

**Aus der Orthopädischen Klinik und Poliklinik**

**König-Ludwig Haus**

**Lehrstuhl für Orthopädie der Universität Würzburg**

**Direktor: Professor Dr. med. M. Rudert**

**Untersuchung der postoperativen Ergebnisse nach Rekonstruktion des  
medialen-patellofemorales Ligamentes (MPFL) nach 5 Jahren**

**Inauguraldissertation**

**zur Erlangung der Doktorwürde der**

**Medizinischen Fakultät**

**der**

**Julius-Maximilians-Universität Würzburg**

**vorgelegt von**

Anna Gurok

**aus** Paderborn

**Würzburg, Dezember 2020**

**Referent bzw. Referentin:** Univ.-Prof. Dr. med. Maximilian Rudert

**Korreferent bzw. Korreferentin:** Priv.-Doz. Dr. med. Stefanie Hölscher-Doht

**Dekan:** Univ.-Prof. Dr. Matthias Frosch

**Tag der mündlichen Prüfung:** 11.06.2021

**Die Promovendin ist Ärztin.**

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
1.1	Anatomie.....	1
1.1.1	Das patellofemorale Gelenk .....	1
1.1.2	Das mediale patellofemorale Ligament (MPFL) .....	3
1.2	Die Patella-Luxation.....	4
1.2.1	Epidemiologie der Patellaluxation.....	4
1.2.2	Klassifikation.....	5
1.2.3	Die traumatische Patellaluxation .....	6
1.2.4	Habituelle Patellaluxation .....	6
1.2.5	Patellainstabilität.....	6
1.2.6	Risikofaktoren .....	7
1.2.7	Folgen der Patellaluxation .....	12
1.3	Behandlung der Patella-Instabilität .....	13
1.3.1	Konservativ .....	13
1.3.2	Operativ .....	15
1.4	Operationsmethode .....	16
1.5	Fragestellung .....	19
2	Material und Methoden .....	21
2.1	Studienpopulation .....	21
2.2	Patientencharakteristika.....	21
2.2.1	Epidemiologie .....	21
2.2.2	Risikofaktoren .....	21
2.2.3	Ätiologie der Erstluxation .....	22
2.2.4	Anzahl der präoperativen Luxationen .....	22
2.2.5	Voroperationen .....	22
2.2.6	Knorpelschäden und Begleitverletzungen .....	22
2.2.7	Epiphysenfugen .....	23
2.3	Postoperative Ergebnisse .....	23
2.3.1	Reluxationen.....	23
2.3.2	Postoperative Komplikationen .....	23
2.3.3	Platzierung der femoralen Insertion.....	23

## Einleitung

2.4	Klinische Daten .....	23
2.4.1	Körperliche Untersuchung .....	23
2.4.2	Fragebögen .....	24
2.4.3	Kujala Anterior Knee Pain Scale (KAKPS) .....	24
2.4.4	Lysholm-Score .....	24
2.4.5	Tegner Activity Scale .....	25
2.5	Statistische Methoden.....	25
3	Ergebnisse .....	27
3.1	Studienpopulation .....	27
3.2	Patientencharakteristika.....	29
3.2.1	Epidemiologie .....	29
3.2.2	Risikofaktoren .....	29
3.2.3	Ätiologie der Erstluxation .....	31
3.2.4	Anzahl der präoperativen Luxationen .....	31
3.2.5	Voroperationen .....	31
3.2.6	Knorpelschäden und Begleitverletzungen .....	32
3.2.7	Wachstumsfugen .....	33
3.3	Postoperative Ergebnisse .....	33
3.3.1	Reluxationen.....	33
3.3.2	Postoperative Komplikationen .....	35
3.3.3	Beurteilung der femoralen Insertion.....	35
3.4	Klinische Daten .....	36
3.4.1	Körperliche Untersuchung .....	36
3.4.2	Fragebögen .....	39
3.4.3	Kujala Anterior Knee Pain Scale.....	39
3.4.4	Lysholm-Score .....	40
3.4.5	Tegner Aktivitätsskala.....	42
4	Diskussion.....	45
4.1	Zusammenfassung der Ergebnisse im wissenschaftlichen Kontext ...	45
4.2	Patientencharakteristika.....	45
4.3	Postoperative Ergebnisse .....	46
4.3.1	Reluxationsrate.....	46

## Einleitung

4.3.2	Platzierung der femoralen Insertion.....	49
4.4	Klinische Daten .....	50
4.4.1	Körperliche Untersuchung .....	50
4.4.2	Fragebögen .....	51
4.5	Differenzierte Indikationsstellung zum MPFL-Ersatz bei patellofemoraler Instabilität.....	55
4.6	Einschränkungen der Studie.....	57
4.7	Schlussfolgerung .....	58
5	Zusammenfassung.....	61
6	Anhang.....	63
6.1	Abkürzungsverzeichnis .....	63
6.2	Erhebungsbogen.....	64
6.3	Fragebögen.....	66
6.3.1	Kujala Anterior Knee Pain Scale.....	66
6.3.2	Lysholm-Score.....	71
6.3.3	Tegner activity scale .....	73
7	Literaturverzeichnis .....	76
8	Abbildungsverzeichnis .....	85
9	Tabellenverzeichnis .....	86
10	Danksagung.....	
11	Lebenslauf.....	

## Einleitung

# 1 Einleitung

## 1.1 Anatomie

### 1.1.1 Das patellofemorale Gelenk

Im Kniegelenk artikulieren drei Knochen miteinander: Oberschenkelknochen (Femur), Schienbein (Tibia) und Kniescheibe (Patella). Die Kondylen von Femur und das außenseitige (laterale) und innenseitige (mediale) Tibiaplateau bilden das Femorotibialgelenk. Die Trochlea des Femurs und die Rückseite der Patella (Facies articularis) bilden das Femoropatellargelenk. Beide Teilgelenke werden von einer gemeinsamen Gelenkkapsel umgeben. Das Kniegelenk wird von den Kreuzbändern und den Kollateralbändern an der medialen und lateralen Außenseite des Kniegelenks stabilisiert. Der mediale und der laterale Meniskus vergrößern die Kontaktfläche des Femorotibialgelenks (Benninghoff 2008, Waschke 2015).

Die Patella ist das größte Sesambein im menschlichen Körper und dient als Hypomochlion der Sehne des Musculus quadriceps femoris, in die sie eingelagert ist. Von ihrem unteren Pol, dem Apex patellae, ziehen die Sehnenfasern als Ligamentum patellae zur Tuberositas tibiae. Die domförmige Rückfläche der Patella ist von hyalinem Knorpel bedeckt. Dieser ist mit 4-5 mm die dickste Knorpelschicht im menschlichen Körper. Ein längs verlaufender First teilt sie in eine große laterale und eine kleinere mediale Facette. Mit dieser Fläche gleitet die Kniescheibe in der Trochlea femoris, dem nach vorderseitig (ventral) zeigenden Anteil des körperfernen (distalen) Femurs. Die Trochlea bildet eine Rinne (Sulcus), der von Gelenknorpel überzogen ist (Benninghoff 2008, Waschke 2015). Physiologisch beträgt der Winkel der Trochlea im Transversalschnitt  $120^{\circ}$ - $140^{\circ}$  (Aglietti, Insall et al. 1983, Benninghoff 2008). Beim Kniegelenk handelt es sich um ein Drehscharniergelenk. Der physiologische Bewegungsumfang beträgt  $5^{\circ}$  in die Extension und  $140^{\circ}$  ( $120^{\circ}$ - $150^{\circ}$ ) in die Flexion. Zum Ende der Streckung erfolgt durch die Spannung des vorderen Kreuzbands eine Außenrotation von etwa  $5^{\circ}$ - $10^{\circ}$  (Schlussrotation). Die Rotation ist ansonsten nur in Beugstellung etwa  $30^{\circ}$  nach außen und  $10^{\circ}$  nach innen möglich (Benninghoff 2008, Waschke 2015).

## Einleitung

Das patellofemorale Gelenk wird je nach Gelenkstellung von den statischen, den passiven und den aktiven Stabilisatoren stabilisiert (Abbildung 1). Sie wirken dynamisch zusammen. Benninghoff et al. beschreiben, dass die Patella in Streckstellung auf dem Recessus suprapatellaris liegt und das Femur nur mit ihrem unteren Gelenkrand berührt (Benninghoff 2008). In dieser Position wird die Kniescheibe vor allem von den passiven Stabilisatoren gehalten. Diese sind Bandstrukturen, von denen dem medialen patellofemorale Ligament (MPFL) die größte Bedeutung für die Stabilisierung beigemessen wird (Desio, Burks et al. 1998, Amis, Firer et al. 2003).

Mit zunehmender Beugung gleitet die Patella in der Trochlea nach distal. Dabei nimmt sowohl der Anpressdruck als auch die Kontaktfläche zwischen beiden Gelenkpartnern zu (Huberti and Hayes 1984, Huberti, Hayes et al. 1984). Die Bedeutung der statischen Stabilisatoren, zu denen vor allem die Trochlea femoris und das Zusammenspiel mit der Patellarrückfläche gezählt werden, für die Stabilisation steigt deshalb mit zunehmender Flexion (Herbort 2017). Zwischen 60° und 120° Flexion nimmt der Anpressdruck der Patella auf das Femur wieder ab (Ramappa, Apreleva et al. 2006, Schöttle 2015).

Die aktive Stabilisation bezeichnet die muskuläre Führung der Kniescheibe und wird durch Muskelkraft und Zugrichtung des Musculus quadriceps femoris bestimmt (Herbort 2017). Der Musculus vastus medialis wirkt durch medialen Zug ab einer Beugung von 60° einer Luxation der Kniescheibe nach lateral entgegen (Benninghoff 2008, Schmeling 2010, Schöttle 2015).

## Einleitung

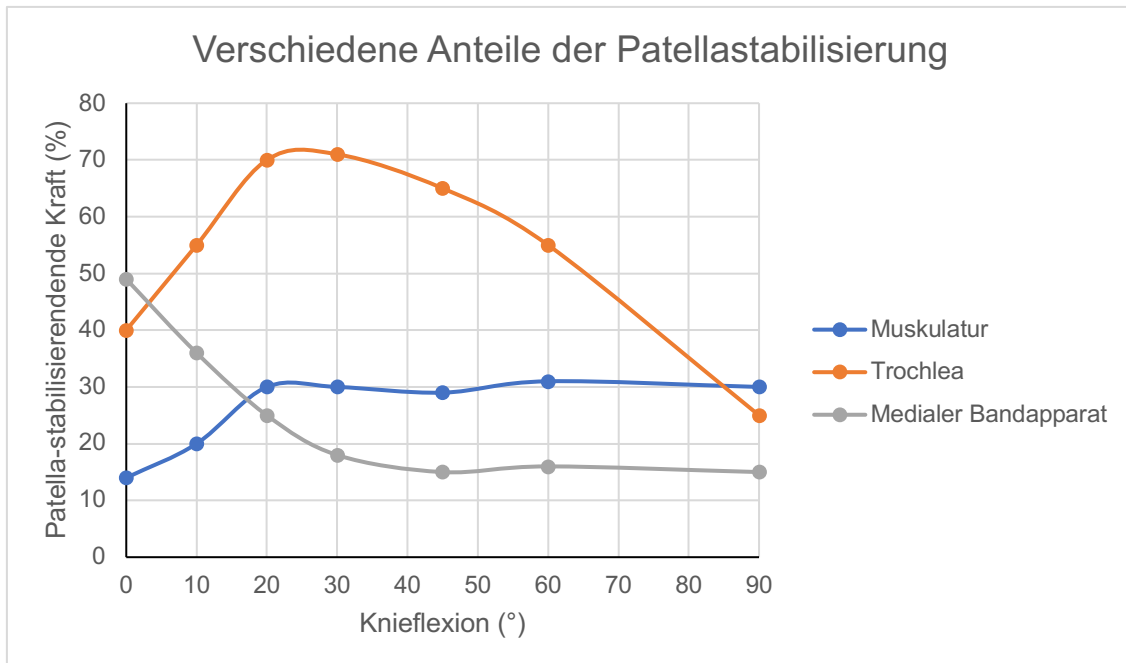


Abbildung 1: Verschiedene Anteile ligamentärer, knöcherner und muskulärer Patellastabilisierung, Abbildung mit freundlicher Genehmigung der AGA aus „Die Therapie der instabilen Patella“ des AGA Komitee-Knie-Patellofemorale, erstellt nach Senavongse und Amis (Senavongse and Amis 2005).

### 1.1.2 Das mediale patellofemorale Ligament (MPFL)

Das MPFL ist der wichtigste passive Stabilisator gegen nach lateral gerichtete Kräfte und trägt vor allem strecknah zur Stabilisierung der Patella bei (Amis, Firer et al. 2003). Für die erfolgreiche Rekonstruktion zur Stabilisierung der Knie- und Patella ist die genaue Kenntnis der Anatomie essentiell.

Das MPFL ist Teil des medialen patellofemorale Kapsel-Band-Komplexes des Kniegelenks. Dieser kann anatomisch in drei Schichten unterteilt werden: die erste besteht aus dem oberflächlichen medialen Retinakulum und der tiefen Faszie des Musculus sartorius, die zweite enthält das mediale patellofemorale Ligament sowie oberflächliche Anteile des medialen Kollateralbands und die dritte die Gelenkkapsel, tiefe Anteile des medialen Kollateralbands und das Ligamentum patellomeniscale (Warren, Marshall et al. 1974, De Maeseneer, Van Roy et al. 2000, Schmeling 2010).

Die Anatomie wurde in vielen verschiedenen Kadaverstudien untersucht. Das MPFL verläuft laut Philippot et alii (et al.) mit einer Länge von 57,7 +/- 5,8 mm vom medialen Femurkondylus zur oberen Hälfte des medialen Patellarands (Philippot, Chouteau et al. 2009). Es steht über Fasern mit dem patellaren Ende der Quadrizepssehne (Philippot, Chouteau et al. 2009, Herbort 2017), der



## Einleitung

Aponeurose des Musculus vastus intermedius und dem unteren Abschnitt des medialen Patellarands in Verbindung (Steensen, Dopirak et al. 2004). Für die genaue femorale Insertionsstelle gibt es in der aktuellen Literatur unterschiedliche Angaben, sie befindet sich laut Nomura et al. superoposterior der medialen Femurkondyle, distal des Tuberculum adductorium (Nomura, Inoue et al. 2005). Zu dem gleichen Ergebnis kommen Baldwin et al. in ihrer Studie (Baldwin 2009). Tuxoe et al. sowie Conlan et al. beschreiben sie am Tuberculum adductorium, gemeinsam mit dem medialen Kollateralband und dem Musculus adductor magnus (Conlan, Garth et al. 1993, Tuxoe, Teir et al. 2002). Desio et al. geben Verbindungen sowohl zum Tuberculum adductorium, zur femoralen Epikondyle als auch zum oberflächlichen medialen Kollateralband an (Desio, Burks et al. 1998). Die Breite des MPFLs nimmt von 14 - 40 mm nahe der Patella zur femoralen Insertionsstelle hin auf etwa 6 - 20 mm ab (Steensen, Dopirak et al. 2004, Baldwin 2009, Philippot, Chouteau et al. 2009). In der Studie von Nomura et al. war das MPFL im Schnitt 0,44 mm dick (Nomura, Inoue et al. 2005).

### 1.2 Die Patella-Luxation

#### 1.2.1 Epidemiologie der Patellaluxation

Die Verrenkung (Luxation) der Kniescheibe (Patella) stellt eine häufige Form der Kniegelenksverletzung dar. Die Inzidenz der Erstluxation liegt zwischen 5,8 und 23,2 pro 100 000 Patientenjahren (Fithian, Paxton et al. 2004, Sanders, Pareek et al. 2018). Das höchste Risiko haben Patienten<sup>1</sup> zwischen 14 und 18 Jahren. Nach den Ergebnissen von Sanders et al. gibt es keinen Unterschied zwischen der jährlichen Inzidenz bei Männern und Frauen. Es wird jedoch hervorgehoben, dass das Risiko für eine Patellaluxation bei Frauen schon im Alter zwischen 14 und 18, bei Männern erst zwischen 19 und 25 Jahren wieder signifikant abnimmt (Sanders, Pareek et al. 2018).

Etwa 61% der Erstluxationen geschehen beim Sport (Fithian, Paxton et al. 2004). Meist führt eine Verdrehung des gebeugten Kniegelenks in Valgusstellung bei angespanntem Musculus quadriceps zu einer Luxation. In der Regel sind dabei die Hüfte innenrotiert und die Tibia außenrotiert. Rezidivierende habituelle

---

<sup>1</sup> Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im gesamten Dokument auf die Nennung der weiblichen Form oder genderneutralen Bezeichnungen verzichtet.

## Einleitung

Luxationen treten bei prädisponierten Patienten oft schon unter geringer Belastung bei Bagatellbewegungen auf (Becher 2015).

Nach einer Patellaluxation besteht ein erhöhtes Risiko für eine erneute Luxation (Fithian, Paxton et al. 2004). Außerdem erhöht eine Verrenkung der Patella das Risiko für eine Arthrose im patellofemorale Gelenk (Sanders, Pareek et al. 2017). Deshalb ist eine erfolgreiche Therapie wichtig, um das Auftreten weiterer Luxationen zu reduzieren. Diverse operative und konservative Therapiealgorithmen werden diskutiert. Die anatomische Rekonstruktion des medialen patellofemorale Ligaments (MPFL), das nach einer MRT-Studie von Balcarek et al. in 98,6% der Fälle nach einer Patellaluxation verletzt ist (Balcarek, Ammon et al. 2010), ist eine vielversprechende Option mit guten mittelfristigen Ergebnissen (Schottle, Fucentese et al. 2005, Herbort 2017).

### 1.2.2 Klassifikation

Bei der Patellaluxation handelt es sich fast immer um eine Verrenkung der Kniescheibe aus der femoralen Gleitrinne nach lateral. Mediale Luxationen stellen eine Seltenheit dar und treten zum Beispiel postoperativ nach einer Durchtrennung (Release) des lateralen Retinakulums auf (Miller, Klein et al. 1991). Die Klassifikation der Patellaluxation erfolgt nach Ursache und Häufigkeit und ist bislang noch nicht einheitlich definiert. Eine angeborene Patellaluxation tritt meist im Rahmen einer generalisierten Grunderkrankung auf und wird als kongenital beschrieben (Strobl and Grill 1998, Sever, Fishkin et al. 2017). Neurogene Luxationen der Patella kommen im Rahmen von neuromuskulären Erkrankungen bei unphysiologischem Zug des Musculus quadriceps auf die Kniescheibe vor (Oestern, Varoga et al. 2011). Tritt eine Patellaluxation nach direkter Krafteinwirkung auf die Kniescheibe auf, bezeichnet man sie als traumatisch. Eine habituelle Patellaluxation tritt aufgrund einer unzureichenden Führung und Stabilisierung der Patella auf. In diesem Fall liegen häufig anatomische Risikofaktoren für eine Luxation vor. Die habituellen Patellaluxationen stellen die häufigste Ätiologie dar. Da auch diese Luxationen oft unter sportlicher Belastung auftreten, kann eine Differenzierung von habituellen und traumatischen Luxationen im Einzelfall schwierig sein (Wirth 2011).

