shaped surfaces. Part 2: First clinical results]. *Unfallchirurg*. 2009 Feb;112(2):176-84. German. doi: 10.1007/s00113-008-1551-4. PMID: 19212737.
 36. Frosch S, Balcarek P, Walde TA, Schüttrumpf JP, Wachowski MM, Ferleman KG, Stürmer KM, Frosch KH. Die Therapie der Patellaluxation: eine systematische Literaturanalyse [The treatment of patellar dislocation: a systematic review]. *Z Orthop Unfall*. 2011 Dec;149(6):630-45. German. doi: 10.1055/s-0030-1250691. Epub 2011 May 3. PMID: 21544786.
 37. Frosch KH, Schmeling A. A new classification system of patellar instability and patellar maltracking. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2016 Apr;136(4):485-97. doi: 10.1007/s00402-015-2381-9. Epub 2015 Dec 30. PMID: 26718353.
 38. Ellera Gomes JL. Medial patellofemoral ligament reconstruction for recurrent dislocation of the patella: a preliminary report. *Arthroscopy*. 1992;8(3):335-40. doi: 10.1016/0749-8063(92)90064-i. PMID: 1418205.
 39. Hendawi T, Godshaw B, Flowers C, Stephens I, Haber L, Waldron S. Autograft vs Allograft Comparison in Pediatric Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction. *Ochsner J*. 2019 Summer;19(2):96-101. doi: 10.31486/toj.18.0081. PMID: 31258420; PMCID: PMC6584189.
 40. Henstenburg J, Pezzulo JD, Farronato DM, Johnson EB, Bodnar J, Petrucelli P, Dodson C, Freedman KB, Cohen SB, Hammoud S. Comparison of Clinical Outcomes After Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction With Allograft Versus Autograft: A Matched-Cohort Analysis. *Orthop J Sports Med*. 2024 Jul 31;12(7):23259671241256983. doi: 10.1177/23259671241256983. PMID: 39100215; PMCID: PMC11295225.
 41. Hetsroni I, Mann G, Dolev E, Nyska M. Combined reconstruction of the medial patellofemoral and medial patellotibial ligaments: outcomes and prognostic factors. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2019 Feb;27(2):507-515. doi: 10.1007/s00167-018-5145-6. Epub 2018 Sep 20. PMID: 30238237.
 42. Hinckel BB, Gobbi RG, Kaleka CC, Camanho GL, Arendt EA. Medial patellotibial ligament and medial patellomeniscal ligament: anatomy, imaging, biomechanics, and clinical review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2018 Mar;26(3):685-696. doi: 10.1007/s00167-017-4469-y. Epub 2017 Mar 13. PMID: 28289819.

43. Hobson TE, Tomasevich KM, Quinlan NJ, Mortensen AJ, Aoki SK. Tape Augmentation Does Not Affect Mid-Term Outcomes of Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction in Skeletally Mature Adolescent Patients. *Arthrosc Sports Med Rehabil*. 2021 Dec 20;4(2):e359-e370. doi: 10.1016/j.asmr.2021.10.011. PMID: 35494263; PMCID: PMC9042779.
44. Jackson GR, Tuthill T, Gopinath V, et al. Complication rates after medial patellofemoral ligament reconstruction range from 0% to 32% with 0% to 11% recurrent instability: a systematic review. *Arthroscopy*. 2023;39(5):1345-1356.
45. Jibri Z, Jamieson P, Rakhra KS, Sampaio ML, Dervin G. Patellar maltracking: an update on the diagnosis and treatment strategies. *Insights Imaging*. 2019 Jun 14;10(1):65. doi: 10.1186/s13244-019-0755-1. PMID: 31201575; PMCID: PMC6570735.
46. Kang H, Zheng R, Dong C, Fu K, Wang F. No influence of patellar fixation technique on clinical outcomes of double-bundle medial patellofemoral ligament reconstruction: a systematic review. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2019 Jan;139(1):79-90. doi: 10.1007/s00402-018-3008-8. Epub 2018 Jul 25. PMID: 30046892.
47. Kita K, Tanaka Y, Toritsuka Y, Amano H, Uchida R, Takao R, Horibe S. Factors Affecting the Outcomes of Double-Bundle Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction for Recurrent Patellar Dislocations Evaluated by Multivariate Analysis. *Am J Sports Med*. 2015 Dec;43(12):2988-96. doi: 10.1177/0363546515606102. Epub 2015 Oct 4. PMID: 26435448.
48. Korthaus A, Dust T, Berninger M, Frings J, Krause M, Frosch KH, Thürig G. Influence of the Fluoroscopy Setting towards the Patient When Identifying the MPFL Insertion Point. *Diagnostics (Basel)*. 2022 Jun 9;12(6):1427. doi: 10.3390/diagnostics12061427. PMID: 35741237; PMCID: PMC9221608.
49. Le N, Blackman B, Zakharia A, Cohen D, de Sa D. MPFL repair after acute first-time patellar dislocation results in lower redislocation rates and less knee pain compared to rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2023 Jul;31(7):2772-2783. doi: 10.1007/s00167-022-07222-w. Epub 2022 Nov 13. PMID: 36372845.
50. Lee PYF, Golding D, Rozewicz S, Chandratreya A. Modern synthetic material is a safe and effective alternative for medial patellofemoral ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2018 Sep;26(9):2716-2721. doi: 10.1007/s00167-017-4711-7. Epub 2017 Sep 19. PMID: 28929187.
51. Liebensteiner M, Keiler A, El Attal R, Balcarek P, Dirisamer F, Giesinger J, Seitlinger G, Nelitz M, Keshmiri A, Frings J, Becher C, Kappel P, Wagner D, Pagenstert G. Conservative versus tailored surgical treatment in patients with first time lateral patella dislocation: a randomized-controlled trial. *J Orthop Surg Res*. 2021 Jun 13;16(1):378. doi: 10.1186/s13018-021-02513-3. PMID: 34120628; PMCID: PMC8199830.
52. Loeb AE, Tanaka MJ. The medial patellofemoral complex. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2018 Jun;11(2):201-208. doi: 10.1007/s12178-018-9475-2.

PMID: 29728862; PMCID: PMC5970110.

53. Lubowitz JH, MacKay G, Gilmer B. Knee Medial Collateral Ligament and Posteromedial Corner Anatomic Repair With Internal Bracing. *Arthroscopy Techniques*, Volume 3, Issue 4. 2014. Pages e505-e508. ISSN 2212-6287.
54. Ma LF, Wang F, Chen BC, Wang CH, Zhou JW, Wang HY. Medial retinaculum plasty versus medial patellofemoral ligament reconstruction for recurrent patellar instability in adults: a randomized controlled trial. *Arthroscopy*. 2013 May;29(5):891-7. doi: 10.1016/j.arthro.2013.01.030. Epub 2013 Apr 6. PMID: 23566568.
55. Maas KJ, Warncke ML, Leiderer M, Krause M, Dust T, Frings J, Frosch KH, Adam G, Henes FOG. Diagnostic Imaging of Patellofemoral Instability. *Rofo*. 2021 Sep;193(9):1019-1033. English, German. doi: 10.1055/a-1348-2122. Epub 2021 Mar 27. PMID: 33773517.
56. Maione A, Tradati D, Ferrua P, Ricci M, Usellini E, Randelli PS, Berruto M. Accuracy of femoral tunnel positioning in medial patellofemoral ligament reconstruction: anatomic insertion leads to better clinical outcome. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2023 Jul;31(7):2810-2817. doi: 10.1007/s00167-022-07235-5. Epub 2022 Nov 17. PMID: 36394586.
57. Matic GT, Magnussen RA, Kolovich GP, Flanigan DC. Return to activity after medial patellofemoral ligament repair or reconstruction. *Arthroscopy*. 2014 Aug;30(8):1018-25. doi: 10.1016/j.arthro.2014.02.044. Epub 2014 Apr 24. PMID: 24768468.
58. Matzkin E. Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction: Indications, Technique, and Outcomes. *Arthroscopy*. 2019 Nov;35(11):2970-2972. doi: 10.1016/j.arthro.2019.09.008. PMID: 31699243.
59. Migliorini F, Trivellas A, Eschweiler J, Knobe M, Tingart M, Maffulli N. Comparable outcome for autografts and allografts in primary medial patellofemoral ligament reconstruction for patellofemoral instability: systematic review and meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2022a Apr;30(4):1282-1291. doi: 10.1007/s00167-021-06569-w. Epub 2021 Apr 16. PMID: 33861358; PMCID: PMC9007784.
60. Migliorini F, Eschweiler J, Betsch M, Knobe M, Tingart M, Maffulli N. Prognostic factors for isolated medial patellofemoral ligament reconstruction: A systematic review. *Surgeon*. 2022b Aug;20(4):e112-e121. doi: 10.1016/j.surge.2021.03.003. Epub 2021 May 4. PMID: 33962891.
61. Migliorini F, Maffulli N, Söllner S, Pasurka M, Kubach J, Bell A, Betsch M. Allografts for Medial Patellofemoral Ligament (MPFL) Reconstruction in Adolescent Patients with Recurrent Patellofemoral Instability: A Systematic Review. *Children (Basel)*. 2023 May 6;10(5):840. doi: 10.3390/children10050840. PMID: 37238388; PMCID: PMC10217111.
62. Milinkovic D, Zimmermann F, Balcarek P. Medial patellofemoral ligament reconstruction using nonresorbable sutures yields comparable outcomes to