## Einleitung

### 1.2.3 Die traumatische Patellaluxation

Rein traumatische Verrenkungen sind selten, meistens liegen auch bei diesen Patienten mehr oder weniger ausgeprägte Risikofaktoren vor (Frings J 2017). Traumatische Kniescheibenluxationen gehen in der Regel mit einem blutigen Gelenkerguss (Hämarthros) einher (Sillanpaa, Mattila et al. 2008). Neben einer Ruptur des medialen Retinakulums und des MPFLs kommt es bei einer traumatischen Kniescheibenluxation häufiger als bei habituellen Luxationen zu Absprengungen von chondralen oder osteochondralen Fragmenten an der medialen Patellafacette oder der lateralen Femurkondyle, sogenannten flake fractures (Oestern, Varoga et al. 2011).

### 1.2.4 Habituelle Patellaluxation

Von der habituellen Patellaluxation sind in der Regel Kinder und Jugendliche betroffen. Die Verletzung tritt meist unter sportlicher Belastung, aber ohne adäquates Trauma auf. Die Reposition erfolgt oft spontan durch Streckung des Kniegelenks durch den Patienten. Zugrunde liegt der habituellen Luxation eine multifaktorielle Prädisposition (Strobl and Grill 1998).

### 1.2.5 Patellainstabilität

Als Patellainstabilität bezeichnet man die vermehrte mediolaterale Beweglichkeit der Patella bei Beugung oder Streckung des Kniegelenks. Die Ursachen sind vielfältig, da die Stabilität der Kniescheibe wie oben beschrieben von verschiedenen Strukturen bestimmt wird, zwischen denen ein komplexes Zusammenspiel besteht. Je nach Ätiologie kommt es zur Instabilität in unterschiedlichen Beugepositionen des Kniegelenks.

Die Form der Patella und Tiefe der Trochlea beeinflussen die Führung der Kniescheibe im Gleitlager (Wirth 2011). Bei gebeugtem Kniegelenk verhindert vor allem die laterale Femurkondyle eine Luxation der Kniescheibe nach lateral (Feller, Amis et al. 2007), in Streckung das MPFL (Conlan, Garth et al. 1993, Desio, Burks et al. 1998, Amis, Firer et al. 2003). Ein unausgewogener Zug der Muskulatur (muskuläre Dysbalance) an der Kniescheibe begünstigt eine Instabilität der Patella (Strobl and Grill 1998).

Nach einer Patellaluxation, habitueller oder traumatischer Ursache, kann eine Ruptur des medialen Retinakulums und des MPFLs zu einer Insuffizienz des

## Einleitung

medialen Kapselbandapparats mit resultierender Instabilität führen. Die Instabilität der Patella kann sich je nach Ausprägung als Knieschmerz, aber auch in Form von Subluxationen, rezidivierenden Luxationen oder als chronische Luxation äußern (Strobl and Grill 1998).

### 1.2.6 Risikofaktoren

#### 1.2.6.1 *Trochleadysplasie*

Bei einer Dysplasie der Trochlea ist diese medialisiert und abgeflacht. Die Kennzeichen einer Trochleadysplasie im Röntgen wurden 1994 durch Henri Dejour beschrieben (Abbildung 2). Diese sind das Crossing-Sign, ein trochlearer Bump oder eine verringerte Trochleatiefe (Dejour, Walch et al. 1994). Das Crossing-Sign ist positiv, wenn im streng seitlichen Röntgenbild die Linie des Trochleagrundes die Kontur der lateralen Femurkondyle schneidet. Das bedeutet, dass an dieser Stelle ein Sulcus trochlae fehlt und eine Erhebung der Trochlea über die Femurkondyle vorliegt (Dejour, Walch et al. 1994, Schmeling 2010). Der trochleare Bump bezeichnet den Abstand der Tangente, die an der vorderen Femurkortikalis anliegt, zum Grund der Trochlea. Pathologisch sind Werte größer als 3 mm (Dejour, Walch et al. 1994). Die Trochleatiefe untersucht H. Dejour ebenfalls im streng seitlichen Röntgenbild und misst den Abstand der Femurkondyle zur Trochlea an einem Punkt, der 15° distal einer senkrecht zu der Tangente der posterioren Femurkortikalis stehenden Linie steht (Galland, Walch et al. 1990, Dejour, Walch et al. 1994).

David Dejour beschreibt zwei weitere Zeichen der Dysplasie im seitlichen Röntgenbild (Abbildung 2): der supratrochleare Sporn („spur“), ein Vorsprung der Trochlea, und das Doppelkonturzeichen als Zeichen der Hypoplasie der medialen Facette (Dejour and Saggin 2010). Er unterteilt mithilfe von Röntgen- und MRT-Bildgebung vier Typen der Dysplasie (Abbildung 4): Typ A ist gekennzeichnet durch eine abgeflachte, aber konkave Trochlea mit einem Sulcuswinkel größer als 145°, erkennbar am Crossing-Sign im seitlichen Röntgenbild. Bei Typ B ist die Trochlea abgeflacht oder konvex, im Röntgen zeigt sich das Crossing-Sign und ein supratrochlearer Vorsprung. Bei Typ C besteht eine Konvexität der lateralen Trochleafacette und eine Hypoplasie der medialen Facette, erkennbar am Doppelkonturzeichen. Außerdem findet sich das

## Einleitung

Crossing-Sign und kein supratrochlearer Sporn in der Bildgebung. Typ D vereint alle genannten Zeichen der Dysplasie (Crossing-Sign, Doppelkontur-Zeichen, supratrochlearer „spur“), zudem besteht die „Cliff“-Form, eine asymmetrische Erhöhung einer Facette im axialen Bild (Dejour and Saggin 2010).

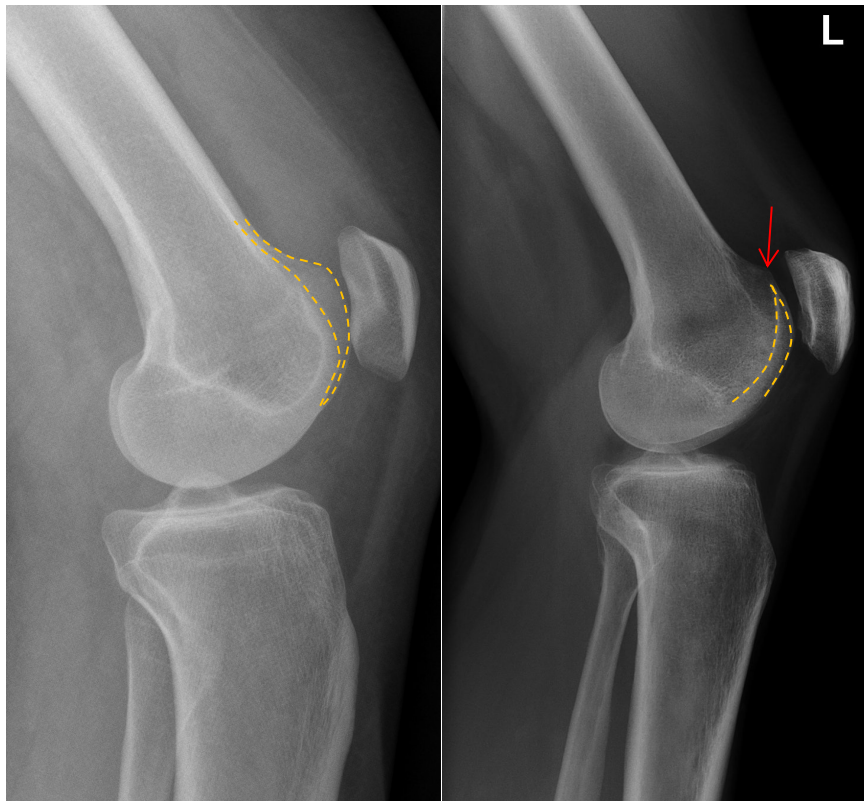


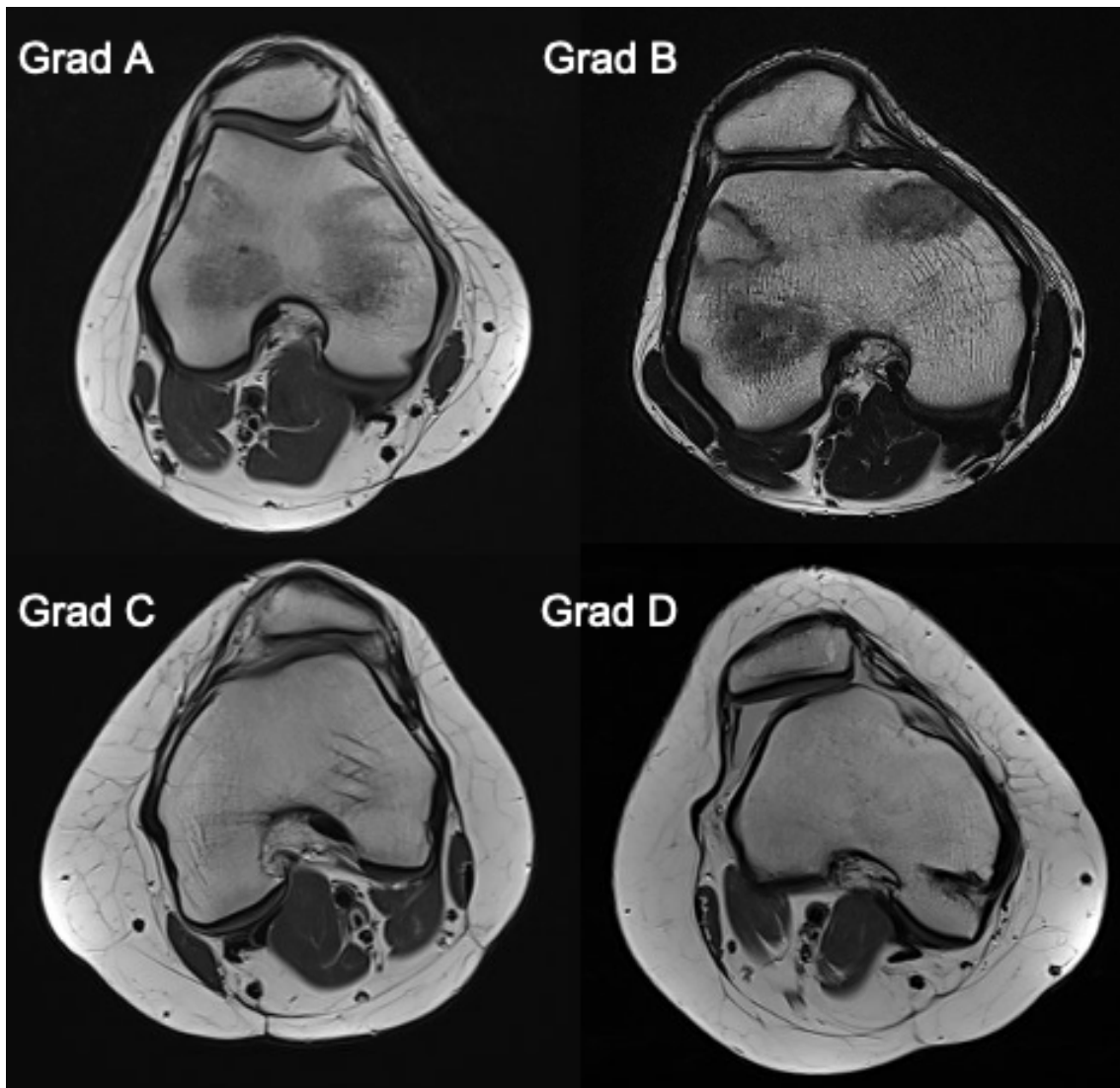
Abbildung 2: Zeichen der Trochleadysplasie im Röntgen: 1: Doppelkontur, 2: Crossing-Sign (gelb) und supratrochlear „spur“ (roter Pfeil)

Radiologisches Bildmaterial mit freundlicher Genehmigung aus der orthopädischen Klinik König-Ludwig-Haus



Abbildung 3: Trochleadysplasie Typ D mit Cliff-Form

Radiologisches Bildmaterial mit freundlicher Genehmigung aus der orthopädischen Klinik König-Ludwig-Haus



*Abbildung 4: Beispiele für die Einteilung der Trochleadysplasien nach Dejour im MRT*

*Radiologisches Bildmaterial mit freundlicher Genehmigung aus der orthopädischen Klinik König-Ludwig-Haus*

### 1.2.6.2 Sulcuswinkel

„Der Sulcuswinkel beschreibt den Winkel zwischen medialer und lateraler Trochleawand“ (Seitlinger 2015). Ein Winkel größer als  $145^\circ$  ist als pathologisch anzusehen und ein Zeichen für eine Dysplasie der Trochlea (Abbildung 5).

## Einleitung

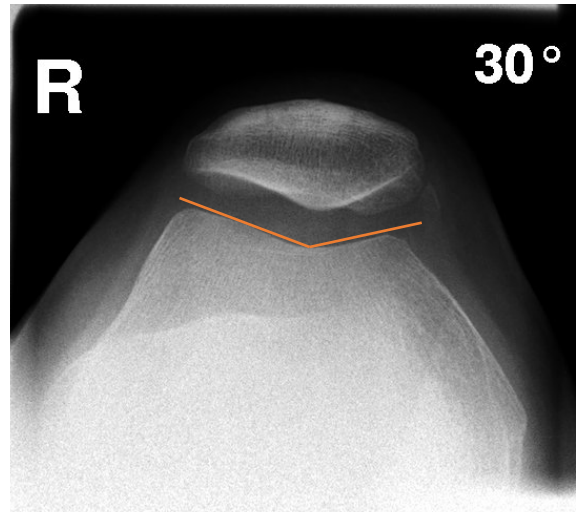


Abbildung 5: Tangentiale Röntgenaufnahme eines Kniegelenks bei 30° Flexion mit vergrößertem Sulcuswinkel

Radiologisches Bildmaterial mit freundlicher Genehmigung aus der orthopädischen Klinik König-Ludwig-Haus

### 1.2.6.3 Patella alta

Ein weiterer Risikofaktor der Patellainstabilität ist die sogenannte Patella alta (Dejour, Walch et al. 1994, Atkin, Fithian et al. 2000). Zur Quantifizierung des Hochstandes kann die Methode nach Caton-Deschamps verwendet werden. Dafür wird der Quotient aus dem Abstand zwischen der distalen patellaren und der anterioren tibialen Gelenkfläche und der Länge der retropatellaren Gelenkfläche gebildet (Abbildung 6). Bei einer Patella alta ergibt dieses Verhältnis einen Wert größer als 1,2 (Caton and Dejour 2010), bei einem Wert kleiner als 0,6 spricht man von einer Patella baja (Seitlinger 2015).

## Einleitung

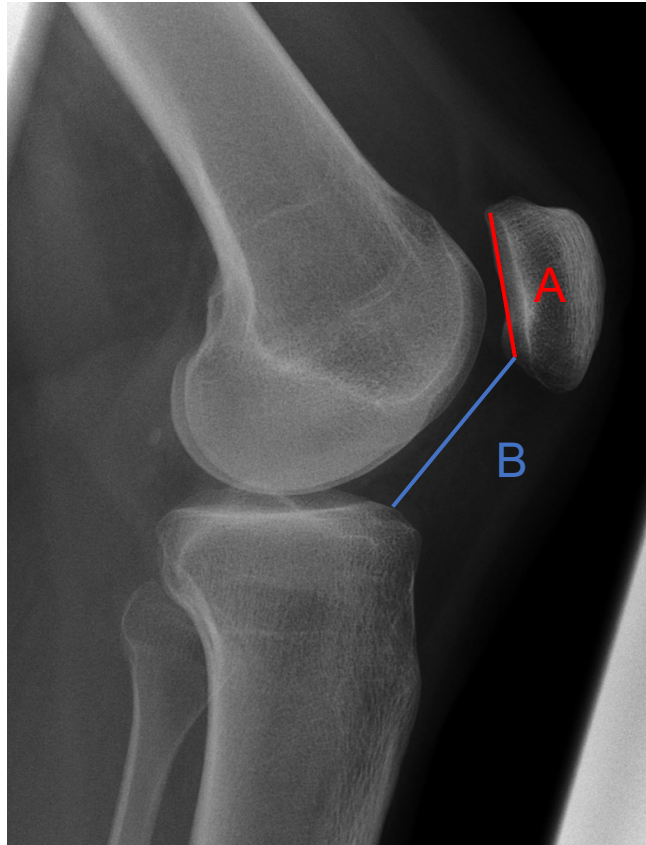


Abbildung 6: Bestimmung des Caton-Deschamps-Index:  $CDI = B/A$

Radiologisches Bildmaterial mit freundlicher Genehmigung aus der orthopädischen Klinik König-Ludwig-Haus

### 1.2.6.4 TT-TG- und TT-PCL-Abstand

Weitere Methoden zur Bestimmung des Risikos für eine habituelle Patellaluxation sind die Bestimmung des Tuberositas-Tibiae-Trochlea-Groove-Abstands (TT-TG-Abstand) und des Tuberositas-Tibiae-Posterior-Cruciate-Ligament-Abstands (TT-PCL-Abstand). Der TT-TG-Abstand misst die Distanz zwischen der Tuberositas tibiae und dem tiefsten Punkt des Sulcus trochleae parallel zur dorsalen Kondylenlinie des Femurs. Als pathologisch wird ein TT-TG-Abstand ab 20 mm angesehen (Seitlinger 2015).

Der Q-Winkel bezeichnet den Winkel zwischen der Zugrichtung des Musculus quadriceps femoris und der Zugrichtung der Patellarsehne. Eine Valgusfehlstellung im Kniegelenk, eine vermehrte Innenrotation des Femurs und eine Trochleadyplasie führen zu einer Medialisierung der Trochlea, während eine vermehrte Außenrotation der Tibia eine Lateralisierung der Tuberositas tibiae zur Folge hat (Schmeling 2010). Diese Faktoren bedingen einen vergrößerten Q-



## Einleitung

Winkel, und manifestieren sich im MRT oder CT durch einen vergrößerten TT-TG-Abstand (Aglietti, Insall et al. 1983, Dejour, Walch et al. 1994, Schoettle, Zanetti et al. 2006). Deshalb ist eine Valgusfehlstellung häufiger mit Problemen im patellofemorale Gelenk verbunden als eine O-Bein-Stellung (Genu varum) (Attal 2015).

Eine Alternative zur Messung des TT-TG-Abstands stellt die Bestimmung des TT-PCL Abstands dar. Dieser misst die medio-laterale Distanz zwischen dem Mittelpunkt des Ansatzes der Patellasehne und der medialen Begrenzung des hinteren Kreuzbands. Ein Vorteil besteht darin, dass dieser auch bei stark ausgeprägten Trochleadysplasien gemessen werden kann, während der Sulcus der Trochlea, der für die Bestimmung des TT-TG-Abstandes erforderlich ist, in diesen Fällen oft nicht eindeutig bestimmt werden kann. Seitlinger et al. beschreiben einen TT-PCL-Abstand  $\geq 24$  mm als pathologisch (Seitlinger, Scheurecker et al. 2012).

### 1.2.7 Folgen der Patellaluxation

Neben den oben genannten typischen Begleitverletzungen wie einer Ruptur des MPFL (Abbildung 7) ist nach einer Patellaluxation das Risiko für eine erneute Luxation erhöht. Christiansen et al. geben dieses je nach Therapie mit 17-20 % an (Christiansen, Jakobsen et al. 2008), bei jungen Patienten im Wachstum wird es sogar mit bis zu 71% beschrieben (Zimmerer, Sobau et al. 2018). Eine chronische Instabilität begünstigt das Auftreten von Knorpelschäden. Nomura et al. fanden in ihrer Studie bei 96% der Patienten nach wiederholten Luxationen der Patella retropatellare Knorpelschäden (Nomura and Inoue 2004). Langfristig treten gehäuft degenerative Gelenkveränderungen und Arthrose auf (Maenpaa and Lehto 1997, Petersen, Forkel et al. 2012, Sanders, Pareek et al. 2017).

## Einleitung

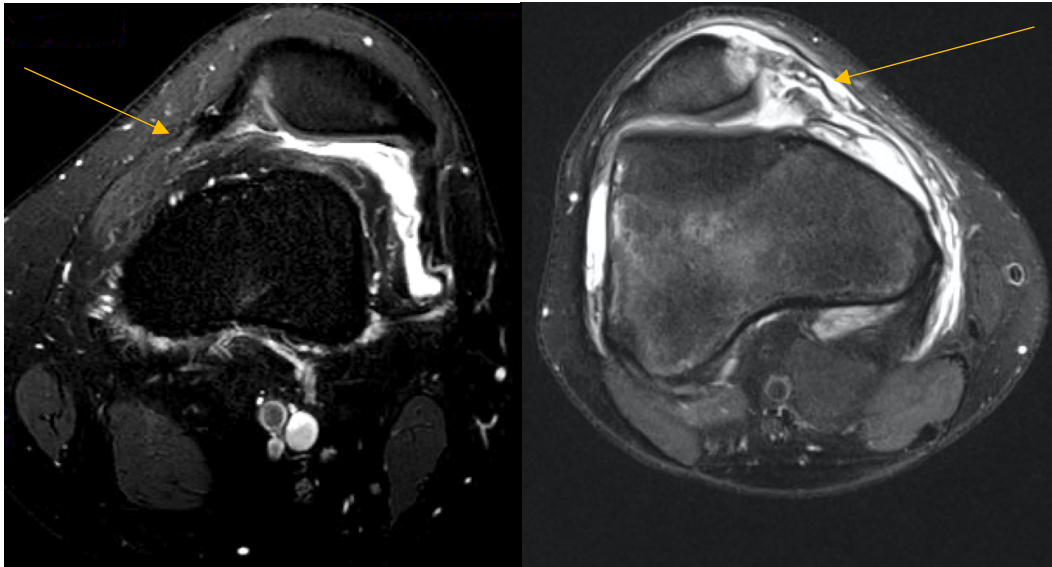


Abbildung 7: Ruptur des MPFL nach Patellaluxation sichtbar in der Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT)

Radiologisches Bildmaterial mit freundlicher Genehmigung aus der orthopädischen Klinik König-Ludwig-Haus

### 1.3 Behandlung der Patella-Instabilität

#### 1.3.1 Konservativ

Nach einer akuten Luxation der Patella ist laut Strobl et al. die sofortige Reposition der Kniescheibe notwendig, bei habituellen Patellaluxationen erfolgt die Reposition häufig spontan (Strobl and Grill 1998). Für die Akutphase nach der Luxation werden in der Literatur verschiedene Maßnahmen beschrieben. Bei ausgeprägtem Erguss kann eine Kniegelenkspunktion sinnvoll sein, um die Position der Patella in der Trochlea zu verbessern und Schmerzen zu lindern. Zusätzlich können physikalische und medikamentöse Maßnahmen zur Reduktion des Reizzustands (Antiphlogese) und der Schmerzen (Analgesie) durchgeführt werden (Wagner 2016).

Langfristiges Ziel der Therapie ist es, die Patella im femoralen Gleitlager zu stabilisieren und ein muskuläres Gleichgewicht herzustellen „um das Entstehen oder Fortschreiten degenerativer Veränderungen zu verhindern“ (Strobl and Grill 1998). Einige Autoren vertreten die Meinung, dass die Therapie zunächst konservativ erfolgen sollte (White and Sherman 2009, Rhee, Pavlou et al. 2012, Balcarek 2016). Als wichtigste Voraussetzung für die konservative Therapie gilt eine fehlende knöcherne Begleitverletzung (flake fracture).

## Einleitung

Wagner et Becher empfehlen nach einer Luxation die Anlage einer Patella-stabilisierenden Knieorthese, welche die Bewegung limitiert und so eine Vernarbung des patellofemorales Bandapparats, insbesondere des MPFLs, ermöglicht (Wagner 2016). Bei Patellainstabilität ist gezieltes Training oder Dehnen bestimmter Muskelgruppen wichtiger Bestandteil der konservativen Therapie, um eine bessere muskuläre, bzw. aktive Stabilisierung zu erreichen. Besteht eine muskuläre Dysbalance, kann die Führung der Kniescheibe durch Training, insbesondere des Musculus vastus medialis, oder Dehnung der Quadrizepsmuskulatur, vor allem des Musculus vastus lateralis, verbessert werden (Strobl and Grill 1998). Es konnte gezeigt werden, dass eine Reduktion der Spannung des Tractus iliotibialis zu einer verminderten lateralen Translation der Patella führt (Puniello 1993, Merican, Iranpour et al. 2009). Ebenfalls kann es durch ein ungünstiges Verhältnis zwischen der Spannung des Musculus quadriceps femoris und dessen Antagonisten, der ischiocruralen Muskulatur, zu einer vermehrten Translation und Rotation der Tibia kommen. Dadurch werden die Bewegungsabläufe im Patellofemoralgelenk negativ beeinflusst (Ahmed, Burke et al. 1987, Strobl and Grill 1998, Oestern, Varoga et al. 2011, Wagner 2016). Dementsprechend wird eine Dehnung der Hamstringmuskulatur empfohlen. Nach Redziniak et al. sollte bei übergewichtigen Patienten eine Gewichtsreduktion erfolgen, um die Belastung des patellofemorales Gelenks zu reduzieren (Redziniak, Diduch et al. 2009).

Das Risiko für eine erneute Luxation nach konservativer Therapie liegt nach Trikha et al. bei etwa 44% (Trikha, Acton et al. 2003). Zur Einschätzung des Risikos einer erneuten Patellaluxation nach Erstluxation haben Balcarek et al. den Patellar Instability Severity- (PIS-) Score veröffentlicht (Balcarek, Oberthur et al. 2014, Balcarek 2016). Die hier berücksichtigten Risikofaktoren sind das Alter, eine kontralaterale Instabilität oder eine Bindegewebserkrankung (z.B. Ehlers-Danlos-Syndrom), der Typ der Trochlealsyplasie nach Dejour, die Patellahöhe, der TT-TG-Abstand und der Patella-Tilt. Besteht ein hohes Risiko, sehen die Autoren die Notwendigkeit einer operativen Therapie.

Magnussen et al. kamen in ihrer Studie zu dem Ergebnis, dass eine konservative Therapie nach einmaliger Luxation der Patella häufig nicht zum gewünschten

## Einleitung

Behandlungserfolg führt. Nur 24,6% der Patienten berichteten, dass sie ohne Einschränkungen zu ihren vorherigen Sportaktivitäten zurückkehren konnten (Magnussen, Verlage et al. 2017).

### 1.3.2 Operativ

Erste operative Behandlungstechniken wurden bereits vor knapp 100 Jahren entwickelt. 1932 beschrieb Malkin u.a. die operative Korrektur der Trochlea femoris zur besseren knöchernen Führung der Patella (Trochleoplastik), aber auch die Möglichkeit den Bandapparat mittels autologen Transplantaten zu augmentieren (Malkin 1932).

Heute gibt es je nach Ätiologie der Patellaluxation verschiedene operative Behandlungsempfehlungen, die entweder die aktiven, die passiven oder die statischen Stabilisatoren adressieren (Testa, Camathias et al. 2017). Zur Therapiefindung gibt es je nach Autor verschiedene Herangehensweisen.

Der Therapiealgorithmus für die Behandlung rezidivierender Patella-Luxationen, veröffentlicht vom Komitee Knie-Patellofemoral der Gesellschaft für Arthroskopie und Gelenkchirurgie (AGA), orientiert sich an dem Ausmaß der Instabilität der Patella in den verschiedenen Beugegraden des Kniegelenks. Eine isolierte strecknahe Instabilität zwischen  $0^\circ$  und  $30^\circ$  weist demnach auf eine Insuffizienz der passiven Stabilisatoren, vor allem des MPFLs, hin. Eine Rekonstruktion steht deshalb als Therapie im Vordergrund. Besteht die Patellainstabilität zwischen  $0$  und  $60^\circ$ , deutet dies zusätzlich auf eine Insuffizienz der statischen Stabilisatoren oder eine Alignmentstörung hin. Bei diesen Patienten wird die Kombination einer MPFL-Plastik mit einer Trochleoplastik oder einem Versatz der Tuberositas tibiae empfohlen. Bei einer Instabilität bis zu einer Beugung von  $90^\circ$  oder einer permanent subluxierten Patella liegt oftmals eine komplexe Form der Alignmentstörung mit einer Insuffizienz der passiven und statischen Stabilisatoren vor. In diesen Fällen sind nach Balcarek kombinierte knöcherne Korrekturingriffe nötig (Balcarek 2016).

Rhee et al. orientieren sich hingegen an der zugrundeliegenden anatomischen Pathologie. Sie veröffentlichten 2012 einen Behandlungsalgorithmus, der grundsätzlich ein konservatives Vorgehen nach Erstluxation empfiehlt. Bei Patienten mit einer chronischen Instabilität sehen die Autoren die Indikation zur

## Einleitung

operativen Therapie. Besteht eine physiologische knöcherne Anatomie, halten sie eine Rekonstruktion der medialen Gelenkstrukturen mit einer Rekonstruktion des MPFL oder einem lateralen Release für ausreichend zur Therapie der patellofemorale Instabilität. Bei einer veränderten knöchernen Anatomie empfehlen die Autoren eine knöcherne Korrektur, bei einem vergrößerten TT-TG-Abstand eine Medialisierung, besteht zusätzlich eine Patella alta in Kombination mit einer Distalisierung der Tuberositas tibiae. Bei Kniegelenken mit einer hochgradigen Trochleadysplasie besteht nach Rhee et al. die Indikation zur Trochleoplastik (Rhee, Pavlou et al. 2012).

Als allgemeine Behandlungsempfehlung gibt es aktuell eine AWMF S1-Leitlinie zur Behandlung der Patellaluxation. Darin wird allerdings keine eindeutige Empfehlung zur Priorisierung eines operativen Verfahrens beziehungsweise einer Operationstechnik gegeben. Die Rekonstruktion des MPFL wird als das häufigste Therapieverfahren beschrieben ((DGU) 2014) und zeigte bereits in verschiedenen Studien auch bei Patienten mit prädisponierenden Faktoren gute Ergebnisse (Schottle, Fucentese et al. 2005, Song, Kang et al. 2016, Balcarek, Rehn et al. 2017, Liu, Brady et al. 2018).

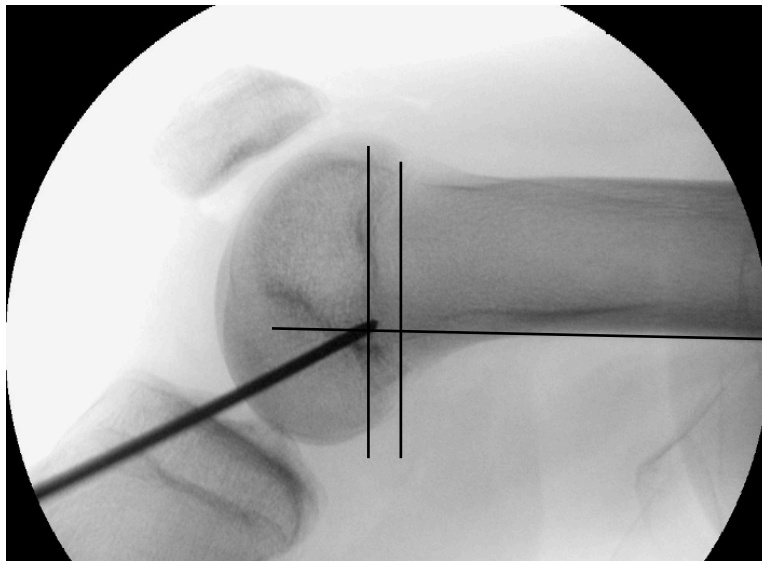
Bei den in dieser Studie eingeschlossenen Patienten wurde die MPFL-Rekonstruktion als alleiniges Therapieverfahren bei allen Patienten durchgeführt.

### 1.4 Operationsmethode

Der Patient wird in Rückenlage gelagert und eine Oberschenkelblutsperre angelegt. Nach dem Abwaschen und der sterilen Abdeckung erfolgt zunächst eine Arthroskopie zum Ausschluss, beziehungsweise der Behandlung begleitender Verletzungen sowie zur Beurteilung des Knorpels und der Trochleakonfiguration. Nach Abschluss der Gelenkspiegelung wird die Gracilissehne im Bereich des Pes anserinus über einen etwa 3 cm langen longitudinalen Hautschnitt distal und medial der Tuberositas tibiae entnommen. Die Sehne wird mit einem resorbierbaren Faden armiert, freipräpariert und mit Hilfe eines Sehnenstrippers gewonnen. Anschließend wird das Muskelgewebe entfernt und auch das proximale Ende mit dem gleichen Nahtmaterial präpariert. Das Präparat sollte eine Länge von etwa 20 cm haben. Die Entnahmestelle wird verschlossen.

## Einleitung

Über dem proximalen Drittel der medialen Patella erfolgt eine etwa 2 cm lange Hautinzision. An dieser Stelle wird ein Spalt zwischen der zweiten und dritten Schicht der medialen Gelenkkapsel in Richtung der medialen Femurkondyle präpariert. Mithilfe von Klemmen wird die Kapsel direkt am medialen Rand der Patella zweimal im Abstand von 1,5 cm durchstoßen und das Transplantat U-förmig eingezogen. Der mittlere Bereich der Sehne wird mit resorbierbarem Nahtmaterial an der medialen Kapsel und dem Periost der Patella fixiert. An der medialen Femurkondyle werden Haut und Faszie inzidiert. An dieser Stelle wird unter Durchleuchtungskontrolle im streng seitlichen Bild mit einem Zieldraht mit Öse zunächst die korrekte anatomische Insertionsstelle am Femur (Schöttle-Punkt) aufgesucht (Abbildung 8). Diese befindet sich in Verlängerung der posterioren Femurkortikalis zwischen dem proximalen Ansatz des medialen Epikondylus und dem posterioren Punkt der Blumensaat-Linie (Schottle, Schmeling et al. 2007).



*Abbildung 8: Aufsuchen der korrekten femoralen Insertionsstelle*

*Radiologisches Bildmaterial mit freundlicher Genehmigung aus der orthopädischen Klinik König-Ludwig-Haus*

Mit dem Draht wird das Femur an dieser Stelle durchbohrt und dieser im Anschluss mit einem kanülierten Bohrer überbohrt, die Kortikalis der Gegenseite wird dabei nicht durchstoßen. Über den Ösendraht wird eine Fadenschleife von medial nach lateral durch das Femur gezogen. Das Transplantat wird durch den vorbereiteten Spalt von parapatellar zur medialen Femurkondyle gezogen. Die

## Einleitung

beiden armierten Enden der Gracilissehne werden mithilfe der Fadenschlaufe in den femoralen Bohrkanaal eingezogen. Unter Kontrolle der Spannung des Transplantates werden die beiden Enden der Sehne bei 20° flektiertem Kniegelenk mit einer resorbierbaren Interferenzschraube befestigt (Abbildung 9). Die Armierungsfäden werden abgeschnitten und die Wunden sorgfältig verschlossen.

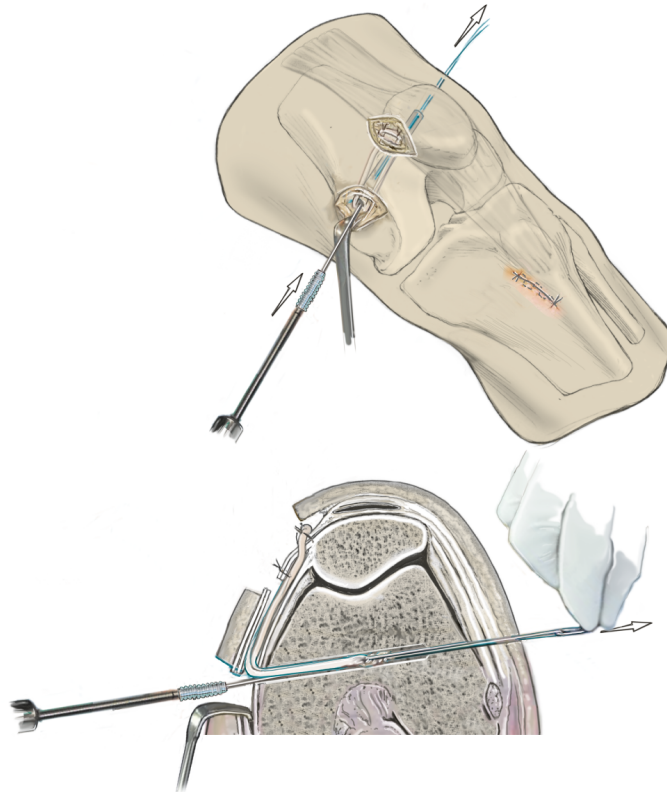


Abbildung 9: Befestigung des Transplantats am parapatellaren Gewebe und im femoralen Bohrkanaal

Abbildung mit freundlicher Genehmigung des Springer Nature Verlags aus Reppenhagen et al. (Reppenhagen, Gilbert et al. 2015).