- reconstruction with a pedicled quadriceps tendon autograft when performed in addition to bony factor correction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2023; 31:264-271. <https://doi.org/10.1007/s00167-022-07104-1>
63. Minoli C, Travi M, Monti C, Ferrua P, Puce M, Radaelli S, Menon A, Tassi AL, Randelli PS. A fast, easy and reliable method for hamstrings graft size prediction in anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2023 Oct;31(10):4430-4436. doi: 10.1007/s00167-023-07510-z. Epub 2023 Jul 19. PMID: 37468620; PMCID: PMC10471637.
 64. Moghamis, I., Abuodeh, Y., Darwiche, A. et al. Anthropometric correlation with hamstring graft size in anterior cruciate ligament reconstruction among males. *International Orthopaedics (SICOT)* 44, 577–584 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00264-019-04452-5>
 65. Nomura E. Classification of lesions of the medial patello-femoral ligament in patellar dislocation. *Int Orthop*. 1999;23(5):260-3. doi: 10.1007/s002640050366. PMID: 10653289; PMCID: PMC3619764.
 66. Nomura E, Horiuchi Y, Kihara M. A mid-term follow-up of medial patellofemoral ligament reconstruction using an artificial ligament for recurrent patellar dislocation. *Knee*. 2000a Dec 1;7(4):211-215. doi: 10.1016/s0968-0160(00)00072-7. PMID: 11104912.
 67. Patil S, Ahmad M, Patel M, Rathinam B, Pandita KK, Santoshi JA, Behera P, Parate SB. Cadaveric Study to Define the Anatomy of the Medial Patellofemoral Ligament (MPFL) and Its Variant Patterns. *Cureus*. 2023 May 22;15(5):e39333. doi: 10.7759/cureus.39333. PMID: 37351230; PMCID: PMC10284093.
 68. Pautasso A, Sabatini L, Capella M, Saccia F, Rissolio L, Boasso G, Atzori F, Massè A. Anatomic medial patellofemoral ligament (MPFL) reconstruction with and without tibial tuberosity osteotomy for objective patellar instability. *Musculoskelet Surg*. 2022 Dec;106(4):441-448. doi: 10.1007/s12306-021-00721-y. Epub 2021 Jul 10. PMID: 34247341; PMCID: PMC9617824.
 69. Petri M, Krettek C, Jagodzinski M. Evidenzbasierte Indikationsstellung bei Patellaluxation [Evidence-based treatment protocol to manage patellar dislocation]. *Unfallchirurg*. 2012 May;115(5):387-91. German. doi: 10.1007/s00113-012-2195-y. PMID: 22527955.
 70. Recker AJ, Mason TW, van der List JP, Bullock G, Trasolini NA, Waterman BR. Operative Treatment has Greater Expected Value than Nonoperative Treatment for First-Time Patellar Dislocations: A Meta-Analysis and Expected Value Decision Analysis. *Arthroscopy*. 2025 Feb 19:S0749-8063(25)00134-3. doi: 10.1016/j.arthro.2025.02.013. Epub ahead of print. PMID: 39983797.
 71. Runer A, Wierer G, Keshmiri A, Schoettle P, Liebensteiner M, Frings J. Anatomie und Biomechanik des Patellofemoralgelenks. *Arthroskopie*. 2023 Nov; 36:373–381. <https://doi.org/10.1007/s00142-023-00638-7>
 72. Ryskamp D, Meeks BD, Gonzalez R, Cavendish PA, Milliron E, DiBartola AC, Duerr RA, Flanigan DC, Magnussen RA. Impact of the Number of Patellar

- Dislocations on Outcomes of Isolated Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction. *Orthop J Sports Med.* 2024 Dec 13;12(12):23259671241274769. doi: 10.1177/23259671241274769. PMID: 39678434; PMCID: PMC11645772.
73. Sakai N, Luo ZP, Rand JA, An KN. The influence of weakness in the vastus medialis oblique muscle on the patellofemoral joint: an in vitro biomechanical study. *Clin Biomech (Bristol).* 2000 Jun;15(5):335-9. doi: 10.1016/s0268-0033(99)00089-3. PMID: 10758294.
 74. Sasaki E, Kimura Y, Sasaki S, Yamamoto Y, Tsuda E, Ishibashi Y. Clinical outcomes of medial patellofemoral ligament reconstruction using FiberTape and knotless SwiveLock anchors. *Knee.* 2022 Aug;37:71-79. doi: 10.1016/j.knee.2022.05.011. Epub 2022 Jun 10. PMID: 35696836.
 75. Schmeling A, Frings J, Akoto R, Frosch KH. Patellaluxation : Ursachen und Therapie [Patellar dislocation : Causes and treatment]. *Unfallchirurg.* 2020 Dec;123(12):969-983. German. doi: 10.1007/s00113-020-00912-5. PMID: 33201266.
 76. Schöttle PB, Schmeling A, Rosenstiel N, Weiler A. Radiographic landmarks for femoral tunnel placement in medial patellofemoral ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2007 May;35(5):801-4. doi: 10.1177/0363546506296415. Epub 2007 Jan 31. PMID: 17267773.
 77. Schöttle PB, Romero J, Schmeling A, Weiler A. Technical note: anatomical reconstruction of the medial patellofemoral ligament using a free gracilis autograft. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2008 May;128(5):479-84. doi: 10.1007/s00402-007-0300-4. Epub 2007 Feb 24. PMID: 17323067.
 78. Sequeira SB, Imbergamo C, Gould HP. Interference Screws Are Biomechanically Superior to Suture Anchors for Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Arthrosc Sports Med Rehabil.* 2022 Jun 15;4(4):e1581-e1588. doi: 10.1016/j.asmr.2022.05.003. PMID: 36033175; PMCID: PMC9402472.
 79. Shah JN, Howard JS, Flanigan DC, Brophy RH, Carey JL, Lattermann C. A systematic review of complications and failures associated with medial patellofemoral ligament reconstruction for recurrent patellar dislocation. *Am J Sports Med.* 2012 Aug;40(8):1916-23. doi: 10.1177/0363546512442330. Epub 2012 Jun 7. PMID: 22679297; PMCID: PMC3615712.
 80. Sipahioglu S, Zehir S, Sarikaya B, Levent A. Injury of the infrapatellar branch of the saphenous nerve due to hamstring graft harvest: A prospective comparative study of two different incisions: A prospective comparative study of two different incisions. *Journal of Orthopaedic Surgery.* 2017;25(1). doi:10.1177/2309499017690995
 81. Smith MK, Werner BC, Diduch DR. Avoiding Complications with MPFL Reconstruction. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2018 Jun;11(2):241-252. doi: 10.1007/s12178-018-9479-y. PMID: 29752638; PMCID: PMC5970114.