## Einleitung

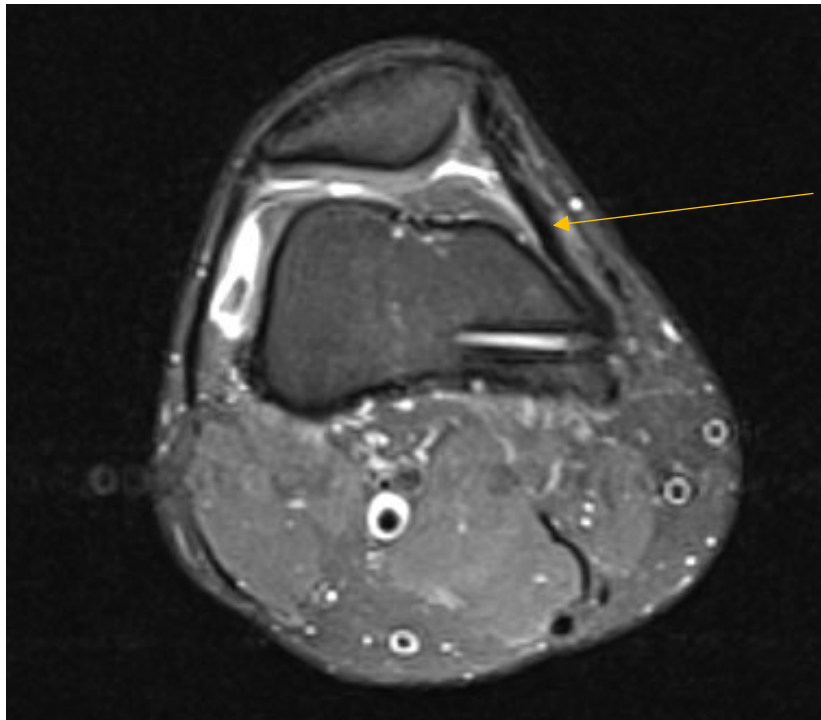


Abbildung 10: transversaler Schnitt im MRT: Kniegelenk nach rekonstruiertem MPFL mit patellarer Fixation in Weichteiltechnik

Radiologisches Bildmaterial mit freundlicher Genehmigung aus der orthopädischen Klinik König-Ludwig-Haus

### 1.5 Fragestellung

Eine instabile Patella ist ein häufiges Krankheitsbild junger, aktiver Patienten. Die Ätiologie ist komplex und bis heute gibt es keine einheitlichen Konzepte zur Therapie dieser Beschwerden. Die Rekonstruktion des MPFLs ist ein etabliertes Verfahren zur operativen Therapie der Patellainstabilität.

Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Methoden, das Transplantat an der Kniescheibe zu fixieren (Lenschow, Schliemann et al. 2013). Üblicherweise wird das Transplantat knöchern an der Kniescheibe befestigt. In der Literatur wird beschrieben, dass dieses Vorgehen mit einem erhöhten Risiko für eine Fraktur der Patella einhergeht (Lippacher, Reichel et al. 2010, Shah, Howard et al. 2012). Andere beschriebene Komplikationen sind Schmerzen durch Fremdmaterial und Relaxationen (Shah, Howard et al. 2012).

In der vorliegenden Arbeit erfolgte die patellare Fixation ausschließlich über eine weichteilige Fixation an der Kniescheibe, ohne Anlage eines Bohrkanals oder Einbringen von Fremdmaterial in die Patella. Eine frühere Studie unserer Klinik zeigte im ersten Jahr postoperativ sehr gute Ergebnisse mit einer niedrigen



## **Einleitung**

Relaxationsrate und einer hohen Zufriedenheit seitens der Patienten (Reppenhagen, Gilbert et al. 2015). Mit der aktuellen Studie sollen die klinischen Ergebnisse dieser Operationsmethode nach einem längeren Zeitraum untersucht werden. Dafür sollen die Relaxationsrate sowie die klinischen Ergebnisse der Operation fünf Jahre nach der Operation ermittelt werden. Anhand von klinischen Scores und einer körperlichen Untersuchung wurden dazu die Funktion des Kniegelenks und die Patientenzufriedenheit gemessen.

## 2 Material und Methoden

Vor Studienbeginn lag ein positives Ethikvotum (147/16-ge) der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Julius-Maximilians-Universität Würzburg vor.

### 2.1 Studienpopulation

Mittels Prozedurenschlüssel (OPS-Code) wurden alle Patienten, welche zwischen Mai 2010 und Juli 2012 in der Orthopädischen Klinik König-Ludwig-Haus mit einer MPFL-Rekonstruktion behandelt wurden, identifiziert. Alle Patienten zum Operationszeitpunkt im Alter zwischen 10 und 47 Jahren wurden eingeschlossen. Als Ausschlusskriterien wurden ein zuvor oder gleichzeitig durchgeführter knöcherner Korrekturingriff wie ein Transfer der Tuberositas tibiae, eine zugrunde liegende syndromale Erkrankung und der Einbau einer Kniegelenksendoprothese vor Rekonstruktion des MPFL oder im postoperativen Verlauf festgelegt.

Im Rahmen einer klinischen Nachkontrolle wurden die Patienten untersucht und zur prä- und postoperativen Situation befragt. Die Ergebnisse wurden anhand der unten genannten Fragebögen gemessen.

### 2.2 Patientencharakteristika

#### 2.2.1 Epidemiologie

Das Geschlecht, das Alter der Patienten zum Operationszeitpunkt und die betroffene Seite wurden erfasst.

#### 2.2.2 Risikofaktoren

Das in der elektronischen Datenverarbeitung der Orthopädischen Klinik König-Ludwig-Haus vorhandene Bildmaterial (Röntgen- und MRT-Bilder) wurde auf bildmorphologische Risikofaktoren geprüft. Es wurde keine zusätzliche Bildgebung im Rahmen der Studie angefertigt.

##### 2.2.2.1 *Trochleadysplasie*

Die Kniegelenke wurden mithilfe der Röntgenbilder im lateralen und tangentialen Strahlengang beurteilt und die dysplastischen Trochleae in Grad A bis D nach Dejour eingeteilt.

## **Material und Methoden**

### *2.2.2.2 Sulcuswinkel*

Der Sulcuswinkel wurde anhand der vorhandenen MRT-Bilder in Grad gemessen. In den transversalen Schnitten wurde der Winkel zwischen der medialen und der lateralen Trochleawand am tiefsten Punkt der Trochlea bestimmt.

### *2.2.2.3 Patella alta*

Die Höhe der Patella wurde anhand der Röntgenbilder im lateralen Strahlengang mit der Methode nach Caton-Deschamps bestimmt (Caton-Deschamps-Index, CDI) (Seitlinger 2015).

### *2.2.2.4 TT-TG- und TT-PCL-Abstand*

Der TT-TG-Abstand und der TT-PCL-Abstand wurden anhand der der MRT-Bildgebung durch Übereinanderlegen der entsprechenden transversalen Schnitte in Millimetern gemessen (Seitlinger 2015).

### *2.2.2.5 Die Beinachse*

Bei der klinischen Untersuchung der Patienten wurde der Intermalleolar- bzw. Interkondylarabstand in Zentimetern als Maß für die klinische Beinachse bestimmt.

### *2.2.3 Ätiologie der Erstluxation*

Die Patienten wurden bei der Untersuchung oder per Fragebogen gebeten, die Situation der Erstluxation der Kniescheibe zu schildern.

### *2.2.4 Anzahl der präoperativen Luxationen*

Die Patienten wurden nach der Anzahl der präoperativen Patellaluxationen des betroffenen Kniegelenks gefragt. Es wurde notiert, ob die Patienten keine, eine, zwei oder mindestens drei Luxationen erlitten hatten.

### *2.2.5 Voroperationen*

Die Voroperationen der betroffenen Kniegelenke wurden durch Befragung der Patienten und mithilfe der elektronischen Patientenakte ermittelt.

### *2.2.6 Knorpelschäden und Begleitverletzungen*

Die vom Operateur zum Zeitpunkt der operativen Versorgung dokumentierten Knorpelschäden wurden aus den Operationsberichten ausgelesen. Die Dokumentation erfolgte nach der Klassifikation von Outerbridge in Grad 1 bis 4 (Outerbridge 1961). Die Lokalisation wurde in retropatellar, trochlear, ubiquitär

## Material und Methoden

oder sonstige Lokalisationen eingeteilt. So wurden auch Begleitverletzungen wie zum Beispiel eine Flake-Fraktur festgehalten.

### 2.2.7 Epiphysenfugen

Die intraoperativ oder unmittelbar postoperativ durchgeführten Röntgenbilder wurden genutzt um die Wachstumsfugen (offen oder geschlossen) zu beurteilen.

## 2.3 Postoperative Ergebnisse

### 2.3.1 Relaxationen

Die zur klinischen Nachuntersuchung vorstelligen Patienten wurden bezüglich einer Relaxation des betroffenen Kniegelenks befragt. Patienten, die sich nicht zur Nachkontrolle vorstellten, wurden postalisch kontaktiert.

### 2.3.2 Postoperative Komplikationen

Neben postoperativ aufgetretenen Luxationen der Patella wurden die Patienten persönlich oder per Post nach anderen Komplikationen wie zum Beispiel einer erneuten Operation des Kniegelenks gefragt.

### 2.3.3 Platzierung der femoralen Insertion

Die Anlage der femoralen Insertion wurde anhand der intraoperativen oder postoperativen Röntgenaufnahmen im streng seitlichen Bild bestimmt. Diese wurde als anatomisch bezeichnet, wenn der Bohrkanal zur femoralen Fixierung des Transplantates an einer nach Schöttle et al. passenden Position lag (Schöttle, Schmeling et al. 2007). Bei einer Abweichung größer als 0,5 cm wurde die Insertion als extraanatomisch bezeichnet.

## 2.4 Klinische Daten

Im Rahmen der Nachkontrolle wurden die Funktion des Kniegelenks und die Patientenzufriedenheit mittels eines klinischen Untersuchungsbogens und mittels Fragebögen erhoben.

### 2.4.1 Körperliche Untersuchung

Bei der körperlichen Untersuchung wurden das Bewegungsausmaß des Kniegelenks in Grad nach der Neutral-Null-Methode, der Apprehension Sign-Test zur Erfassung einer symptomatischen patellofemorale Instabilität zwischen 0° und 40° Flexion und die Mobilität der Patella durch den Patella-Glide-Test bei gestrecktem Kniegelenk erfasst. Dafür wird die Patella longitudinal in Viertel

## Material und Methoden

eingeteilt und die Verschieblichkeit nach lateral angegeben. Dieser Test dient zur Beurteilung der ligamentären Bandführung der Kniescheibe (Attal 2015).

Darüber hinaus wurde der Umfang des Oberschenkels 10 cm proximal des Gelenkspaltes als Maß der Trophik des Musculus quadriceps femoris gemessen und mit der Gegenseite verglichen.

### 2.4.2 Fragebögen

Die Patienten wurden gebeten, die folgenden Fragebögen gleichzeitig einmal für den Zeitpunkt vor der Operation (prä-OP) und einmal für die aktuelle Situation (post-OP) auszufüllen.

### 2.4.3 Kujala Anterior Knee Pain Scale (KAKPS)

Der KAKPS misst das subjektive Beschwerdebild der Patienten bezüglich des vorderen Knieschmerzes und der Stabilität der Patella (Kujala, Jaakkola et al. 1993). Der Fragebogen besteht aus 13 Fragen mit drei bis fünf Antwortmöglichkeiten, maximal können 100 Punkte erreicht werden. Dieser wurde von Dammerer et al. auch für die deutsche Sprache validiert (Dammerer, Liebensteiner et al. 2018). In Studien zeigte der Test eine gute Test-Retest-Reliabilität, Validität und sprach gut auf Veränderungen an (Crossley, Bennell et al. 2004, Watson, Propps et al. 2005).

### 2.4.4 Lysholm-Score

Der Lysholm-Score erfasst die Funktion des operierten Kniegelenks im Alltag (Lysholm and Gillquist 1982). Es werden jeweils Punkte vergeben in den Kategorien Hinken, Belastung, Instabilität, Schmerzen, Schwellung, Treppensteigen, Hocken und Blockierungen. Maximal können 100 Punkte erreicht werden. 2011 publizierten Wirth et al. die validierte deutsche Version des Lysholm-Scores (Lysholm and Gillquist 1982, Wirth, Liffert et al. 2011). Diese wurde für die Untersuchung nach einer Verletzung des vorderen Kreuzbandes validiert, ihr Einsatz hat sich für die Untersuchung nach verschiedenen Bandverletzungen des Kniegelenks etabliert. Darüber hinaus wurde die Aussagekraft des Lysholm-Scores in englischer Sprache bei Knorpelverletzungen belegt (Kocher, Steadman et al. 2004).

## Material und Methoden

### 2.4.5 Tegner Activity Scale

Mithilfe der validierten deutschen Version der Tegner Aktivitätsskala wird das Aktivitätsniveau und die damit verbundene Belastung der Kniegelenke der Patienten in elf Stufen eingeteilt (Tegner and Lysholm 1985, Wirth, Meier et al. 2013). Auf dem Fragebogen sind häufige Sportarten nach der Kniebelastung sortiert aufgelistet. Es wird zwischen Freizeit- und Wettkampfsport unterschieden. Außerdem werden verschiedene alltägliche und berufliche Aktivitäten berücksichtigt (Tegner and Lysholm 1985, Wirth, Meier et al. 2013). Die Patienten wurden gebeten, sich der Stufe zuzuordnen, die am ehesten ihrem Aktivitätslevel entspricht, um die präoperative mit der postoperativen Belastung der Kniegelenke zu vergleichen. Der Tegner-Aktivitäts-Fragebogen wurde ursprünglich für die Verletzung des vorderen Kreuzbandes entwickelt, wird heute aber bei verschiedenen Kniebandverletzungen eingesetzt (Lysholm and Tegner 2007).

### 2.5 Statistische Methoden

Eine Fallzahlberechnung erfolgte durch einen Biometriker des Instituts für klinische Epidemiologie und Biometrie der Universität Würzburg.

Es wurde festgelegt:  $p$  bezeichne die unbekannte tatsächliche Wahrscheinlichkeit für einen „Erfolg“, das heißt keine Relaxation nach 5 Jahren.  $p_0 = 0.75$  sei die größte Erfolgswahrscheinlichkeit für die Operationsmethode, die, falls sie zutrifft, als unzulänglich anzusehen ist und  $p_1 = 0.90$  die kleinste Erfolgswahrscheinlichkeit, die, falls sie zutrifft, als zufriedenstellend anzusehen ist.

Es sind 45 analysierte Patienten erforderlich um mit einer Power von 0,8 eine tatsächlich existierende Erfolgswahrscheinlichkeit  $p \geq 0,90$  aufzudecken. Wenn die Anzahl der „Erfolge“ 39 oder größer ist, dann wird die einseitige statistische Hypothese  $H_0: p \leq p_0$  abgelehnt, wenn die Anzahl der Erfolge 38 oder kleiner ist, dann wird die einseitige Hypothese  $H_1: p \geq p_1$  abgelehnt.

Die Auswertung des radiologischen Bildmaterials erfolgte mit Impax Agfa HealthCare.

## Material und Methoden

Die Daten wurden manuell in Microsoft-Excel-Tabellen eingegeben. Die statistische Auswertung erfolgte mit IBM SPSS Statistics 23.

Die Daten wurden mit Mittelwert, Minimum und Maximum aufgelistet. Die Ergebnisse der präoperativen und postoperativen Scores der Fragebögen wurden zusätzlich mit Median und Quartilen angegeben.

Das Patientenkollektiv wurde nach folgenden Kriterien in Subgruppen unterteilt und der Erfolg anhand der Ergebnisse der Fragebögen (Zielgrößen) gemessen:

- Schwere der Trochleadysplasie: keine und A oder  $\geq$  B nach Dejour
- Patella alta: Caton-Deschamps-Index (CDI):  $>$  oder  $\leq$  1,2
- Anzahl der Luxationen präoperativ:  $<$  3 oder  $\geq$  3
- femorale Platzierung des Transplantates: anatomisch oder extraanatomisch
- Zustand der Wachstumsfugen: offen oder geschlossen
- Voroperationen: keine oder Patella-stabilisierend
- Knorpelschaden: kein und leicht ( $\leq$  2 nach Outerbridge) oder schwer ( $>$  3 nach Outerbridge) und osteochondraler Flake

Verbundene Stichproben wurden mit dem Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test zum Signifikanzniveau 0,05 getestet.

Unterschiede nicht verbundener Stichproben wurden mit dem Mann-Whitney-Test auf Signifikanz getestet. Subgruppen mit einer Größe  $n \leq 5$  wurden nicht getestet.

## Ergebnisse

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Studienpopulation

In der Zeit von Mai 2010 bis Juli 2012 wurde in der Orthopädischen Klinik König-Ludwig Haus in Würzburg in 97 Fällen das MPFL rekonstruiert.

In acht Fällen (8,2%) wurden die Patienten von der Studie ausgeschlossen (Abbildung 11). Bei drei von diesen Patienten war zusätzlich ein Versatz der Tuberositas tibiae durchgeführt worden, bei drei weiteren Patienten lag der Patellaluxation eine syndromale Grunderkrankung zugrunde und bei zwei Patienten war eine Knie-Totalendoprothese (Knie-TEP) implantiert worden, in einem Fall vor der Rekonstruktion des MPFL und in einem Fall im postoperativen Verlauf.

Von den 89 eingeschlossenen Kniegelenken konnten bei 18 Kniegelenken (20,2%) keine Informationen bezüglich Re-Operationen, Reluxationen oder des klinischen Ergebnisses erhoben werden. 71 Kniegelenke (79,8%) bei 68 Patienten, also drei Patienten mit beidseitiger MPFL-Rekonstruktion, konnten mit einem mittleren Nachuntersuchungszeitraum von 5,8 Jahren (69,8 Monate (59-86)) in dieser Studie untersucht werden.