82. Smith BL, Bedi A, Hauck OL, Wijdicks CA, Riboh JC. All-Suture Anchor Onlay Fixation for Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction: A Biomechanical Comparison of Fixation Constructs. *Orthop J Sports Med.* 2024 Nov 22;12(11):23259671241294011. doi: 10.1177/23259671241294011. PMID: 39583149; PMCID: PMC11585034.
83. Straume-Næsheim TM, Randsborg PH, Mikaelson JR, Årøen A. Medial patellofemoral ligament reconstruction is superior to active rehabilitation in protecting against further patella dislocations. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2022 Oct;30(10):3428-3437. doi: 10.1007/s00167-022-06934-3. Epub 2022 Mar 28. PMID: 35347375; PMCID: PMC9464184.
84. Sourougeon Y, Nesher G, Younis H, Bloch A, Garra S, Prat D, Thein R. Evaluating the Impact of Graft Tensioning and Leg Positioning in Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction on Patellofemoral Pressure Profile: A Systematic Review and Meta-analysis. *Arthroscopy.* 2025 Feb 25:S0749-8063(25)00126-4. doi: 10.1016/j.arthro.2025.01.066. Epub ahead of print. PMID: 40010518.
85. Tscholl PM, Wanivenhaus F, Centmaier-Molnar V, Camenzind RS, Fucentese SF. Clinical and radiological results after one hundred fifteen MPFL reconstructions with or without tibial tubercle transfer in patients with recurrent patellar dislocation-a mean follow-up of 5.4 years. *Int Orthop.* 2020 Feb;44(2):301-308. doi: 10.1007/s00264-019-04441-8. Epub 2019 Dec 20. PMID: 31863158.
86. Tsushima T, Tsukada H, Sasaki S, Naraoka T, Yamamoto Y, Tsuda E, Ishibashi Y (2019) Biomechanical analysis of medial patellofemoral ligament reconstruction: FiberTape(R) with knotless anchors versus a semitendinosus tendon autograft with soft anchors. *J Orthop Sci* 24(4):663–667.
87. Uimonen M, Ponkilainen V, Paloneva J, Mattila VM, Nurmi H, Repo JP. Characteristics of Osteochondral Fractures Caused by Patellar Dislocation. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine.* 2021;9(1). doi:[10.1177/2325967120974649](https://doi.org/10.1177/2325967120974649)
88. Walsh JM, Credille K, Allahabadi S, Kaplan DJ, Darbandi AD, Huddleston HP, Hevesi M, Wang Z, Dandu N, Yanke AB. Biomechanical Properties and Kinematics of Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *Orthop J Sports Med.* 2024 Jun 7;12(6):23259671241241537. doi: 10.1177/23259671241241537. PMID: 38855071; PMCID: PMC11159569.
89. Warren LF, Marshall JL. The supporting structures and layers on the medial side of the knee: an anatomical analysis. *J Bone Joint Surg Am.* 1979 Jan;61(1):56-62. PMID: 759437.
90. Wisbech Vange S, Tranum-Jensen J, Krogsgaard MR. Gracilis tendon harvest may lead to both incisional and non-incisional saphenous nerve injuries. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020 Mar;28(3):969-974. doi: 10.1007/s00167-019-05605-0. Epub 2019 Jul 3. PMID: 31270589.
91. Wolfe S, Varacallo MA, Thomas JD, Carroll JJ, Kahwaji CI. Patellar Instability. 2023 Sep 4. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing;

2025 Jan—. PMID: 29494034.

92. Zimmermann F, Balcarek P, Giesinger JM, Pilz MJ, Liebensteiner M, Dirisamer F, et al. Age- and sex-specific reference values for the Banff Patella Instability Instrument (BPII 2.0) in the German population based on 1309 participants. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2025; 1–8. <https://doi.org/10.1002/ksa.70148>

8. Abkürzungsverzeichnis

A

- ACL - Anterior cruciate ligament
- AMIC - Autologe Matrixinduzierte Chondrogenese

B

- BMI - Body Mass Index
- BWF - Bodyweight-Force

C

- CDI - Caton Deschamps Index

D

- DFO - Distal Femoral Osteotomy; Distale femorale Osteotomie

I

- ISR - Insall-Salvati-Ratio
- ITT - Iliotibialer Trakt

L

- Lig. - Ligament (*englisch, deutsch*) / Ligamentum (*latein*)
- LTI - Lateraler Inklinationswinkel der Trochlea

M

- M. - Musculus
- MCL - Mediales kollaterales Ligament
- MIC - Minimale klinisch relevante Veränderung
- MPFC - Medialer patellofemorale Komplex
- MPFL - Mediales patellofemorales Ligament
- MPML - Mediales patellomeniskales Ligament
- MPTL - Mediales patellotibiales Ligament
- MRP - Medial retinaculum plasty
- MRT - Magnetresonanztomografie

P

- PCL - Posterior cruciate ligament (englisch), hinteres Kreuzband (deutsch)
- PFG - Patellofemoralgelenk
- PFI - Patellofemorale Instabilität
- PISS - Patellar instability severity score
- PROM - Patient-Reported Outcome Measure

R

- ROM - Range of Motion; Bewegungsamplitude

T

- TT - Tibiale Tuberositas
- TTO - Osteotomie der tibialen Tuberositas
- TT-TG - Tibial tubercle-trochlear groove distance
- TT-PCL - Tibial tuberosity-posterior cruciate ligament distance

U

- UKE - Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf

V

- VAS - Visuelle Analogskala
- VMO - Vastus medialis obliquus

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Schematische Darstellung der anatomischen Position des MPFL.	Seite 4
Abbildung 2	Diagramm der anatomischen Risikofaktoren der patellofemorale Instabilität.	Seite 9
Abbildung 3	Die drei Typen der MPFL Verletzungen.	Seite 11
Abbildung 4	Schematische Darstellung vom J-sign und reversed J-sign	Seite 13
Abbildung 5	Schematische Darstellung röntgenologischer Parameter	Seite 14
Abbildung 6	Therapiealgorithmus der Patellainstabilität und des Maltrackings	Seite 18
Abbildung 7	Darstellung verschiedener MPFL-R Techniken	Seite 19
Abbildung 8	Radiografische Darstellung des Schöttle-Punkts	Seite 21
Abbildung 9	Röntgenologische Lagekontrolle eingebrachter Fadenanker	Seite 28
Abbildung 10	Lokalisation des Isometripunktes und lagekontrollierte Einbringung des Ösendrahts	Seite 29
Abbildung 11	Darstellung des Materials	Seite 29
Abbildung 12	Flussdiagramm der Patient:innenauswahl und Nachuntersuchungen	Seite 32
Abbildung 13	Geschlechterverteilung der Studienteilnehmer:innen	Seite 33
Abbildung 14	Alterverteilung der Studienteilnehmer:innen	Seite 34
Abbildung 15	Darstellung der Mediane der absoluten Werte der VAS in den Transplantatgruppen	Seite 39
Abbildung 16	Darstellung der Mediane der absoluten Werte des Kujala Scores in den Transplantatgruppen	Seite 39
Abbildung 17	Darstellung der Mediane der absoluten Werte des Lysholm Scores in den Transplantatgruppen	Seite 40
Abbildung 18	Darstellung der Mediane der absoluten Werte des Tegner Scores in den Transplantatgruppen	Seite 40
Abbildung 19	Darstellung der Mediane der absoluten Werte des Banff Scores in den Transplantatgruppen	Seite 41

Abbildung 20	Darstellung der longitudinalen Entwicklung mittels Mittelwerte des Kujala-, Lysholm- und Banff-Scores in den Transplantatgruppen	Seite 41
Abbildung 21	Darstellung der longitudinalen Entwicklung mittels Mittelwerte des Tegner-Scores sowie der VAS in den Transplantatgruppen	Seite 42

10. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Präoperative Diagnostik des Patient:innenkollektivs mittels Magnetresonanztomografie	Seite 33
Tabelle 2	Auswertung der absoluten und longitudinalen Ergebnisse der funktionellen Fragebögen (Kujala, Lysholm, Tegner, Banff).	Seite 37
Tabelle 3	Darstellung der absoluten Werte sowie der longitudinalen Veränderung der VAS in den Transplantatgruppen	Seite 38
Tabelle 4	VAS über die Zeitpunkte t0 bis t2 nach Flake-Status	Seite 43
Tabelle 5	Funktionelle Ergebnisse über die Zeitpunkte t0 bis t2 nach Flake-Status	Seite 43
Tabelle 6	Postoperative intergruppale Auswertung der körperlichen Untersuchung zu den Zeitpunkten 6 und 12 Monate nach Operation	Seite 46
Tabelle 7	Postoperative longitudinale Vergleichsanalyse innerhalb der einzelnen Gruppen zu den Zeitpunkten 12 vs. 6 Monate postoperativ	Seite 47
Tabelle 8	Darstellung der Korrelation der prä- und postoperativ mittels funktioneller Scores erhobenen Ergebnisse	Seite 48
Tabelle 9	<i>(Ergänzung zu Tabelle 4):</i> VAS über die Zeitpunkte t0 bis t2 nach Flake-Status-1	Seite 71
Tabelle 10	VAS über die Zeitpunkte t0 bis t2 nach Interventionsgruppe-1	Seite 72
Tabelle 11	<i>(Ergänzung zu Tabelle 4):</i> Funktionelle Ergebnisse über die Zeitpunkte t0 bis t2 nach Interventionsgruppe	Seite 73
Tabelle 12	Funktionelle Ergebnisse über die Zeitpunkte t0 bis t2 nach Interventionsgruppe	Seite 75

11. Anhang

11.1. Ergänzende Tabellen

2x2-Design: Faktor A = Flake-Status, Faktor B = Intervention (F,G). Tabelle 4 zeigt A-Effekt, Tabelle 5 zeigt B-Effekt innerhalb der Stufen von A.

Tabelle 9: VAS über die Zeitpunkte t0 bis t2 nach Flake-Status-1

G		Flake	Kein Flake
t ₀	Median [IQR]	4,5 [4]	3 [4]
	p	0,331	
t ₁	Median [IQR]	1 [2]	2 [3]
	p	0,217	
t ₂	Median [IQR]	1 [3]	2 [3]
	p	0,443	
t ₁ - t ₀	ΔMedian [IQR]	-3 [4]	-1 [4]
	p	* 0,003	0,057
	Z-Wert	-2,990	-1,901
Flake vs. Kein Flake	p	0,061	
t ₂ - t ₀	ΔMedian [IQR]	-2 [5]	-2 [4]
	p	* 0,022	* 0,028
	Z-Wert	-2,283	-2,203
Flake vs. Kein Flake	p	0,487	
t ₂ - t ₁	ΔMedian [IQR]	0 [2,75]	0 [1]
	p	0,338	0,739
	Z-Wert	0,863	-0,333
Flake vs. Kein Flake	p	0,651	
F		Flake	Kein Flake
t ₀	Median [IQR]	2,5 [4]	2,5 [5]
	p	0,713	
t ₁	Median [IQR]	1 [2]	1 [2]
	p	0,290	
t ₂	Median [IQR]	1 [2]	2 [2]
	p	0,149	
t ₁ - t ₀	ΔMedian [IQR]	-2 [4]	-1 [5]
	p	0,090	0,127

	Z-Wert	-1,696	-1, 527
Flake vs. Kein Flake	p	0,815	
t ₂ - t ₀	ΔMedian [IQR]	-2 [3]	-1 [7]
	p	* 0,026	0,121
	Z-Wert	-2,226	-1,549
Flake vs. Kein Flake	p	0,506	
t ₂ - t ₁	ΔMedian [IQR]	0 [0,75]	0,5 [2,75]
	p	-0,535	0,436
	Z-Wert	0,593	0,778
Flake vs. Kein Flake	p	0,571	

(Ergänzung zu Tabelle 4): Darstellung der absoluten Werte sowie der longitudinalen Veränderung der VAS in den Gruppen Flake vs. Kein Flake zu den Zeitpunkten t₀ (= präoperativ (n = 59)); t₁ (= 6 Monate postoperativ (n=53)); t₂ (= 12 Monate postoperativ (n = 47)) im Vergleich zu t₀ mittels Wilcoxon-Test sowie intergruppaler Vergleich der Ergebnisse mittels Mann-Whitney U Tests

Tabelle 10: VAS über die Zeitpunkte t₀ bis t₂ nach Interventionsgruppe-1

Flake		F	G
t ₀	Median [IQR]	2,5 [4]	4,5 [4]
	p	0,172	
t ₁	Median [IQR]	1 [2]	1 [2]
	p	0,643	
t ₂	Median [IQR]	1 [2]	1 [3]
	p	0,571	
t ₁ - t ₀	Δ Median [IQR]	-2 [4]	-3 [4]
	p	0,643	
t ₂ - t ₀	Δ Median [IQR]	-2 [3]	-2 [5]
	p	0,571	
t ₂ - t ₁	Δ Median [IQR]	0 [0,75]	0 [2,75]
	p	0,224	
No Flake			
t ₀	Median [IQR]	2,5 [5]	3 [4]
	p	0,831	
t ₁	Median [IQR]	1 [2]	2 [3]
	p	0,775	
t ₂	Median [IQR]	2 [2]	2 [3]
	p	0,792	

$t_1 - t_0$	Δ Median [IQR]	-1 [5]	-1 [4]
	p	0,775	
$t_2 - t_0$	Δ Median [IQR]	-1 [7]	-2 [4]
	p	0,792	
$t_2 - t_1$	Δ Median [IQR]	0,5 [2,75]	0 [1]
	p	0,964	

Darstellung der absoluten Werte der VAS sowie der longitudinalen Veränderung in den Gruppen Flake und no Flake zu den Zeitpunkten t_0 (= präoperativ (n = 59)); t_1 (= 6 Monate postoperativ (n=53)); t_2 (= 12 Monate postoperativ (n = 47)) im Vergleich zu t_0 mittels Wilcoxon-Test sowie Vergleich der Ergebnisse der beiden Transplantatgruppen mittels Mann-Whitney U Tests

2x2-Design: Faktor A = Flake-Status, Faktor B = Intervention (F,G). Tabelle 6 zeigt A-Effekt, Tabelle 7 zeigt B-Effekt innerhalb der Stufen von A.

Tabelle 11: Funktionelle Ergebnisse über die Zeitpunkte t_0 bis t_2 nach Flake-Status-1

		Kujala		Lysholm		Tegner		Banff	
		Flake	Kein Flake	Flake	Kein Flake	Flake	Kein Flake	Flake	Kein Flake
F									
t_0	Mittelwert ($\pm$ SD)	50,20 ($\pm$ 29,91)	66,80 ($\pm$ 19,62)	55,30 ($\pm$ 25,74)	64,85 ($\pm$ 18,96)	4,60 ($\pm$ 1,96)	4,60 ($\pm$ 2,09)	43,10 ($\pm$ 28,45)	43,72 ($\pm$ 16,70)
	p	0,078		0,258		1,000		0,947	
	95%-KI	[-1,99 , 35,19]		[-7,41 , 26,51]		[-1,62 , 1,62]		[-18,38 , 19,62]	
t_1	Mittelwert ($\pm$ SD)	81,67 ($\pm$ 12,47)	73,93 ($\pm$ 17,97)	83,00 ($\pm$ 14,73)	72,00 ($\pm$ 18,05)	4,00 ($\pm$ 1,23)	4,20 ($\pm$ 1,15)	72,97 ($\pm$ 11,09)	63,13 ($\pm$ 19,37)
	p	0,269		0,137		0,690		0,180	
	95%-KI	[-21,89 , 6,42]		[-25,79 , 3,79]		[-0,83 , 1,23]		[-24,56 , 4,89]	
t_2	Mittelwert ($\pm$ SD)	86,63 ($\pm$ 7,21)	76,40 ($\pm$ 14,32)	87,50 ($\pm$ 5,71)	80,67 ($\pm$ 16,03)	5,25 ($\pm$ 1,58)	4,87 ($\pm$ 1,77)	85,51 ($\pm$ 10,54)	63,88 ($\pm$ 20,55)
	p	0,074		0,154		0,631		* 0,012	
	95%-KI	[-21,52 , 1,07]		[-19,12 , 5,45]		[-1,94 , 1,17]		[-37,89 , 5,38]	
$t_1 - t_0$	Δ Mittelwert ($\pm$ SD)	36,22 ($\pm$ 31,33)	5,67 ($\pm$ 15,62)	29,667 ($\pm$ 23,55)	6,27 ($\pm$ 19,52)	-0,44 ($\pm$ 2,96)	-0,33 ($\pm$ 1,59)	31,04 ($\pm$ 26,17)	19,91 ($\pm$ 17,57)
	95%-KI	[12,14 , 60,31]	[-2,99 , 14,32]	[11,56, 47,77]	[-4,54 , 17,08]	[-2,72 , 1,83]	[-1,21 , 0,55]	[9,16, 52,92]	[10,18, 29,64]
	p	* 0,008	0,182	* 0,005	0,234	0,665	0,430	* 0,012	* <0,001