Die Kniegelenke, bei denen es im Verlauf zu einer erneuten Luxation gekommen ist, wurden in allen Fällen erneut patella-stabilisierend operiert und deshalb als Therapieversager für die Reluxationsrate berücksichtigt, aber von der klinischen Untersuchung ausgenommen. In 52 Fällen (58,4%) wurden die Fragebögen beantwortet. Bei zwei Kniegelenken kam es im Verlauf zu einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes (n = 2), welche operativ behandelt wurde. In diesen Fällen wurde nur die Tegner-Aktivitätsskala in die Auswertung einbezogen. In zwei Fällen waren der Lysholm- und in drei Fällen der Kujala-Fragenbogen unvollständig ausgefüllt worden und konnten deshalb nicht ausgewertet werden. Aus diesen Gründen wurden diese nachträglich ausgeschlossen, sodass der Kujala-Score in 47 Fällen (52,8%) und der Lysholm-Score in 48 Fällen (53,9%) ausgewertet wurde. 45 Kniegelenke (50,6%) konnten bei der Nachuntersuchung im König-Ludwig-Haus untersucht werden.



## Ergebnisse

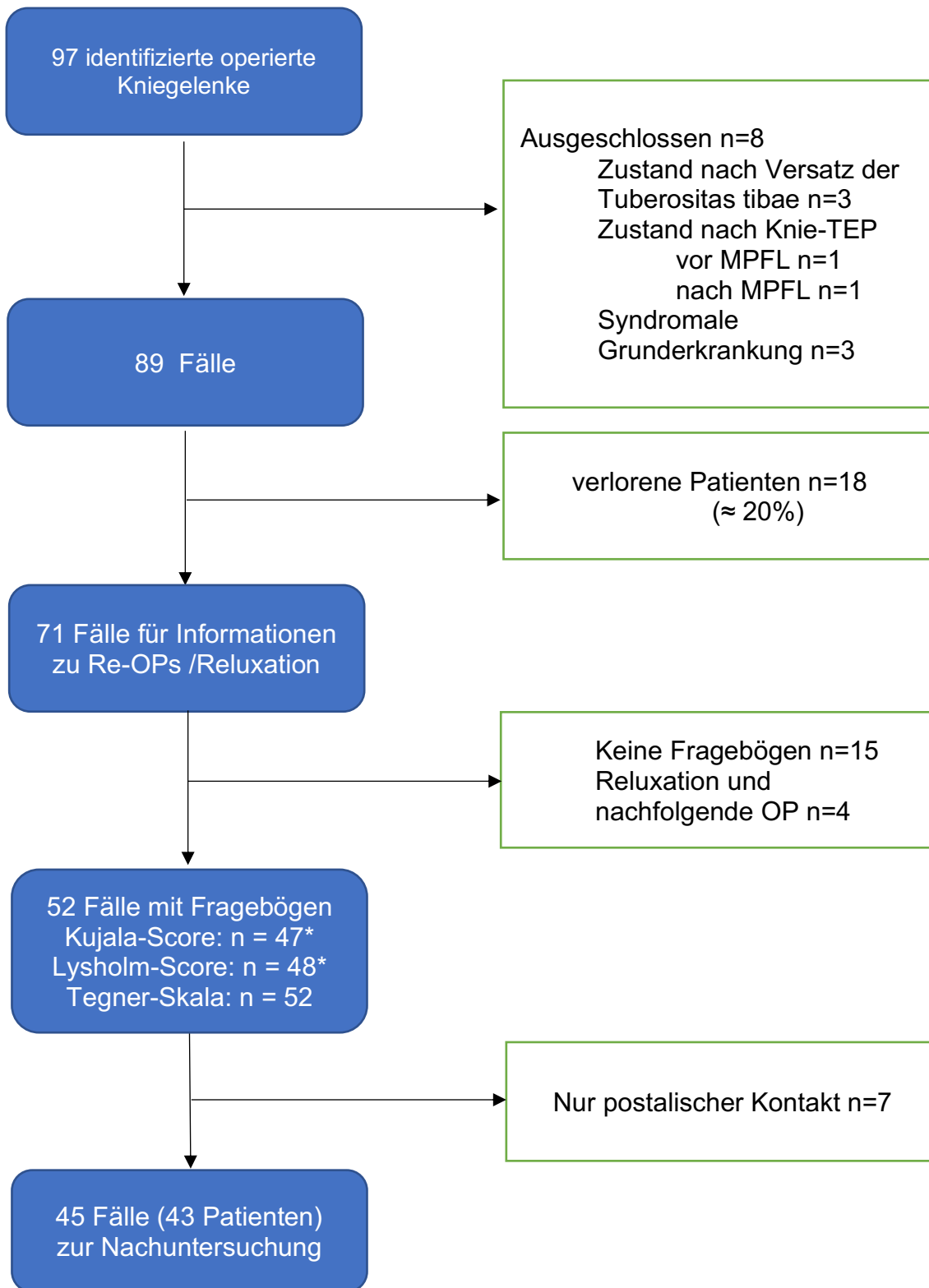


Abbildung 11: Flussdiagramm des Patientenkollektivs

\*nach Ausschluss der unvollständig ausgefüllten Fragebögen und der Funktionsscores nach VKB-Rekonstruktion

## Ergebnisse

### 3.2 Patientencharakteristika

#### 3.2.1 Epidemiologie

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Seiten- und Geschlechterverteilung der eingeschlossenen und in der Studie untersuchten Kniegelenke.

Tabelle 1: Seiten- und Geschlechterverteilung der Kniegelenke

		Geschlecht		Gesamt
		Männlich	Weiblich	
Seite	links	15 (21,1%)	19 (26,8%)	34 (47,9%)
	rechts	12 (16,9%)	25 (35,2%)	37 (52,1%)
Gesamt		27 (38,0%)	44 (62,0%)	71 (100%)

Anzahl n und Anteil in %

Die Patienten waren zum Zeitpunkt der Operation zwischen 10 und 47 Jahre alt, das mittlere Alter betrug 20,9 Jahre (Abbildung 12).

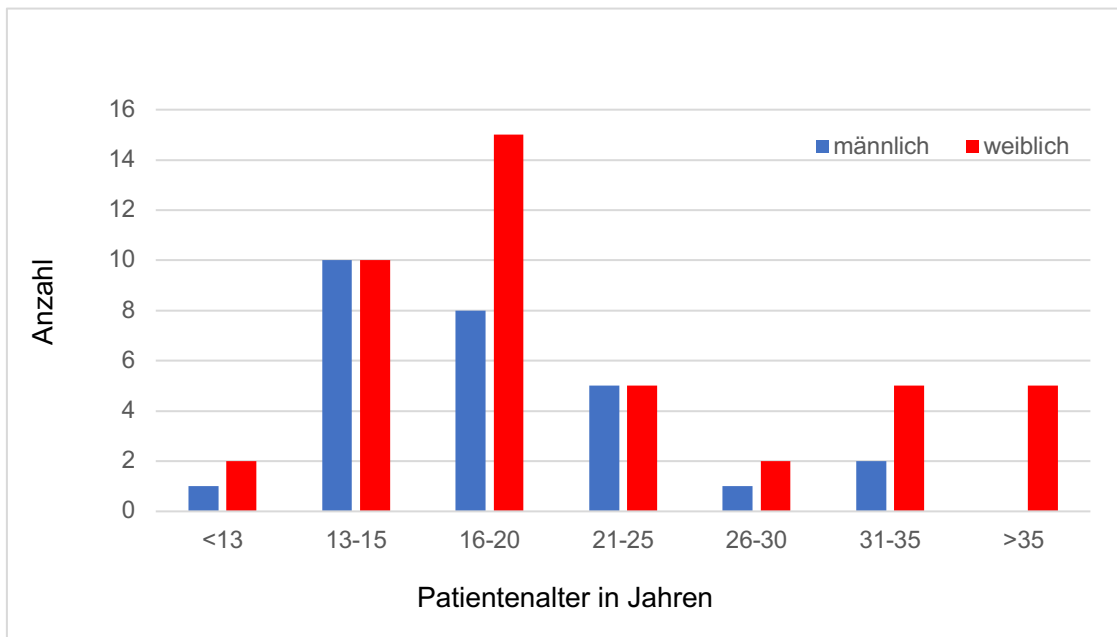


Abbildung 12: Altersverteilung des Patientenkollektivs zum OP-Zeitpunkt nach Geschlecht unterteilt

#### 3.2.2 Risikofaktoren

##### 3.2.2.1 Trochleadysplasie

Bei 68 von 71 Kniegelenken (95,8%) konnte die Trochlea anhand der vorhandenen radiologischen Aufnahmen beurteilt werden. Von diesen hatten 13 Kniegelenke (19,1%) eine physiologisch konfigurierte Trochlea. Nach der

## Ergebnisse

Klassifikation von Dejour wurden 19 Kniegelenke (27,9%) als Typ A, 20 (29,4%) als Typ B, 13 (19,1%) als Typ C und 3 (4,4%) als Typ D klassifiziert.

### 3.2.2.2 Der Sulcuswinkel

Die Größe des Sulcuswinkels der Trochlea konnte anhand der vorhandenen kernspintomografischen Aufnahmen bei 38 Kniegelenken (53,5%) gemessen werden. Minimal betrug der Sulcuswinkel 130°, maximal 192° und im Mittel 159,4°. Der Sulcuswinkel war bei 29 Kniegelenken (76,3%) mit mehr als 145° pathologisch vergrößert.

### 3.2.2.3 Caton-Deschamps-Index

Der Caton-Deschamps-Index konnte bei 69 Kniegelenken (97,2%) bestimmt werden und lag im Durchschnitt bei 1,4 (1,0 - 2,0). 55 Patienten (79,7%) hatten eine Patella alta (CDI > 1,2) und kein Patient eine Patella baja (CDI < 0,6).

Tabelle 2: Trochleadysplasie und Höhe der Patella (Caton-Deschamps-Index)

Patella alta		CDI ≤ 1,2	CDI > 1,2	Fehlend	Gesamt
Trochlea- dysplasie	keine	5 (6,9%)	8 (11,1%)	-	13 (19,1%)
	Typ A	2 (2,8%)	17 (11,1%)	-	19 (27,9%)
	Typ B	6 (8,3%)	14 (19,4%)	-	20 (29,4%)
	Typ C	1 (1,4%)	12 (16,6%)	-	13 (19,1%)
	Typ D	0 (0,0%)	3 (4,4%)	-	3 (4,4%)
Fehlend		-	1 (1,4%)	2 (2,8%)	3 (4,4%)
Gesamt		14 (19,7%)	55 (77,5%)	2 (2,8%)	71 (100%)

Anzahl n und Anteil in %

### 3.2.2.4 TT-TG- und TT-PCL-Abstand

Anhand der MRT-Bildgebung konnte bei 37 Kniegelenken (52,1%) der TT-TG-Abstand gemessen werden. Dieser betrug im Durchschnitt 15,0 mm, minimal 8,0 mm und maximal 26,0 mm und. Bei vier Kniegelenken (10,8%) von diesen Kniegelenken war der TT-TG-Abstand mit einem Wert > 20 mm pathologisch.

In 35 Fällen (49,3%) wurde zusätzlich der TT-PCL-Abstand bestimmt. Der Mittelwert betrug 20,8 mm (8 – 30 mm). Der TT-PCL-Abstand war bei 14 Kniegelenken (40%) pathologisch vergrößert.

## Ergebnisse

### 3.2.2.5 Beinachse: Intermalleolar-bzw. Interkondylarabstand

Von 43 untersuchten Patienten lag bei 17 Patienten (39,5%; 19 Fälle) klinisch eine gerade Beinachse vor.

Vier Patienten (9,3%) hatten eine leicht varische Beinachse mit einem Interkondylarabstand zwischen 1 cm und 3 cm und ein Patient (2,3%) eine deutliche Varusfehlstellung mit einem Abstand von 8 cm.

Insgesamt hatten 20 Patienten (46,5%) eine valgische Beinachse. Bei zehn Patienten (23,3%) wurde ein geringer Intermalleolarabstand zwischen 1 und 4 cm gemessen, bei sieben Patienten (16,3%) lag dieser zwischen 5 cm und 7 cm. Drei Patienten (7,0%) hatten eine deutliche Valgusfehlstellung mit einem Intermalleolarabstand von zweimal 14 cm und einmal 30 cm.

Bei einer Patientin (2,3%) konnte wegen einer frischen Verletzung des kontralateralen Kniegelenks die Beinachse klinisch nicht bestimmt werden.

### 3.2.3 Ätiologie der Erstluxation

Bei der Schilderung der Situation der Erstluxation gab kein Patient eine direkte Krafteinwirkung auf die Kniescheibe und damit ein adäquates Trauma im Sinne einer traumatischen Patellaluxation an. Die Patienten beschrieben Erstluxationen zum Beispiel beim Aufstehen aus der tiefen Hocke, beim Garde-Tanzen oder beim Fußballspielen in Situationen ohne Gegnerkontakt. Es handelte sich ausschließlich um habituelle Patellaluxationen.

### 3.2.4 Anzahl der präoperativen Luxationen

In 41 Fällen (57,7 %) hatten die Patienten vor der Rekonstruktion des MPFL drei oder mehr Luxationen der Kniescheibe, bei 15 Kniegelenken (21,1%) gaben die Patienten jeweils zwei Luxationen an. Bei 14 Kniegelenken (19,7%) wurde das MPFL bereits nach der ersten Luxation rekonstruiert, in einem Fall (1,4%) führte eine anhaltende Instabilität der Patella zur OP-Indikation, eine komplette Luxation war nicht erinnerlich.

### 3.2.5 Voroperationen

55 Kniegelenke (77,5%) waren zuvor noch nicht operiert worden, 14 (19,7%) waren bereits patella-stabilisierend operiert worden. Dabei war bei 13 Kniegelenken (18,3%) eine mediale Raffung und ein laterales Release und in einem Fall (1,4%) eine Naht des MPFL mit lateralem Release durchgeführt

## Ergebnisse

worden. Diese Patientin war zusätzlich nach einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes am selben Kniegelenk operiert worden. Zwei Kniegelenke (2,8%) waren aus anderen Gründen operiert worden, bei einem Kniegelenk (1,4%) war ein Ersatz des vorderen Kreuzbandes mit Naht des Außenmeniskus und bei einem Kniegelenk (1,4%) die Entfernung eines chondralen Flakes erfolgt.

### 3.2.6 Knorpelschäden und Begleitverletzungen

Zum Zeitpunkt der Operation zeigte sich arthroskopisch bei 23 Kniegelenken (32,4%) ein intakter Gelenkknorpel, bei 22 Kniegelenken (31,0%) war eine höhergradige Chondromalazie dritten oder vierten Grades nach Outerbridge zu erkennen. Bei zwei Kniegelenken (2,8%) waren bei der Operation osteochondrale Flakes refixiert worden, in einem Fall retropatellar. 40 Kniegelenke (56,3%) zeigten retropatellare Knorpelschäden, 11 Kniegelenke (15,5%) Knorpelschäden der Trochlea. Abbildung 13 und Abbildung 14 zeigen den Grad und die Lokalisation der Knorpelschäden der untersuchten Kniegelenke.

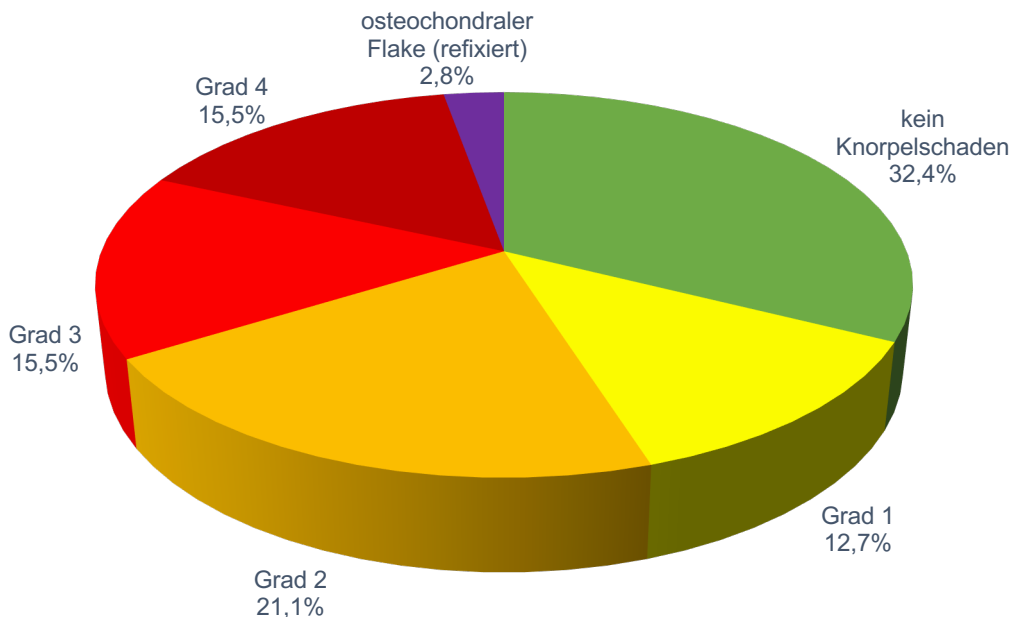


Abbildung 13: Knorpelstatus zum Zeitpunkt der Operation klassifiziert nach Outerbridge

## Ergebnisse

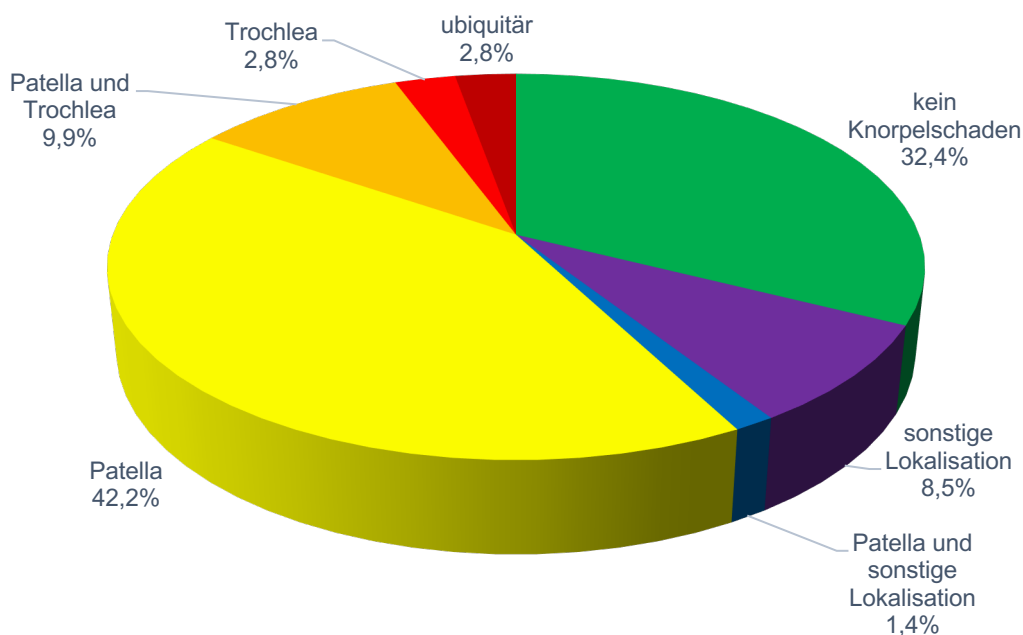


Abbildung 14: Lokalisation der Knorpelschäden zum Zeitpunkt der Operation

### 3.2.7 Wachstumsfugen

Von 67 Kniegelenken (94,4%), in denen eine Beurteilung der Wachstumsfugen anhand der Röntgenbilder möglich war, waren diese in 17 Fällen (25,4%) zum Zeitpunkt der Operation noch nicht geschlossen.