Flake vs. Kein Flake	p	* 0,020		* 0,015		0,919		0,236	
	95%-KI	[-55,36 , -5,75]		[-41,83 , -4,97]		[-2,25 , 2,47]		[-30,09 , 7,84]	
t ₂ - t ₀	Δ Mittelwert (± SD)	37,75 (± 28,73)	9,53 (± 24,85)	33,13 (± 30,84)	17,33 (± 24,74)	1,13 (± 1,15)	0,13 (± 2,30)	42,67 (± 31,77)	17,79 (± 15,45)
	95%-KI	[13,73, 61,77]	[-4,23 , 23,29]	[7,34, 58,91]	[3,63, 31,04]	[-1,17, 3,42]	[-1,14 , 1,40]	[13,29, 72,05]	[7,97, 27,61]
	p	* 0,007	0,159	* 0,019	* 0,017	0,285	0,825	* 0,012	* 0,002
Flake vs. Kein Flake	p	* 0,023		0,172		0,367		0,090	
	95%-KI	[-52,08 , -4,36]		[-41,99 , 8,01]		[-3,23 , 1,24]		[-54.63 , 4,87]	
t ₂ - t ₁	Δ Mittelwert (± SD)	6,38 (± 12,22)	-4,50 (± 9,80)	6,38 (± 16,19)	2,67 (± 13,54)	1,13 (± 2,36)	-0,17 (± 0,72)	11,91 (± 2,25)	-5,74 (± 17,89)
	95%-KI	[-3,84 , 16,59]	[-10,73 , 1,73]	[-7,16 , 19,91]	[-5,94 , 11,27]	[-0,85 , 3,10]	[-0,62 , 0,29]	[0,81 , 23,02]	[-17,11 , 5,62]
	p	0,184	0,140	0,302	0,509	0,219	0,438	0,058	0,290
Flake vs. Kein Flake	p	* 0,041		0,585		0,171		* 0,029	
	95%-KI	[-21,24 , -0,51]		[-17,73 , 10,31]		[-3,28 , 0,69]		[-33,24 , -2,07]	
G									
t ₀	Mittelwert (± SD)	57,36 (± 28,19)	70,73 (± 14,19)	56,36 (± 26,65)	71,00 (± 17,55)	4,71 (± 2,23)	4,21 (± 1,58)	46,40 (± 25,14)	51,84 (± 23,25)
	p	1,134		0,90		0,500		0,581	
	95%-KI	[-4,50 , 31,25]		[-2,44 , 31,72]		[-2,00 , 1,00]		[-14,65 , 25,53]	
t ₁	Mittelwert (± SD)	77,57 (± 12,65)	73,27 (± 18,43)	81,00 (± 11,05)	71,67 (± 17,46)	4,64 (± 1,08)	4,40 (± 1,64)	64,51 (± 16,55)	61,81 (± 21,27)
	p	0,473		0,100		0,644		0,710	
	95%-KI	[-16,44 , 7,83]		[-20,56 , 1,89]		[-1,31 , 0,82]		[-17,51 , 12,10]	
t ₂	Mittelwert (± SD)	84,75 (± 10,84)	81,50 (± 9,13)	84,58 (± 9,92)	79,58 (± 12,87)	5,75 (± 1,82)	5,42 (± 1,31)	70,90 (± 16,34)	66,88 (± 18,36)
	p	0,435		0,298		0,611		0,576	
	95%-KI	[-11,73 , 5,23]		[-14,73 , 4,73]		[-1,67 , 1,01]		[-18,74 , 10,69]	
t ₁ - t ₀	Δ Mittelwert (± SD)	20,21 (± 36,31)	1,23 (± 12,23)	24,64 (± 32,92)	-0,46 (± 14,18)	-0,07 (± 2,46)	0,33 (± 0,99)	19,91 (± 24,99)	9,45 (± 19,45)
	95%-KI	[-0,65 , 41,08]	[-6,16, 8,62]	[5,64, 43,65]	[-9,03, 8,10]	[-1,49 , 1,35]	[-0,29, 0,96]	[4,81, 35,01]	[-3,62 , 22,51]
	p	0,056	0,723	* 0,015	0,908	0,915	0,266	* 0,014	0,138
Flake vs. Kein Flake	p	0,082		* 0,018		0,580		0,272	
	95%-KI	[-40,67 , 2,70]		[-45,27 , -4,80]		[-1,11 , 1,91]		[-29,70 , 8,78]	
t ₂ - t ₀	Δ Mittelwert (± SD)	31,17 (± 34,45)	8,55 (± 13,23)	30,17 (± 32,45)	6,46 (± 19,74)	1,33 (± 2,23)	1,30 (± 1,34)	28,86 (± 26,89)	20,94 (± 20,03)
	95%-KI	[9,28 , 53,05]	[-0,34, 17,44]	[9,55 , 50,78]	[-6,81 , 19,72]	[-0,08 , 2,75]	[0,34, 2,26]	[10,80 , 46,93]	[4,19 , 37,69]
	p	* 0,010	0,058	* 0,008	0,304	0,063	* 0,013	* 0,005	* 0,021

Flake vs. Kein Flake	p	0,053		* 0,046		0,967		0,492	
	95%-KI	[-45,54 , 0,30]		[-46,99 , -0,43]		[-1,71 , 1,65]		[-31,75 , 15,90]	
t ₂ - t ₁	Δ Mittelwert (± SD)	6,42 (± 10,11)	7,36 (± 12,44)	2,67 (± 9,02)	6,64 (± 14,19)	1,25 (± 1,77)	1,27 (± 1,01)	3,94 (± 9,60)	1,53 (± 16,31)
	95%-KI	[-0,01 , 12,84]	[-0,99, 15,72]	[-3,06 , 8,40]	[-2,90, 16,17]	[0,13 , 2,37]	[0,60, 1,95]	[-2,16 , 10,04]	[-10,14, 13,20]
	p	* 0,050	0,078	0,328	0,152	* 0,032	* 0,002	0,183	0,773
Flake vs. Kein Flake	p	0,843		0,428		0,970		0,671	
	95%-KI	[-8,84 , 10,74]		[-6,25 , 14,19]		[-1,24 , 1,29]		[-14,07 , 9,25]	

(Ergänzung zu Tabelle 6) Darstellung der absoluten Werte zu den Zeitpunkten t₀ (= präoperativ (n = 59); t₁ (= 6 Monate postoperativ (n=53); t₂ (= 12 Monate postoperativ (n = 47)) sowie der longitudinalen Veränderungen von Patient:innen mit vs. ohne (osteo-)chondrale Flakes innerhalb der jeweiligen Interventionsgruppen im Vergleich zu t₀ sowie Vergleich der Subgruppen zu den verschiedenen Zeitpunkten mittels unabhängiger t-Testung

Tabelle 12: Funktionelle Ergebnisse über die Zeitpunkte t₀ bis t₂ nach Interventionsgruppe-1

		Kujala		Lysholm		Tegner		Banff	
		F	G	F	G	F	G	F	G
Flake									
t ₀	Mittelwert (± SD)	50,20 (± 29,91)	57,36 (± 28,82)	55,30 (± 25,74)	56,36 (± 26,64)	4,60 (± 1,96)	4,71 (± 2,23)	43,10 (± 28,45)	46,40 (± 25,14)
	p	0,561		0,923		0,898		0,784	
	95%-KI	[-32,29 , 17,97]		[-23,62 , 21,51]		[-1,94 , 1,71]		[-28,14 , 21,54]	
t ₁	Mittelwert (± SD)	81,67 (± 12,47)	77,57 (± 12,65)	83,00 (± 14,73)	81,00 (± 11,05)	4,00 (± 1,23)	4,64 (± 1,08)	72,97 (± 11,09)	64,51 (± 16,55)
	p	0,455		0,713		0,200		0,193	
	95%-KI	[-7,08 , 15,27]		[-9,18 , 13,18]		[-1,65 , 0,37]		[-4,62 , 21,53]	
t ₂	Mittelwert (± SD)	86,63 (± 7,21)	84,75 (± 10,84)	87,50 (± 5,71)	84,58 (± 10,54)	5,25 (± 1,58)	5,75 (± 1,82)	85,51 (± 10,54)	70,90 (± 16,34)
	p	0,674		0,464		0,534		* 0,039	
	95%-KI	[-7,32 , 11,07]		[-5,27 , 11,10]		[-2,16 , 1,16]		[-0,83 , 28,39]	
t ₁ - t ₀	Δ Mittelwert (± SD)	36,22 (± 31,33)	20,21 (± 36,13)	29,67 (± 23,55)	24,57 (± 32,89)	-0,44 (± 2,96)	-0,07 (± 2,46)	31,04 (± 26,17)	19,91 (± 24,99)
	p	0,288		0,692		0,746		0,342	
	95%-KI	[-14,52 , 46,56]		[-21,28 , 31,47]		[-2,74 , 2,00]		[-12,79 , 35,05]	
t ₂ - t ₀	Δ Mittelwert (± SD)	37,75 (± 28,73)	31,17 (± 34,45)	33,13 (± 30,84)	30,17 (± 32,45)	1,13 (± 2,75)	1,33 (± 2,23)	42,67 (± 31,77)	28,86 (± 26,89)
	p	0,661		0,842		0,854		0,336	
	95%-KI	[-24,44 , 37,60]		[-27,57 , 33,48]		[-2,55 , 2,14]		[-15,73 , 43,34]	

t ₂ - t ₁	Δ Mittelwert (± SD)	6,38 (± 12,22)	6,42 (± 10,11)	6,38 (± 16,19)	2,67 (± 9,02)	1,23 (± 1,76)	1,25 (± 1,76)	11,91 (± 13,28)	3,94 (± 9,60)
	p	0,993		0,518		0,893		0,136	
	95%-KI	[-10,57 , 10,49]		[-8,10 , 15,51]		[-2,06 , 1,81]		[-2,75 , 18,69]	
No Flake									
t ₀	Mittelwert (± SD)	66,80 (± 19,62)	70,73 (± 14,19)	64,85 (± 18,96)	71,00 (± 17,55)	4,60 (± 2,09)	4,21 (± 1,58)	43,72 (± 16,70)	51,84 (± 23,25)
	p	0,516		0,334		0,674		0,219	
	95%-KI	[-16,11 , 8,25]		[-18,92 , 6,62]		[-0,96 , 1,73]		[-23,62 , 7,37]	
t ₁	Mittelwert (± SD)	73,93 (± 17,97)	73,27 (± 18,43)	72,00 (± 18,05)	71,67 (± 17,46)	4,20 (± 1,15)	4,40 (± 1,64)	63,13 (± 19,37)	61,81 (± 21,27)
	p	0,921		0,959		0,701		0,862	
	95%-KI	[-12,95 , 14,28]		[-12,95 , 13,61]		[-1,26 , 0,86]		[-14,16 , 16,81]	
t ₂	Mittelwert (± SD)	76,40 (± 14,32)	81,50 (± 9,13)	80,67 (± 16,03)	79,58 (± 12,87)	4,87 (± 1,77)	5,42 (± 1,31)	63,88 (± 20,55)	66,88 (± 18,36)
	p	0,295		0,851		0,378		0,697	
	95%-KI	[-14,92 , 4,72]		[-10,66 , 12,82]		[-1,81 , 0,71]		[-18,64 , 12,65]	
t ₁ - t ₀	Δ Mittelwert (± SD)	5,67 (± 15,62)	1,23 (± 12,23)	6,27 (± 19,52)	-0,46 (± 14,18)	-0,33 (± 1,59)	0,33 (± 0,99)	19,91 (± 17,57)	9,45 (± 5,87)
	p	0,416		0,313		0,216		0,164	
	95%-KI	[-6,59 , 15,46]		[-6,72 , 20,17]		[-1,75 , 0,42]		[-4,59 , 25,52]	
t ₂ - t ₀	Δ Mittelwert (± SD)	9,53 (± 24,85)	8,55 (± 13,23)	16,13 (± 25,60)	6,45 (± 19,74)	0,13 (± 2,30)	1,30 (± 1,34)	17,79 (± 15,45)	6,45 (± 19,74)
	p	0,906		0,307		0,162		0,696	
	95%-KI	[-16,06 , 18,04]		[-9,44 , 28,80]		[-2,84 , 0,50]		[-19,81 , 13,52]	
t ₂ - t ₁	Δ Mittelwert (± SD)	-4,50 (± 9,80)	7,36 (± 12,43)	2,67 (± 13,54)	6,64 (± 14,19)	-0,167 (± 0,72)	1,27 (± 1,01)	-5,74 (± 17,89)	1,53 (± 16,31)
	p	* 0,019		0,500		* <0,001		0,335	
	95%-KI	[-21,53 , -2,20]		[-16,00 , 8,06]		[-2,19 , -0,69]		[-22,63 , 8,09]	

Auswertung der funktionellen Fragebögen mit Darstellung der absoluten Werte zu den Zeitpunkten t_0 (= präoperativ (n = 59); t_1 (= 6 Monate postoperativ (n=53); t_2 (= 12 Monate postoperativ (n = 47)) und der longitudinalen Veränderung im Vergleich zu t_0 innerhalb der Gruppen Flake und No Flake sowie intergruppaler Vergleich nach genutztem Material zu den verschiedenen Zeitpunkten mittels unabhängiger t-Testung

11.2. Nachuntersuchungsbogen



Standardisierte Untersuchungsbögen Patellainstabilität - postoperativ -

Name, Vorname: _____

Untersuchungsdatum: _____

Geburtsdatum: _____

Seite: ☐ links ☐ rechts

Visuelle Analogskala (VAS)

0 = kein Schmerz

10 = maximal vorstellbarer Schmerz

☐ 0 ☐ 1, ☐ 2, ☐ 3, ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10

Relaxation?

☐ ja ☐ nein

Erneute Entscheidung zur OP?

☐ ja ☐ nein

Bitte wenden Sie sich nun den folgenden Fragebögen zu. Wenn möglich, füllen Sie diese bitte vollständig aus.
Es handelt sich dabei um Fragebögen, die Ihre Einschätzung des Kniegelenkes vor und nach der
kniescheibenstabilisierenden Operation beurteilen sollen.

Version 3, 21.04.2016

Kujala's Anterior Knee Pain Score

Bitte wählen Sie bei folgenden Fragen ihre zutreffenden Beschwerden aus (jeweils nur eine Antwort).

1.) Humpeln/hinken beim Gehen?