## 3.3 Postoperative Ergebnisse

### 3.3.1 Reluxationen

In vier Fällen der eingeschlossenen 71 Kniegelenke kam es innerhalb von 28 Monaten zu einer erneuten Verrenkung der Kniescheibe (Abbildung 15). Das entspricht einer Reluxationsrate von 5,63%. Alle vier Kniegelenke hatten eine Trochleadysplasie Typ C in Kombination mit einer Patella alta, alle betroffenen Patienten waren weiblich.

Zwei dieser Reluxationen traten bei einer Patientin mit beidseitiger MPFL-Rekonstruktion auf. Diese Patientin war zum Zeitpunkt der Operation des rechten Kniegelenks 13 Jahre alt, mit 14 Jahren wurde das linke Kniegelenk operiert. Die Wachstumsfugen waren zum Zeitpunkt beider Operationen noch nicht verschlossen. Die Kniescheibe der rechten Seite war vor der MPFL-Rekonstruktion zweimal luxiert, der linken Seite mindestens dreimal. Beim

## Ergebnisse

rechten Kniegelenk lag der CDI bei 1,6, der TT-TG-Abstand bei 11,7 mm und der TT-PCL-Abstand bei 13,4 mm. Der Sulcuswinkel war mit  $155^\circ$  pathologisch vergrößert. Der CDI der linken Seite betrug 1,5, der TT-TG- und der TT-PCL-Abstand konnten aufgrund fehlenden radiologischen Bildmaterials nicht bestimmt werden. Der femorale Bohrkanal wurde auf der rechten Seite anatomisch platziert, auf der linken Seite lag der Bohrkanal proximal der von Schöttle beschriebenen Stelle.

Eine dritte Reluxation trat bei einer Patientin auf, die im Alter von 15 Jahren auf der rechten Seite eine Rekonstruktion des MPFL erhielt. Die Kniescheibe war zuvor mehrmals luxiert. Der CDI betrug 1,5, der femorale Bohrkanal wurde hier anatomisch platziert. Eine MRT-Bildgebung zur Beurteilung des Sulcuswinkels, des TT-TG- und des TT-PCL-Abstandes lag nicht vor.

Im vierten Fall luxierte die Kniescheibe bei einer Patientin, die im Alter von 21 Jahren operiert wurde. Der CDI war mit 1,8 deutlich vergrößert, der TT-TG-Abstand betrug 12,6 mm und der TT-PCL-Abstand 16,5 mm. Der Sulcuswinkel war mit  $155^\circ$  vergrößert. Vor der Operation war die Kniescheibe einmal luxiert. Intraoperativ lag trochlear bereits ein Knorpelschaden  $3^\circ$  nach Outerbridge vor. Die Platzierung des Bohrkanals war anatomisch.

## Ergebnisse

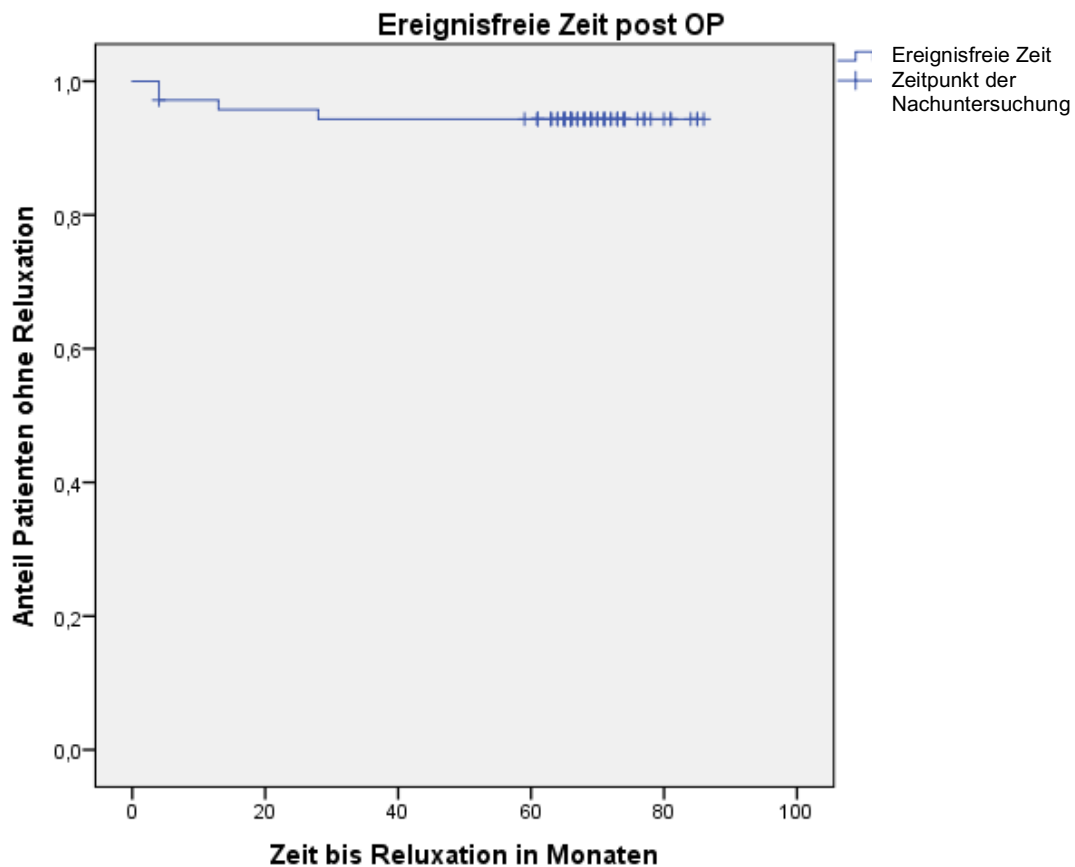


Abbildung 15: Zeit bis zu den aufgetretenen Relaxationen postoperativ

### 3.3.2 Postoperative Komplikationen

Nach der Rekonstruktion des MPFLs sind die vier oben genannten Kniegelenke (5,6%) wegen Relaxationen der Patella erneut patella-stabilisierend und sechs weitere Kniegelenke (8,5%) aus anderen Gründen erneut operiert worden. Hier wurde in einem Fall (1,4%) eine Mikrofrakturierung an der Kniescheibe durchgeführt, in zwei Fällen (2,8%) retropatellar ein Debridement des Gelenkknorpels durchgeführt, bei einem Knie (1,4%) wurden Verwachsungen im Bereich des lateralen Recessus entfernt und der Knorpel an der lateralen Femurkondyle geglättet, ein Kniegelenk (1,4%) wurde bei Verdacht auf ein infiziertes Hämatom eine Woche postoperativ revidiert und ein Patient (1,4%) erhielt aufgrund einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes eine Rekonstruktion.

### 3.3.3 Beurteilung der femoralen Insertion

Die Platzierung des femoralen Bohrkanals konnte in 58 Fällen (81,7%) anhand eines streng seitlichen Röntgenbildes beurteilt werden, davon wurde bei 48



## Ergebnisse

Kniegelenken (82,8%) eine nach Schöttle et al. korrekte anatomische Position gewählt (Schöttle, Schmeling et al. 2007). In 10 Fällen (17,2%) wurde das Transplantat extraanatomisch befestigt. Bei acht Kniegelenken (13,8%) lag der BohrkanaI weiter proximal, bei einem Kniegelenk (1,7%) distal und in einem Fall (1,7%) dorsal der beschriebenen Position.

### 3.4 Klinische Daten

#### 3.4.1 Körperliche Untersuchung

Die Kniegelenke, die im Verlauf nach der Rekonstruktion des MPFL erneut Patella-stabilisierend operiert worden waren, wurden von der körperlichen Untersuchung ausgeschlossen.

##### 3.4.1.1 *Bewegungsausmaß*

Insgesamt lag das Bewegungsausmaß bei den untersuchten operierten Kniegelenken zwischen 115° und 165°, im Mittel bei 148,8°.

Bei 44 von 45 operierten Kniegelenken (97,8%) war die Streckung nicht eingeschränkt, bei einem Patienten (2,2%) konnte bei der Untersuchung ein leichtes Streckdefizit von etwa 5° festgestellt werden. Dieser Patient hatte vor der Rekonstruktion des MPFL mehrere Luxationen und war bereits Patella-stabilisierend voroperiert. In 32 Fällen (71,1%) konnte das Gelenk mit 5-10° leicht überstreckt werden, das Kniegelenk einer adipösen Patientin (2,2%) war etwa 20° überstreckbar.

In 44 von 45 Fällen (97,8%) konnten die operierten Kniegelenke zwischen 130° und 155° flektiert werden, in dem Fall der stark adipösen Patientin lag eine eingeschränkte Beugung von maximal 95° vor. Der Mittelwert der Flexion lag bei 143,8°.

##### 3.4.1.2 *Stabilität der Kniescheibe*

Beim Patella-Glide-Test konnte die Kniescheibe in 15 Fällen (33,3%) um maximal  $\frac{1}{4}$  der Patellabreite nach lateral verschoben werden, bei 28 Kniegelenken (62,2%) um etwa  $\frac{2}{4}$ . In einem Fall (2,2%) ließ sich die Patella um etwa  $\frac{3}{4}$  der Patellabreite lateralisieren. Bei einem untersuchten Patienten (2,2%) war die Durchführung des Tests aufgrund eines stark positiven Apprehension Signs nicht möglich.

## Ergebnisse

Tabelle 3 zeigt die Stabilität der Kniescheibe in Abhängigkeit von der femoralen Platzierung des Transplantates. In den Fällen, in denen das Transplantat femoral nicht exakt anatomisch platziert worden war, ließ sich die Patella in einem Fall um  $\frac{3}{4}$  und in den übrigen Fällen um maximal  $\frac{2}{4}$  der Patellabreite lateralisieren. Zwei Patienten, bei denen das Transplantat femoral nicht exakt positioniert wurde, konnten nicht klinisch nachuntersucht werden.

Tabelle 3: Ergebnisse des Patella-Glide-Tests in Abhängigkeit von der femoralen Platzierung des Transplantates

		Platzierung femoral		Gesamt
		anatomisch	extraanatomisch	
<b>Patella-Glide-Test</b>	1/4	8 (21,1%)	4 (10,1%)	12 (31,6%)
	2/4	21 (55,3%)	3 (7,9%)	24 (63,2%)
	3/4	0 (0%)	1 (2,6%)	1 (2,6%)
	4/4	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Durchführung nicht möglich		1 (2,6%)	0 (0%)	1 (2,6%)
<b>Gesamt</b>		30 (78,9%)	8 (21,1%)*	38 (100%)**

Anzahl n und Anteil in %

\*Fälle mit extraanatomischer Platzierung, die nicht klinisch untersucht wurden: n = 2

\*\*Fälle, die klinisch untersucht wurden, bei denen bei fehlendem radiologischem Bildmaterial die femorale Platzierung nicht beurteilt werden konnte: n = 7

Das Apprehension Sign war bei den Kniegelenken nach Rekonstruktion des MPFL in 40 von 45 Fällen (88,9%) negativ.

Zwei von drei Patienten mit einer Trochleadysplasie Typ D hatten ein positives Apprehension Sign (Tabelle 4).

Tabelle 4: Ergebnisse des Apprehension Sign-Tests in Abhängigkeit vom Typ der Trochleadysplasie

Apprehension Sign	Trochleadysplasie					Gesamt
	keine	Typ A	Typ B	Typ C	Typ D	
<b>positiv</b>	1 (2,3%)	1 (2,3%)	1 (2,3%)	0 (0%)	2 (4,5%)	5 (11,4%)
<b>negativ</b>	7 (15,9%)	15 (34,1%)	11 (25%)	5 (11,4%)	1 (2,3%)	39 (88,6%)
<b>Gesamt</b>	8 (18,2%)	16 (36,4%)	12 (27,3%)	5 (11,4%)	3 (6,8%)	44 (100%)*

Anzahl n und Anteil in %

\*in einem Fall konnte bei fehlendem radiologischem Bildmaterial die Trochleakonfiguration nicht beurteilt werden.

## Ergebnisse

Außerdem lag bei vier der fünf Kniegelenke mit positivem Apprehension Sign eine Patella alta vor (Tabelle 5).

Tabelle 5: Ergebnisse des Apprehension Sign-Tests in Abhängigkeit von der Patella-Höhe

Apprehension Sign	Patella alta (CDI > 1,2)		Gesamt
	Ja	Nein	
positiv	4 (8,9%)	1 (2,2%)	5 (11,1%)
negativ	31 (68,9%)	9 (20,0%)	40 (88,9%)
<b>Gesamt</b>	<b>35 (77,8%)</b>	<b>10 (22,2%)</b>	<b>45 (100%)</b>

Anzahl n und Anteil in %

Acht Kniegelenke wurden klinisch untersucht, bei denen das Transplantat femoral nicht exakt im beschriebenen Punkt fixiert worden war. Das Apprehension Sign war in allen Fällen negativ.

### 3.4.1.3 Status der Muskulatur

Der Umfang des Oberschenkels 10 cm proximal des Gelenkspaltes variierte zwischen 27 und 67 cm und betrug im Durchschnitt 42,38 cm.

Bei 18 der klinisch untersuchten Patienten (40%) war kein Unterschied zur Gegenseite messbar, in 16 Fällen (35,6%) war das operierte Bein mit einem Unterschied von 1-2 cm schlanker als die Gegenseite. Bei zwei Patienten (4,4%) lag die Differenz bei 3 cm.

Vier Patienten (8,9%) hatten auf der operierten Seite einen größeren Oberschenkelumfang, der Unterschied lag in drei Fällen (6,7%) bei 1 cm und in einem Fall (2,2%) einer adipösen Patientin ohne Luxation oder Operation des gegenseitigen Kniegelenks bei 5 cm.

25 Patienten (55,5%) hatten keine Verletzung des kontralateralen Kniegelenks, neun Patienten (20%) hatten auch auf der Gegenseite Luxationen oder Subluxationen, bei sechs Patienten (13,3%) war das Kniegelenk der Gegenseite bereits operiert worden.

In fünf Fällen (11,1%) konnte kein Vergleich erfolgen. Zwei Patienten wurden mit beiden Kniegelenken in die Studie eingeschlossen, in einem Fall war bei einer frischen Verletzung des kontralateralen Kniegelenks eine Untersuchung nicht möglich.

## Ergebnisse

Der Wilcoxon-Vorzeichen-Rangsummen-Test ergab einen Unterschied ( $p=0,007$ ) der operierten Seite ( $42,0 \pm 6,5$  cm) im Vergleich zur Gegenseite ( $42,8 \pm 6,1$  cm).

### 3.4.2 Fragebögen

Die Auswertung der Fragebögen ergab eine signifikante Zunahme der Ergebnisse des Kujala- und des Lysholm-Fragebogens von präoperativ zu postoperativ ( $p < 0.001$ ), die Auswertung der Tegner-Aktivitätsskala ergab keine signifikante Veränderung ( $p = 0,41$ ).

### 3.4.3 Kujala Anterior Knee Pain Scale

Die Veränderungen im Kujala-Fragebogen zeigten eine klinisch relevante Zunahme der Werte von im Mittel 68,8 auf 88,2, der Median stieg von präoperativ 71 auf postoperativ 93 ( $p < 0,001$ ;  $n = 47$ ).

Tabelle 6: Mittelwert, Minimum und Maximum des Kujala-Scores, Vergleich verschiedener Subgruppen

		Kujala Prä- OP	Kujala Post- OP	Signifikanz p
<b>Trochleadysplasie</b> (Nicht beurteilbar n = 2)	Mild (n=20) (keine + A)	71,8 (30-92)	88,1 (52-100)	0,003
	Stark (n=25) (B - D)	67,5(19-92)	88,2 (49-100)	0,000
<b>Signifikanz p</b>		0,638	0,863	
<b>CDI</b> (Nicht beurteilbar n = 1)	$\leq 1,2$ (n=10)	66,1(34-92)	92,3(51-100)	0,007
	$> 1,2$ (n=36)	70,3(19-92)	87,3 (49-100)	0,000
<b>Signifikanz p</b>		0,566	0,165	
<b>Luxationen Prä-OP</b>	0 (n=1)	73	72	-
	1 (n=8)	81,9 (19-92)	94,8 (86-100)	0,071
	2 (n=9)	74,2 (32-92)	85,1 (52-100)	0,236
	$\geq 3$ (n=29)	63,3 (30-90)	87,8 (49-100)	0,000
<b>Signifikanz p</b>		0,002	0,912	
		0,006	0,613	
<b>Femorale Position</b> (Nicht beurteilbar n = 10)	Anatomisch (n=29)	72,7 (34-92)	85,3 (49-100)	0,001
	Extra- anatomisch (n=8)	59,1 (19-92)	95,1 (76-100)	0,012
<b>Signifikanz p</b>		0,345	0,057	

## Ergebnisse

<b>Epiphysenfugen</b> (Nicht beurteilbar n = 2)	Offen (n=12)	73,8 (19-92)	89,7 (52-100)	0,036
	Geschlossen (n=33)	66,6 (30-92)	87,8 (49-100)	0,000
<b>Signifikanz p</b>		0,177	0,483	
<b>Vor-OP</b>	Keine (n=36)	72,1 (19-92)	91,5 (52-100)	0,000
	Patella- stabilisierend (n=10)	57,3 (30-79)	77,2 (49-98)	0,011
<b>Signifikanz p</b>		0,016	0,005	
	Sonstige (n=1)	66	78	-
<b>Knorpelschaden</b>	Kein oder leicht ≤ 2 (n=30)	67,7 (30-92)	87,9 (51-100)	0,000
	Schwer > 2 oder Flake (n=17)	71,5 (19-92)	88,6 (49-100)	0,001
<b>Signifikanz p</b>		0,470	0,991	

Die Ergebnisse des Kujala-Fragebogens ergaben sowohl bei den Patienten mit einer Patella alta oder einer schweren Trochleadysplasie als auch ohne die genannten Risikofaktoren eine Verbesserung der Funktion und Beschwerden der Kniegelenke im Alltag.

In drei Fällen (6,4%) erreichten die Patienten beim Kujala-Score postoperativ keine 60 Punkte (49, 51, 52). Eine Abnahme des Scores von präoperativ zu fünf Jahren postoperativ zeigte sich in fünf Fällen (10,6%).

Bei der Beantwortung der Frage nach abnormalen und schmerzhaften Bewegungen der Kniescheibe nach der Operation gaben die Patienten diese in drei Fällen (6,4%) gelegentlich bei Alltagsaktivitäten und in zehn Fällen (21,3%) gelegentlich bei sportlicher Aktivität an. Diese Patienten hatten alle eine Patella alta.

### 3.4.4 Lysholm-Score

Insgesamt ergab die Auswertung des Lysholm-Scores eine Verbesserung der Funktion des Kniegelenks im Alltag ( $p < 0,001$ ;  $n = 48$ ). Der Median stieg von 69 vor der Operation auf 95 fünf Jahre nach der Operation, der Mittelwert von 71,3 auf 88,4.

## Ergebnisse

Tabelle 7: Mittelwert, Minimum und Maximum des Lysholm-Scores, Vergleich verschiedener Subgruppen

		Lysholm Prä-OP	Lysholm Post-OP	Signifikanz p
<b>Trochleadysplasie</b> (Nicht beurteilbar n = 2)	Mild (n=21) (keine + A)	73,6 (30-100)	88,2 (49-100)	0,013
	Stark (n=25) (B - D)	71,3 (24-100)	87,8(28-100)	0,009
<b>Signifikanz p</b>		0,731	0,982	
<b>CDI</b> (Nicht beurteilbar n = 1)	≤ 1,2 (n=10)	69,1 (30-100)	89,8 (28-100)	0,093
	> 1,2 (n=37)	73,1 (24-100)	87,9 (49-100)	0,001
<b>Signifikanz p</b>		0,592	0,337	
<b>Luxationen Prä-OP</b>	0 (n=1)	60	78	-
	1 (n=8)	89,3 (24-100)	96,1 (84-100)	0,715
	2 (n=9)	73 (34-100)	83,9 (49-100)	0,312
	≥ 3 (n=30)	66,4 (29-100)	88,0 (28-100)	0,000
<b>Signifikanz p</b>	< 3 - ≥ 3	0,047	0,727	
	< 2 - ≥ 2	0,016	0,199	
<b>Femorale Position</b> (Nicht beurteilbar n = 11)	Anatomisch (n=29)	76,5 (48-100)	84,6 (28-100)	0,074
	Extra- anatomisch (n=8)	62,5 (24-100)	97,5 (90-100)	0,028
<b>Signifikanz p</b>		0,227	0,035	
<b>Epiphysenfugen</b> (Nicht beurteilbar n = 2)	Offen (n=12)	74,8 (24-100)	92,3 (49-100)	0,028
	Geschlossen (n=34)	69,5 (30-100)	87,6 (28-100)	0,001
<b>Signifikanz p</b>		0,414	0,292	
<b>Vor-OP</b>	Keine (n=36)	73,9 (24-100)	91,8 (49-100)	0,000
	Patella- stabilisierend (n=11)	64,7 (36-87)	77,7 (28-100)	0,100
<b>Signifikanz p</b>		0,180	0,008	
<b>Knorpelschaden</b>	Sonstige (n=1)	52	83	-
	Kein oder leicht ≤ 2 (n=30)	70,9 (29-100)	89,0 (28-100)	0,002
	Schwer > 2 oder Flake (n=18)	72,0 (24-100)	87,3 (60-100)	0,011
<b>Signifikanz p</b>		0,830	0,616	

## Ergebnisse

Tabelle 7 zeigt bei Patienten mit mehreren Luxationen vor der MPFL-Rekonstruktion eine deutlichere Zunahme des Lysholm-Scores als bei Patienten mit nur einer Luxation vor der MPFL-Rekonstruktion. Ein besseres postoperatives Ergebnis im Lysholm-Score wurde bei den Patienten erreicht, die zuvor noch nicht Patella-stabilisierend operiert worden waren.

In vier Fällen (8,3%) erreichten die Patienten beim Lysholm-Score postoperativ höchstens 60 Punkte (28, 49, 59, 60). Eine Abnahme des Scores von prä- zu fünf Jahren postoperativ zeigte sich in acht Fällen (16,7%).

Die vierte Frage des Lysholm-Scores zur Instabilität postoperativ beantwortete ein Patient (2,1%) mit der Antwortmöglichkeit „bei jedem Schritt“. Das betroffene Kniegelenk hatte eine Dysplasie der Trochlea Typ D sowie eine Patella alta. In fünf Fällen (10,4%) wurde eine Instabilität „gelegentlich bei Alltagsaktivitäten“ angegeben. Von diesen Kniegelenken hatten vier eine Patella alta, zwei in Kombination mit einer Trochleadysplasie Typ A, eins mit einer Dysplasie Typ B und in einem Fall ohne Dysplasie der Trochlea. Ein Kniegelenk hatte keine Patella alta bei einer Trochleadysplasie Typ B. In neun Fällen (18,7%) verspürten die Patienten „selten während des Sports oder anderer starker Anstrengung“ eine Instabilität, bei 31 (64,6%) der operierten Kniegelenke gaben die Patienten an, „niemals ein „giving way“ (= einknicken)“ zu verspüren.

### 3.4.5 Tegner Aktivitätsskala

Die Auswertung der Tegner-Aktivitätsskala ergab insgesamt keinen Unterschied des Aktivitätsniveaus der Patienten fünf bis sechs Jahre nach der Operation im Vergleich zur Situation vor der Operation ( $p = 0,41$ ;  $n = 52$ ), der Mittelwert lag präoperativ bei 5,15 und postoperativ bei 4,92, der Median präoperativ bei 4 und postoperativ bei 4,5.

*Tabelle 8: Mittelwert, Minimum und Maximum der Tegner-Aktivitätsskala, Vergleich verschiedener Subgruppen*

		<b>Tegner Prä- OP</b>	<b>Tegner Post- OP</b>	<b>Signifikanz p</b>
<b>Trochleadysplasie</b> (Nicht beurteilbar n = 2)	Mild (n=24) (keine + A)	5,1 (3-9)	4,8 (3-7)	0,343
	Stark (n=26) (B - D)	5,1 (2-9)	5,0 (2-9)	0,858
<b>Signifikanz p</b>		0,720	0,631	

## Ergebnisse

<b>CDI</b> (Nicht beurteilbar n = 1)	≤ 1,2 (n=10)	4,7 (3-7)	4,7 (3-7)	0,891
	> 1,2 (n=41)	5,3 (2-9)	5,0 (2-9)	0,369
<b>Signifikanz p</b>		0,497	0,651	
<b>Luxationen Prä-OP</b>	0 (n=1)	7	4	-
	1 (n=8)	6,4 (4-9)	4,8 (3-7)	0,027
	2 (n=10)	5,6 (3-9)	5,4 (3-7)	0,786
	≥ 3 (n=33)	4,7 (2-9)	4,9 (2-9)	0,474
<b>Signifikanz p</b>				
	< 3 - ≥ 3	0,015	0,569	
	< 2 - ≥ 2	0,017	0,549	
<b>Femorale Position</b> (Nicht beurteilbar n = 11)	Anatomisch (n=33)	5,1 (2-9)	4,9 (3-9)	0,515
	Extra- anatomisch (n=8)	5,6 (3-9)	5,8 (4-7)	1,000
<b>Signifikanz p</b>		0,469	0,085	
<b>Epiphysenfugen</b> (Nicht beurteilbar n = 2)	Offen (n=12)	5,7 (4-7)	4,6 (3-7)	0,026
	Geschlossen (n=38)	5,0 (2-9)	5,0 (2-7)	0,916
<b>Signifikanz p</b>		0,115	0,410	
<b>Vor-OP</b>	Keine (n=40)	5,3 (2-9)	4,8 (2-7)	0,160
	Patella- stabilisierend (n=11)	4,5 (2-9)	5,4 (3-9)	0,106
<b>Signifikanz p</b>		0,115	0,389	
	Sonstige (n=1)	9	4	-
<b>Knorpelschaden</b>	Kein oder leicht ≤ 2 (n=33)	5,0 (2-9)	4,7 (2-7)	0,551
	Schwer > 2 oder Flake (n=19)	5,5 (2-9)	5,3 (3-9)	0,572
<b>Signifikanz p</b>		0,227	0,280	

Weder in der Gruppe der Kniegelenke ohne oder mit einer milden Trochleadysplasie noch in der Gruppe mit einer starken Dysplasie ergab die Tegner-Aktivitätsskala einen Unterschied von präoperativ zu postoperativ.

Auch die Unterteilung nach der Schwere des Knorpelschadens zum Zeitpunkt der Operation ergab in keiner Gruppe eine Veränderung von prä- zu postoperativ. Patienten mit offenen Wachstumsfugen zum Operationszeitpunkt reduzierten ihr



## Ergebnisse

Aktivitätsniveau ( $p = 0,026$ ), bei Patienten mit bereits geschlossenen Wachstumsfugen änderte sich das Aktivitätsniveau nicht ( $p = 0,916$ ).

Einen Unterschied der postoperativen zu den präoperativen Werten zeigte sich in der Subgruppe der Patienten mit einer Luxation vor der Operation, die Patienten reduzierten ihre Aktivität ( $p=0,027$ ). In der Gruppe der Patienten mit mehr Luxationen zeigte sich keine Veränderung ( $p=0,786$  und  $p=0,474$ ).

### 4 Diskussion

#### 4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse im wissenschaftlichen Kontext

Die operative Behandlung der Patellainstabilität ist aufgrund der hohen Inzidenz und der hohen Reluxationsraten nach einer Erstluxation häufig. In der Literatur werden unterschiedliche Vorgehensweisen zur Indikationsstellung und operativen Therapie beschrieben (Rhee, Pavlou et al. 2012, Erickson, Mascarenhas et al. 2015, Smith, Donell et al. 2015, Balcarek 2016, Frings J 2017). In der Orthopädischen Klinik König-Ludwig-Haus wurde zur Behandlung der Patellainstabilität der MPFL-Ersatz mittels weichteiliger patellarer Fixation etabliert.

Die Studie zeigt, dass mit dieser Technik gute chirurgische Ergebnisse erzielt werden können. Mit einer Reluxationsrate von 5,63% ist sie vergleichbar mit alternativen in der Literatur beschriebenen operativen Verfahren (Schöttle, Fucentese et al. 2005, Song, Kang et al. 2016). Es zeigt sich, dass die Patienten von dieser Therapiemethode nach einem mittleren Nachuntersuchungszeitraum von 5,8 Jahren durch eine verbesserte Funktion des Kniegelenks im Alltag profitieren.

#### 4.2 Patientencharakteristika

Wie in der vorliegenden Studie besteht in vielen anderen Studien das Patientenkollektiv zum großen Teil aus weiblichen Patienten. In der Studie von Schöttle et al. lag der Anteil der weiblichen Patienten bei 66,7 %, bei Hopper et al. waren 50 von 68 Patienten weiblich (73,6 %) und in der Studie von Kita et al. sogar 78,6 %. Das Patientenkollektiv in dieser Studie war mit einem Durchschnittsalter von 20,9 Jahren zum Zeitpunkt der Operation im Durchschnitt etwas jünger als in vielen anderen Studien und hatte damit ein vergleichsweise hohes Risiko für eine Reluxation (Sanders, Pareek et al. 2018). Bei Hopper et al. lag das Durchschnittsalter bei 23,9 Jahren, bei Tscholl et al. bei 25,2 Jahren und in der Studie von Schöttle et al. aus dem Jahr 2005 sogar bei 30,1 Jahren. In der Studie von Wagner et al. lag das Durchschnittsalter hingegen nur bei 19,1 Jahren.

## Diskussion

Mit fast 80 % der Fälle hatten vergleichsweise viele Patienten in der vorliegenden Studie den Risikofaktor einer Patella alta. Dieser Wert lag in der Studie von Schöttle et al. bei 27 %, bei Wagner et al. bei 58 %. In anderen Studien wurde bei Patienten mit einer Patella alta begleitend ein Transfer der Tuberositas tibiae durchgeführt (Hopper, Leach et al. 2014, Tscholl, Wanivenhaus et al. 2019).

Der TT-TG-Abstand lag in dieser Studie durchschnittlich bei 15 mm und damit höher als in der Studie von Tscholl et al., aber etwas geringer als in der Studie von Wagner et al.

Die Verteilung der Typen der Trochleadysplasie ist in den einzelnen Studien sehr unterschiedlich. Während in der Studie von Hopper et al. nur 11 % der Patienten eine höhergrade Trochleadysplasie Typ C oder D nach Dejour hatten, lag der Anteil bei Tscholl et al. in der Gruppe mit isolierter Rekonstruktion des MPFL mit 62,5 % deutlich höher. Mit 23,5% lag der Anteil der Trochleae mit einer Dysplasie Typ C oder D nach Dejour in dieser Studie dazwischen. In dem Patientenkollektiv von Kita et al. lag der Anteil der Patienten ohne dysplastische Trochlea bei 11,3 % und damit ähnlich hoch wie in dieser Studie. Der Anteil der Patienten mit einer Trochleadysplasie Typ A nach Dejour betrug 31,8 %, Typ B 13,6 % und Typ C 18,2 %. Der Anteil der Kniegelenke mit einer Trochleadysplasie Typ D nach Dejour war mit 25 % deutlich höher im Vergleich zu dieser Studie (Schöttle, Fucentese et al. 2005, Wagner, Pfalzer et al. 2013, Hopper, Leach et al. 2014, Kita, Tanaka et al. 2015, Tscholl, Wanivenhaus et al. 2019). In vielen anderen Studien wurden Patienten mit ausgeprägten Risikofaktoren wie einer schweren Form der Trochleadysplasie grundsätzlich ausgeschlossen (Song, Kang et al. 2016, Niu, Qi et al. 2017)

### 4.3 Postoperative Ergebnisse

#### 4.3.1 Reluxationsrate

In der Literatur werden verschiedene Techniken für die patellare Fixierung bei MPFL-Plastik beschrieben. Zur Befestigung des Transplantates an der Patella können Titan-Anker, transossäre Polyester-Nähte oder Interferenzschrauben verwendet werden. Diese werden zum Beispiel über eine Knochenbrücke oder durch transossäre Tunnel fixiert. Darüber hinaus existieren mehrere Methoden ohne Verwendung von Schrauben oder Ankern in der Patella (Lenschow,

## Diskussion

Schliemann et al. 2013). Die in der Literatur angegebenen Relaxationsraten sind sehr unterschiedlich und betragen bis zu 17% (Hopper, Leach et al. 2014). Die patellare Fixationsmethode kann dabei entscheidenden Einfluss auf das postoperative Ergebnis haben.

Eine geringere Rate an Relaxationen als in dieser Studie erreichten Schöttle et al. Sie entwickelten eine Methode, bei der sie eine knöcherne Rinne von etwa 2 cm Länge an der medialen Seite der Knieschiebe für die Sehne schaffen und die Gracilissehne mit nicht resorbierbaren Nähten befestigen (Schöttle, Schmeling et al. 2009). Wagner et al. untersuchten das Ergebnis dieser Methode und erhielten eine Relaxationsrate von nur 2% (Wagner, Pfalzer et al. 2013). Der Nachuntersuchungszeitraum in dieser Studie betrug allerdings lediglich zwölf Monate.

Hopper et al. veröffentlichten im Jahr 2014 Ergebnisse von 72 operierten Kniegelenken, bei denen das MPFL rekonstruiert wurde. Das Transplantat war patellar mit Interferenz-Schrauben in Knochentunneln befestigt worden. In zwölf Fällen luxierte die Patella erneut, das entspricht einer deutlich höheren Relaxationsrate von 16,67% (Hopper, Leach et al. 2014).

Kita et al. zogen zur Befestigung an der Patella das Transplantat in Bohrkanäle und fixierten die Enden mit einem Endobutton auf der lateralen Seite der Patella. Sie erhielten eine vergleichbare Relaxationsrate von 4,5%, bei acht von 44 Kniegelenken (18,2%) blieb das Apprehension Sign positiv (Kita, Tanaka et al. 2015).

Bei dem Vergleich der Relaxationsraten als Maß für das postoperative Ergebnis der verschiedenen Techniken muss berücksichtigt werden, dass nach der Rekonstruktion des MPFL mit manchen Techniken gehäuft Frakturen der Patella auftreten. Dieses Risiko wird durch die Anlage von Bohrkanälen auch ohne Einbringen von weiterem Fremdmaterial erhöht. Dies zeigt sich sowohl in der Studie von Kita et al., in der es im Verlauf bei drei von 44 Patienten (6,8 %) zu einer Patellafraktur kam (Kita, Tanaka et al. 2015), als auch bei oben genannter Untersuchung von Hopper et al. Hier folgte in vier von 72 Fällen (5,6 %) auf die Operation eine Fraktur der Patella (Hopper, Leach et al. 2014). In der hier untersuchten Studie kam es im postoperativen Verlauf bei keinem der

## Diskussion

untersuchten Patienten zu einer Fraktur der Patella. Die Risikoerhöhung für diese Komplikation durch die MPFL-Rekonstruktion kann durch die weichteilige Fixierung des Transplantates an der Kniescheibe vermieden werden. Ein damit einhergehender Nachteil ist die möglicherweise initial geringere Belastungsfähigkeit bedingt durch die weichteilige im Vergleich zur knöchernen Fixation. Die Reluxationen traten bei den hier untersuchten Patienten allerdings nach 16 bis 112 Wochen und damit nicht direkt postoperativ auf. Biomechanische Daten zur primären Stabilität der verwendeten Technik fehlen bislang.

Liu et al. veröffentlichten 2018 eine Studie zum Ergebnis der Rekonstruktion des MPFL. Sie befestigten das Transplantat an der Patella mit einem Sackloch, die sie als Dockingtechnik beschreiben. Bei drei von 121 Patienten, bei denen das MPFL rekonstruiert worden war, kam es zu postoperativen Luxations- oder Subluxationsereignissen. Das entspricht einer Reluxationsrate von 2,5% (Liu, Brady et al. 2018). Bei Patienten mit einem vergrößerten TT-TG-Abstand und einer hochstehenden Patella führten sie in der Regel begleitend eine Osteotomie der Tuberositas tibiae durch. Deshalb wurden in dieser Studie von Liu et al. nur wenige Patienten mit ausgeprägten Risikofaktoren eingeschlossen. Diese Tatsache kann die niedrigere Reluxationsrate erklären.