- ☐ nie (5) _____
- ☐ etwas oder periodisch (3) _____
- ☐ konstant /dauerhaft (0) _____

2.) Gewichtsbelastung des Kniegelenks

- ☐ volle Unterstützung ohne Schmerz (5) _____
- ☐ ist schmerzhaft (3) _____
- ☐ ist unmöglich (0) _____

3.) Normales Gehen im Alltag

- ☐ unbegrenzt ohne Schmerz (5) _____
- ☐ mehr als 2 km möglich (3) _____
- ☐ 1-2 km möglich (2) _____
- ☐ ist unmöglich (0) _____

4.) Treppen steigen

- ☐ keine Schwierigkeit (10) _____
- ☐ leichter Schmerz beim treppab gehen (8) _____
- ☐ Schmerz bei treppab und -auf gehen (5) _____
- ☐ nicht mehr möglich (0) _____

5.) Hocke/tiefe Kniebeuge

- ☐ keine Schwierigkeit (5) _____
- ☐ Schmerz bei wiederholter Bewegung (4) _____
- ☐ Schmerz bei jeder Bewegung (3) _____
- ☐ ist möglich unter Teilbelastung des betroffenen Kniegelenks (2) _____
- ☐ nicht mehr möglich (0) _____

6.) Rennen/Joggen

- ☐ keine Schwierigkeit (10) _____
- ☐ Schmerz bei mehr als 2 km (8) _____
- ☐ bei Beginn ein leichter Schmerz (6) _____
- ☐ bei Beginn starke Schmerzen (3) _____
- ☐ nicht mehr möglich (0) _____

Version 3, 21.04.2016

7.) Springen

- ☐ keine Probleme (10) _____
- ☐ geringe Schwierigkeit (7) _____
- ☐ konstanter Schmerz (2) _____
- ☐ nicht mehr möglich (0) _____

8.) Längeres Sitzen mit gebeugtem Kniegelenk

- ☐ keine Schwierigkeit (10) _____
- ☐ Schmerz nach Übungen (8) _____
- ☐ konstanter Schmerz (6) _____
- ☐ wegen Schmerz muss das Kniegelenk zeitnah gestreckt werden (4) _____
- ☐ nicht mehr möglich (0) _____

9.) Schmerz

- ☐ kein Schmerz (10) _____
- ☐ leicht und gelegentlich (8) _____
- ☐ stört den Schlaf (6) _____
- ☐ gelegentlich starker Schmerz (3) _____
- ☐ konstant starker Schmerz (0) _____

10.) Schwellung

- ☐ keine Schwellung (10) _____
- ☐ nach schweren Anstrengungen (8) _____
- ☐ nach Alltagsaktivitäten (6) _____
- ☐ jeden Abend (4) _____
- ☐ konstant/dauerhaft (0) _____

11.) Abnormale schmerzhafte Bewegung der Kniescheibe

- ☐ niemals (10) _____
- ☐ gelegentlich bei sportlicher Aktivität (6) _____
- ☐ gelegentlich bei Alltagsaktivitäten (4) _____
- ☐ mindestens eine dokumentierte Dislokation der Kniescheibe (2) _____
- ☐ mehr als 2 Dislokationen (0) _____

12.) Muskelabnahme des Oberschenkels

- ☐ keine Muskelabnahme (5) _____
- ☐ leichte Abnahme (3) _____
- ☐ starke Abnahme (0) _____

13.) Defizite bei Kniebeugung

- ☐ keine Defizite (5) _____
- ☐ leichte Defizite (3) _____
- ☐ starke Defizite (0) _____

Gesamtpunktzahl _____

Lysholm- Score

Schätzen Sie bitte den Zustand Ihres Kniegelenkes ein. Tragen Sie die zutreffende Zahl im entsprechenden Feld ein.

Kriterien	Punkte	
Hinken	5	
Kein	5	_____
Leicht oder periodisch	3	_____
Deutlich	0	_____
Hilfsmittel	5	
Ohne	5	_____
Stock oder Gehhilfe	3	_____
Belastung unmöglich	0	_____
Treppensteigen	10	
Keine Probleme	10	_____
Leichte Probleme	6	_____
„Stufe für Stufe“	2	_____
Unmöglich	0	_____
Hocke	5	
Möglich	5	_____
Nicht über 90°	2	_____
Unmöglich	0	_____
Gehen/Laufen/Springen		
A: Instabilität	30	
Niemals	30	_____
Selten bei Belastung	25	_____
Häufig bei Belastung	20	_____
Gelegentlich im Alltag	10	_____
Häufig im Alltag	5	_____
Bei jedem Schritt	0	_____
B: Schmerz	30	
Kein	30	_____
Inkonstant und leicht	25	_____
Bei Extrembelastung	20	_____
Deutlich bei Wegknicken	15	_____
Deutlich bei Belastung	10	_____
Deutlich oder ≥ 2km Gehen	5	_____
Deutlich oder ≤ 2km Gehen	0	_____
C: Schwellung	10	
Keine	10	_____
Bei Wegknicken	7	_____
Bei Extrembelastung	5	_____
Bei Normalbelastung	2	_____
Konstant	0	_____
Oberschenkelatrophie	5	
≤ 1cm	5	_____
1-2 cm	3	_____
Mehr als 2cm	0	_____

Version 3, 21.04.2016

Tegner-Aktivitätsscore

Wählen Sie bitte den Zahlenwert, der den Zustand Ihres Kniegelenkes *am ehesten* zutreffend beschreibt. ☐

Welche Zahl beschreibt am ehesten den Zustand Ihres Kniegelenkes?

☐ **10 Wettkampf- bzw. Leistungssport**

Fußball, nationales oder internationales Niveau

☐ **9 Wettkampfsport**

Fußball, niedrige Ligen, Eishockey, Ringen, Gymnastik

☐ **8 Wettkampfsport**

Squash, Badminton, Leichtathletik (Sprungsportarten), Abfahrtski

☐ **7 Wettkampfsport**

Tennis, Leichtathletik (Laufsportarten), Handball, Basketball, Motorrad

Freizeitsport

Fußball, Eishockey, Squash, Leichtathletik (Sprungsportarten), Orientierungslauf, Crosslauf

☐ **6 Freizeitsport**

Tennis, Badminton, Handball, Basketball, Abfahrtski, Jogging (mind. 5mal wöchentlich)

☐ **5 Arbeit**

Schwere Arbeit (z.B. Bauarbeiter)

Wettkampf- und Freizeitsport

Radfahren, Skilanglauf

Freizeitsport

Jogging auf unebenem Untergrund (mind. 2mal wöchentlich)

☐ **4 Arbeit**

Mittelschwere Arbeit (z.B. Fernfahrer)

Freizeitsport

Radfahren, Skilanglauf, Jogging auf ebenem Untergrund (mind. 2mal wöchentlich)

☐ **3 Arbeit**

Leichte Arbeit (z.B. Krankenschwester)

Wettkampf- und Freizeitsport

Schwimmen

Gehen im Wald möglich

☐ **2 Arbeit**

Leichte Arbeit

Gehen auf unebenem Grund möglich, aber Gehen im Wald unmöglich

☐ **1 Arbeit**

Sitzende Tätigkeit

Gehen auf ebenem Untergrund möglich

☐ **0 Bettlägerigkeit oder Invalidität, Rente wegen Knieproblemen oder**

Sprunggelenksproblemen

Version 3, 21.04.2016

Fragebogen A

Tag des Arztbesuches (Tag/Monat/Jahr): _____

Name des Operateurs:	Wegen welchem Knie erfolgt die heutige Vorstellung?	Der heutige Besuch ist Ihr:
☐ _____	☐ linkes Knie ☐ rechtes Knie ☐ beide Knie	☐ Erster Besuch/ Untersuchung ☐ Tag der Operation ☐ 3 Monate postoperativ ☐ 6 Monate postoperativ ☐ 12 Monate postoperativ ☐ 24 Monate postoperativ

Ist dies ein guter Fragebogen?

0 100
nutzlos hervorragend

Wenn der Schrägstrich in der Mitte der Linie markiert ist, bedeutet dies, dass der Fragebogen von mittelmäßiger Qualität ist, oder anders ausgedrückt, zwischen den beiden Extremen „Nutzlos“ und „Hervorragend“. Es ist wichtig, dass Sie den Strich ganz an das Ende der Linie markieren, wenn diese extreme Beschreibung ihre aktuelle Situation am besten darstellt.

9. Hat Ihre Knieverletzung zu finanziellen Problemen für Sie oder für Ihre Familie geführt?

0 _____ 100
große finanzielle Probleme keine finanzielle Probleme

Abschnitt C: Freizeit / Sport / Aktivität

10. Wie besorgt sind Sie, dass Ihre Freizeit- und/oder Sportaktivitäten Ihre Knieprobleme verschlimmern?

0 _____ 100
äußerst besorgt überhaupt nicht besorgt

11. Müssen Sie bei der Teilnahme an Freizeit- und/oder Sportaktivitäten besonders vorsichtig sein?

(machen Sie Ihre Markierung am äußersten linken Rand, wenn Sie aufgrund Ihres Knies Ihre Freizeit- und oder Sportaktivitäten nicht mehr ausüben können)

0 _____ 100
immer sehr vorsichtig nicht vorsichtig

12. Wieviel Angst haben sie davor, dass ihre Kniescheibe während einer Freizeit und/oder Sportaktivität „herausspringt“?

(machen Sie Ihre Markierung am äußersten linken Rand, wenn Sie aufgrund Ihres Knies Ihre Freizeit- und oder Sportaktivitäten nicht mehr ausüben können)

0 _____ 100
Sehr starke Angst überhaupt keine Angst

13. Wie stark fühlen Sie sich beeinträchtigt, wenn Sie auf unebenen Boden, feuchten Oberflächen oder auf Eis gehen?

0 _____ 100
stark beeinträchtigt überhaupt nicht beeinträchtigt

14. Können Sie bei Ihren Freizeit- und/oder Sportaktivitäten Ihre volle Leistung abrufen?

(machen Sie Ihre Markierung am äußersten linken Rand wenn Sie aufgrund Ihres Knies ihre Freizeit- und oder Sportaktivitäten nicht mehr ausüben können)

0 _____ 100
nicht möglich vollständig möglich

Sektion D: Lebensführung

15. Wie beunruhigt sind Sie in Bezug auf die Sicherheit generell bei allgemeinen Alltagsaktivitäten? Zum Beispiel: Treppen steigen, Autofahren, Baby tragen, usw.

0 _____ 100
sehr beunruhigt überhaupt nicht beunruhigt

11.3. Nachbehandlungsschema

Nachbehandlung Kniescheibenbandapparat (MPFL)

	Phase I (0 - 7. Tag)	Phase II (2. - 6. Woche)	Phase III (Ab der 7. Woche)
Bewegungsumfang	Ext./Flex. 0-0-0° nach Redonzug frei	frei	frei
Orthesenversorgung	keine	keine	keine
Belastungsaufbau	schmerzadaptierte Vollbelastung an UAG	Vollbelastung ohne UAG	Vollbelastung
Physiotherapie	- isometrische Kräftigung des Quadriceps - Lymphdrainage - Elektrotherapie - Gangschule an UAG - Erarbeiten der vollen Kniestreckung (bis 0°) - propriozeptives Training - Instruktion zur selbstständigen Beübung	siehe Phase I - Aktive Flex./Ext. in geschlossener Muskelkette - Fahrradergometer gegen leichten Widerstand - BGM Techniken - Manuelle Therapie	- Training in offener Muskelkette (Kniebeugen, Ausfallschritte, etc.) - dynamisches Krafttraining mit steigender Belastung
Wiederaufnahme von Joggen nach der 10. postoperativen Woche möglich (je nach Muskelkraft) Wiederaufnahme sportspezifischer Belastung frühestens nach 3 Monaten bei - subjektiver Stabilität des Kniegelenkes - ausreichender Muskelkraft (> 85% der Gegenseite) - sicherer Koordination und Schmerzfreiheit Kontaktsportarten erst nach 5-6 Monaten.			

Erstellt in freundlicher Kooperation mit den ärztlichen Kollegen der UCH
 Univ.-Prof. Dr. med. M. Krause
 Priv.-Doz. Dr. med. J. Frings
 Priv.-Doz. Dr. med. M. T. Berninger

Version	Änderungen gegenüber der letzten Fassung:
03	Routineüberarbeitung und Anpassung an die neue SOP-Vorlage
04	Routineüberarbeitung und inhaltliche Abstimmung mit den ärztlichen Kollegen der Unfallchirurgie

11.4. Amendment des Beschlusses der Ethik-Kommission

Arztekammer Hamburg | Postfach 75 01 09 | 22051 Hamburg

Herrn
Dr. med. Jannik Frings
Zentrum für Operative Medizin
Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand- und
Wiederherstellungschirurgie
Universitätsklinikum Hamburg -Eppendorf
Martinistraße 52
20246 Hamburg



29.10.2021
BW

Bearb.-Nr.: PV5788-4090 (Bitte stets angeben!)
Vorgangsnummer: PV5788-4090_1
Studientitel: Vergleich klinischer Ergebnisse nach der Versorgung von Rupturen des medialen patellofemorale Ligament (MPFL) durch Transplantation körpereigener Sehnen vs. artifiziellen Transplantaten (FiberTape)
Revid. Unterlagen: Fragenkatalog V3.0 vom 05.10.2021, Prüfplan ohne Versionsnummer oder Datum sowie Patienteninformation und Einwilligung Version V3.0 vom 05.10.2021

Sehr geehrter Herr Dr. Frings,

den Eingang Ihrer Schreiben vom 13.10.2021 (eingegangen am 20.10.2021) mit den darin erwähnten Anlagen bestätigen wir.

Die Ethik-Kommission hat die eingereichten Unterlagen geprüft und erhebt keine Einwände gegen eine Fortführung der Studie. Das bereits mitgeteilte positive Beratungsergebnis bleibt hiervon unberührt.

Mit freundlichen Grüßen
im Auftrag der Ethik-Kommission

Dr. phil. Christina Samstad
Komm. Geschäftsstellenleitung

Björne Wiechmann
Projektmanagement

Deutsche Apotheker- und Ärztekammer
IBAN: DE71 3006 0601 0001 3461 13, BIC: DAAEDEDXXX

Weidestraße 122 b • 22083 Hamburg
Telefon 040/202299-240 • Fax 040/202299-410
ethik@aekeh.de • www.aerztekammer-hamburg.de

Seite 1 von 1

12. Erklärung des Eigenanteils gemäß § 7 Abs. 3 Promotionsordnung

Die in der Dissertation dargestellten Arbeiten wurden in allen wesentlichen Teilen eigenständig von mir durchgeführt.

Die Eigenleistung umfasst im Einzelnen:

- Einschluss eines Teils der Patient:innen und die damit verbundene präoperative Untersuchung und Datenerhebung
- Planung und Organisation der Nachuntersuchungen der Patientinnen und Patienten
- eigenständige Erhebung und Zusammenführung der Daten aus Nachuntersuchungen, validierten Fragebögen sowie Bildauswertungen
- Aufbereitung, statistische Analyse und Auswertung der erhobenen Daten. Hierbei erfolgte eine punktuelle methodische Beratung, die Durchführung der Auswertungen wurde jedoch selbstständig vorgenommen
- Erstellung sämtlicher Tabellen, Abbildungen und Grafiken
- Interpretation der Ergebnisse und Einordnung in den wissenschaftlichen Kontext
- vollständige Abfassung des Manuskripts.

Die eingesetzten Fragebögen lagen in validierter Form bereits vor. Auf diese Instrumente wurde zurückgegriffen. Alle weiteren Arbeitsschritte, einschließlich der Datenerhebung, Datenaufbereitung, Analyse, grafischen Darstellung und schriftlichen Ausarbeitung, wurden ausschließlich und eigenständig von mir erbracht.

13. Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe, insbesondere ohne entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- und Beratungsdiensten, verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe. Das gilt insbesondere auch für alle Informationen aus Internetquellen.

Soweit beim Verfassen der Dissertation KI-basierte Tools („Chatbots“) verwendet wurden, versichere ich ausdrücklich, den daraus generierten Anteil deutlich kenntlich gemacht zu haben. Die „Stellungnahme des Präsidiums der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) zum Einfluss generativer Modelle für die Text- und Bilderstellung auf die Wissenschaften und das Förderhandeln der DFG“ aus September 2023 wurde dabei beachtet.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Datum

Unterschrift

14. Danksagung

Ich bedanke mich herzlich bei PD Dr. Jannik Frings für die langjährige und engagierte Betreuung sowie sorgfältige Durchsicht meiner Arbeit und besonders die Überlassung des interessanten Promotionsthemas.

Ich möchte mich weiter bei Herrn Prof. Dr. Karl-Heinz Frosch für die Möglichkeit bedanken, meine Dissertation am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf durchführen zu können.

Des Weiteren gilt ein besonderer Dank allen Probanden und Probandinnen, welche an der Studie teilgenommen haben und somit meine damit verbundene Promotion erst ermöglichten.

Herzlich bedanken möchte ich mich außerdem bei Dr. rer. nat. Philipp Allgeuer, welcher mir nicht nur allzeit und geduldig mit Rat und Motivation zur Seite stand, sondern mich auch mit seiner statistischen Expertise bei der Auswertung der anonymisierten Daten unterstützt hat.