Ein Ausschluss der Patienten mit ausgeprägten Risikofaktoren in den Untersuchungen zur MPFL-Rekonstruktion findet sich in vielen Studien und sollte bei dem Vergleich berücksichtigt werden. Auch Song et al. schlossen in ihrer Metaanalyse Studien, in denen Patienten mit ausgeprägten Risikofaktoren untersucht worden waren, aus. Sie fanden eine Reluxationsrate von bis zu 10,7% und beurteilten die Ergebnisse der MPFL-Rekonstruktion unabhängig von der Technik als zufriedenstellend (Song, Kang et al. 2016).

Der Erfolg verschiedener Operationsmethoden lässt sich alleine anhand der Reluxationsraten nicht miteinander vergleichen. Die in der Literatur vorhandenen Untersuchungen unterscheiden sich zum Teil stark in den Untersuchungszeiträumen. Es gibt wenige Studien mit einem mittel- oder langfristigen Nachuntersuchungszeitraum. Liu et al. untersuchten die Patienten mindestens zwei Jahre nach der Operation (Liu, Brady et al. 2018), Wagner et

## Diskussion

al. wie oben erwähnt zwölf Monate nach der Operation (Wagner, Pfalzer et al. 2013) und damit nach einem deutlich kürzeren Zeitraum im Vergleich zu dieser Studie.

Besser vergleichbar ist eine Studie von Tscholl et al. aus dem Jahr 2019, in der das postoperative Ergebnis nach isolierter MPFL-Rekonstruktion bei 72 Kniegelenken untersucht wurde. Es kam in insgesamt vier Fällen zu Reluxations- oder rezidivierenden Subluxations-Ereignissen. Das entspricht einer im Vergleich zu dieser Studie nahezu identischen Quote an Therapie-Versagern von 5,6%. Die Autoren untersuchten ihre Patienten retrospektiv mit einem durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitraum von 5,4 Jahren. Allerdings variierte dieser Zeitraum mit einer Standardabweichung von  $\pm 3,1$  Jahren recht stark (Tscholl, Wanivenhaus et al. 2019). Das gleiche gilt für die Studie von Kita et al., die die Ergebnisse der MPFL-Rekonstruktion bei ihren Patienten zwei bis neun, im Schnitt 3,2 Jahre nach der Operation analysierten (Kita, Tanaka et al. 2015).

Offene Epiphysenfugen stellen Kontraindikationen für weitere Korrekturen wie einen Transfer der Tuberositas tibiae oder eine Trochleoplastik dar und schränken die Therapiemöglichkeiten ein. Deshalb hat sich die MPFL-Plastik bei strecknaher Instabilität der Patella mittlerweile auch bei Patienten im Wachstum als Therapie der Wahl etabliert (Hensler, Sillanpaa et al. 2014, Schutzenberger 2019). Die Reluxationsrate in der Gruppe der Patienten mit offenen Wachstumsfugen liegt in dieser Studie bei 13,33% (2/15), bei den Patienten mit geschlossenen Wachstumsfugen bei 2,04% (1/49). Dies kann am jüngeren Alter dieser Patienten liegen, die Inzidenz der Patellaluxation nimmt, wie Sanders et al. feststellten, im Erwachsenenalter ab (Sanders, Pareek et al. 2018). Insgesamt ist die Fallzahl in dieser Studie aber zu gering, um eine genaue Beurteilung des Reluxationsrisikos bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen zu treffen.

### 4.3.2 Platzierung der femoralen Insertion

Bei zehn Kniegelenken wurde die Lage des femoralen Bohrkanals als extraanatomisch gewertet. In den meisten Fällen lag der Bohrkanal weiter proximal als von Schöttle beschrieben. Bollier et al. beschrieben bei deutlich proximalerer Position des Bohrkanals Probleme bei der Flexion (Bollier,

## Diskussion

Fulkerson et al. 2011). Diese traten bei den betroffenen Patienten in dieser Studie nicht auf. Es konnten keine Einschränkungen in der Beweglichkeit festgestellt werden. Auch die Stabilität wird in dieser Studie durch eine Fehllage des Bohrkanals nicht gemindert.

Überraschenderweise erzielten die Patienten, bei denen das Transplantat nicht exakt in dem von Schöttle et al. beschriebenen Punkt femoral positioniert worden war, postoperativ im Durchschnitt höhere Werte bei den Funktionsscores als Patienten mit korrekter femoraler Position. Beim Lysholm-Score war dieser Unterschied signifikant ( $p=0,035$ ), präoperativ war dieser Unterschied nicht signifikant ( $p=0,227$ ).

Dass sich in dieser Studie keine negativen Auswirkungen auf das klinische postoperative Ergebnis zeigten, kann daran liegen, dass es sich meist um eine Fehlpositionierung mit geringer Abweichung von dem von Schöttle et al. beschriebenen Punkt handelte. Zudem war die Fallzahl mit insgesamt zehn Patienten mit einer extraanatomischen Position des femoralen Bohrkanals, von denen acht klinisch nachuntersucht wurden, recht gering.

Nichtsdestotrotz konnte in dieser Studie weder eine subjektive Beeinträchtigung der Patienten in den Fragebögen noch eine objektive Einschränkung in der klinischen Untersuchung durch eine leichte Fehllage des Bohrkanals festgestellt werden.

### 4.4 Klinische Daten

#### 4.4.1 Körperliche Untersuchung

Die Ergebnisse der körperlichen Untersuchung, insbesondere des Patella-Glide-Tests, zeigen, dass durch die Rekonstruktion des MPFL bei fast allen Patienten eine sehr gute Stabilität der Kniescheibe erreicht wurde. In fast 90 % der Fälle war das Apprehension Sign nach fünf Jahren negativ.

Fast alle Patienten wiesen postoperativ eine sehr gute Beweglichkeit auf. Lediglich bei einer Patientin war bei der Nachuntersuchung ein leichtes Streckdefizit von etwa  $5^\circ$  feststellbar. Diese hatte vor der Operation rezidivierende Luxationen und war bereits mit einer medialen Raffung und einem lateralen Release voroperiert. Die Beugung war bei bis auf einer stark adipösen Patientin keinem Patienten eingeschränkt.

## Diskussion

Die Untersuchung der Oberschenkelmuskulatur zeigte bei 40 % der klinisch untersuchten Kniegelenke zwar einen geringen, aber auch nach 5 Jahren noch bestehenden Unterschied der Trophik der Oberschenkelmuskulatur. Wird nur die Oberschenkelmuskulatur der Patienten ohne Verletzung oder Operation des kontralateralen Kniegelenks verglichen, liegt der Anteil mit einem muskulären Defizit bei 48 %. Engelhardt et al. beschreiben eine veränderte propriozeptive Wahrnehmung im Kniegelenk als Ursache des häufig beobachteten muskulären Defizits nach Trauma und Operationen (Engelhardt, Freiwald et al. 2000).

Die Entnahme einer Sehne der Hamstringmuskulatur ist eine auch in anderen Bereichen häufig durchgeführte Methode. Vor allem in der Kreuzbandchirurgie wurde eine mögliche Kraftminderung durch die Entnahme der Semitendinosus- und/oder Gracilissehne oft untersucht. Manche Studien ergeben keine Unterschiede, andere Autoren finden Hinweise auf eine verminderte Kraft der Hamstringmuskulatur nach Sehnenentnahme (Lipscomb, Johnston et al. 1982, Tashiro, Kurosawa et al. 2003). Eriksson et al. beschreiben eine Regeneration der Semitendinosussehne (Eriksson, Larsson et al. 1999). Ob eine alleinige Entnahme der Gracilissehne ein Kraftdefizit zur Folge hat, ist nicht ausreichend untersucht. Keiner der in dieser Studie untersuchten Patienten gab Beschwerden durch eine Kraftminderung an.

Einige Patienten erwähnten jedoch ein taubes Areal lateral der Entnahmestelle durch eine Läsion oder Irritation des Ramus infrapatellaris des Nervus saphenus als Folge der Sehnenentnahme.

### 4.4.2 Fragebögen

Insgesamt zeigt sich in dieser Studie, dass durch die Rekonstruktion des MPFL eine deutliche Verbesserung des Kujala- und des Lysholm-Scores und damit eine Verbesserung der Funktion der Kniegelenke im Alltag erreicht wird.

Zu diesem Ergebnis kommen auch andere in der Literatur vorhandene Studien, zum Beispiel die von Song et al. aus dem Jahr 2016 oder Testa et al. aus dem Jahr 2017 (Song, Kang et al. 2016, Testa, Camathias et al. 2017).

Wagner et al. erhielten beim Kujala-Score einen ähnlichen Anstieg wie in der vorliegenden Arbeit, im Durchschnitt verbesserte sich der Wert von 70 auf 87



## Diskussion

Punkte ( $p < 0,001$ ) (Wagner, Pfalzer et al. 2013), bei Tscholl et al. verbesserte sich der Kujala-Score nach isolierter Rekonstruktion des MPFLs etwas deutlicher als in dieser Studie. Die Werte stiegen im Schnitt von 52,7 auf 74,0 Punkte und lagen damit prä- und postoperativ aber niedriger als in dieser Studie (Tscholl, Wanivenhaus et al. 2019).

Bei dem Vergleich der Fragebogendaten mit anderen Studien muss ebenfalls bedacht werden, dass Patienten mit ausgeprägten Risikofaktoren für eine Patellaluxation oft grundsätzlich ausgeschlossen werden. Dies ist in dieser Studie nicht der Fall. Bestehende fortgeschrittene Arthrosezeichen, ausgeprägte Knorpelschäden, eine Trochleadysplasie  $>$  Typ B nach Dejour, ein TT-TG-Abstand  $>$  20 mm und ein vergrößerte Patella-Höhe legten Niu et al. in ihrer Studie unter anderem als Ausschlusskriterien fest. Bei diesen Patienten verbesserten sich der Kujala- und Lysholm-Score von  $58,9 \pm 9,6$  auf  $92,0 \pm 4,8$  ( $p < 0,001$ ) und  $53,3 \pm 5,6$  auf  $91,6 \pm 3,5$  ( $p < 0,001$ ) (Niu, Qi et al. 2017) und damit deutlicher als in der vorliegenden Studie. Werden nur die Patienten mit milder Trochleadysplasie und physiologischem Patellastand betrachtet, liegen in der vorliegenden Studie die postoperativen Werte höher. Bei diesen Patienten verbesserte sich der Kujala-Score von 70,8 (36-90) auf 98,4 (93-100) Punkte, der Lysholm-Score von 71,2 (30-100) auf 97,0 (90-100) Punkte.

Die Fragebogendaten zeigen, dass sowohl die Patienten mit einem geringen Risikoprofil als auch die Patienten mit ausgeprägten Risikofaktoren für eine Patellaluxation eine Verbesserung der Funktion der Kniegelenke durch die isolierte MPFL-Rekonstruktion verspürten. Zwischen den Patienten mit milder und starker Trochleadysplasie, aber auch mit, beziehungsweise ohne Patella alta fanden sich keine Unterschiede.

Erwartungsgemäß wird sowohl im Kujala-, als auch beim Lysholm-Score deutlich, dass die Patienten mit mehreren Luxationen eine größere Verbesserung der Kniegelenksfunktion verspürten als die Patienten mit maximal einer Luxation. Präoperativ ergaben die Fragebögen bei Patienten mit mehreren Luxationen eine schlechtere Funktion der Kniegelenke, postoperativ war kein Unterschied feststellbar. Es konnte bei den Patienten mit mehreren Luxationen vor der

## Diskussion

Operation kein Zusammenhang zwischen der Ausprägung der anatomischen Risikofaktoren für eine Patellaluxation und der Anzahl der präoperativen Luxationen gefunden werden. Dies liegt wahrscheinlich daran, dass bei einem hohen Risiko für eine Reluxation die Indikation für eine operativen Therapie oft bereits nach Erstluxation gestellt wurde.

Außerdem ergab die Auswertung beider Fragebögen, dass Patienten, die vor der Rekonstruktion des MPFLs bereits Patella-stabilisierend operiert wurden, postoperativ schlechtere Ergebnisse erreichen als Patienten, die sofort eine Rekonstruktion des MPFLs erhalten. Möglicherweise sind diese Kniegelenke durch rezidivierende Luxationen und Voroperationen stärker vorgeschädigt.

Der Kujala-Score zeigte allerdings auch in der Subgruppe der voroperierten Patienten eine Verbesserung der Gelenksfunktion.

Der Zustand der Epiphysenfugen zum Zeitpunkt der Operation hatte keine Auswirkungen auf die prä- und postoperativen Ergebnisse der Funktionsscores. Die Operation führte sowohl bei den Patienten im Wachstum als auch bei den ausgewachsenen Patienten zu einer Verbesserung der Ergebnisse nach fünf Jahren.

Erstaunlicherweise unterschieden sich die Ergebnisse der Funktionsscores der Patienten mit einem fortgeschrittenen Knorpelschaden  $\geq$  Grad 3 nach Outerbridge zum Operationszeitpunkt kaum von den Patienten ohne oder mit einem geringen Knorpelschaden. Bei beiden Scores gab es sowohl prä- als auch postoperativ keine Unterschiede zwischen diesen Gruppen.

Die Ergebnisse der Fragebögen zeigen in beiden Subgruppen sowohl beim Kujala- als auch beim Lysholm-Score postoperativ höhere Werte. Patienten, bei denen zum Zeitpunkt der Operation bereits ein Knorpelschaden vorlag, profitierten ebenfalls von der MPFL-Rekonstruktion.

Trotzdem müssen die Ergebnisse insgesamt vor dem Hintergrund betrachtet werden, dass bei den meisten Patienten zum Zeitpunkt der Operation bereits ein Knorpelschaden sichtbar war, nur bei 32,4% der Kniegelenke war der Gelenkknorpel intakt.

## Diskussion

In insgesamt zehn Fällen gab es beim Kujala- und/ oder Lysholm-Score eine Abnahme der Werte und/ oder auffallend schlechte postoperative Ergebnisse von höchstens 60 von möglichen 100 Punkten. Auffällig war, dass die klinische Untersuchung bei vier von acht dieser Kniegelenke ein positives Apprehension Sign ergab. Bei fünf dieser Kniegelenke lag ein höhergradiger Knorpelschaden  $\geq$  Grad 3 nach Outerbridge vor.

Von den Patienten, bei denen es zu einer Verschlechterung der Ergebnisse der Funktionsscores kam, gaben diese in drei von neun Fällen nur eine Luxation vor der Operation an. In diesen Fällen, sowie in einem weiteren Fall mit zwei präoperativen Luxationen, wurden präoperativ hohe Scores mit  $\geq 90$  Punkten erreicht. Diese Patienten wurden möglicherweise entweder direkt nach der Erstluxation operiert, oder sie verglichen die postoperative Situation aus anderen Gründen mit der Situation vor der Erstluxation.

Insgesamt wurde durch die Rekonstruktion des MPFLs, gemessen anhand der Tegner-Aktivitätsskala, keine Steigerung des Aktivitätsniveaus der Patienten erreicht.

Die Aktivität der Patienten veränderte sich auch in anderen Studien kaum. In der Studie von Tscholl et al. erhöhte sich die Aktivität im Durchschnitt von 4,6 auf 4,8 (Tscholl, Wanivenhaus et al. 2019). Eine Untersuchung von Hinterwimmer et al. ergab eine mediane Aktivitätsstufe von 5 (3-7) durchschnittlich 16 Monate nach MPFL-Rekonstruktion mit implantatfreier patellarer Fixation (Hinterwimmer, Imhoff et al. 2013).

Patienten mit einer schweren Form der Trochleadysplasie unterschieden sich in ihrer Aktivität postoperativ nicht von den Patienten ohne oder mit einer milden Trochleadysplasie ( $p=0,631$ ). Die postoperativen Ergebnisse des Tegner-Scores der Kniegelenke mit einer Patella alta unterschieden sich ebenfalls nicht von den Ergebnissen der Kniegelenke mit einer physiologischen Höhe der Patella ( $p=0,651$ ).

Patienten mit mehr als zwei Luxationen hatten präoperativ ein geringeres Aktivitätsniveau als Patienten mit weniger Luxationen der Patella. Diese Tatsache ist nachvollziehbar, da die Patienten durch die Instabilität der Patella

## Diskussion

und rezidivierende Luxationen in ihrer Aktivität eingeschränkt waren. Postoperativ war kein Unterschied feststellbar. Patienten, die vor der Operation nur eine Luxation der Patella erlitten hatten und vor dieser Verletzung vermutlich kaum eingeschränkt waren, reduzierten ihre Aktivität.

Bei der Auswertung der Aktivitätsskala muss bedacht werden, dass die Patienten zum Zeitpunkt der Auswertung fünf bis sechs Jahre älter waren als bei der Operation. Einige Patienten erklärten, sie befänden sich derzeit in Ausbildung oder Beruf und könnten aus zeitlichen Gründen nicht mehr so intensiv Sport betreiben wie vor der Operation. Diese Tatsache kann vor allem die Abnahme des Aktivitätsniveaus der jungen Patienten mit offenen Epiphysenfugen zum Zeitpunkt der Operation erklären.

Außerdem kam es in der Zwischenzeit möglicherweise zu weiteren Verletzungen, die nicht das Knie betrafen und deshalb nicht in jedem Fall erfasst wurden. Ein Patient gab zum Beispiel an, er sei in seiner Aktivität durch einen Bandscheibenvorfall nun stark eingeschränkt. Seine Aktivität sank in der Tegner-Skala von Stufe fünf auf drei.

### 4.5 Differenzierte Indikationsstellung zum MPFL-Ersatz bei patellofemoraler Instabilität

Die Ergebnisse vieler Studien zeigen, dass zur Therapie der Patellainstabilität bei Patienten mit ausgeprägter Dysplasie der Trochlea und Patella alta weitergehende Maßnahmen wie eine Trochleoplastik oder ein Versatz der Tuberositas tibiae in Betracht gezogen werden sollten.

Wagner et al. untersuchten das Ergebnis der Operationsmethode von Schöttle et al. zur Rekonstruktion des MPFLs und erhielten eine negative Korrelation zwischen dem Grad der Trochleadysplasie und dem subjektiven funktionellen Ergebnis (Wagner, Pfalzer et al. 2013).

In der Studie von Hopper et al. aus dem Jahr 2014 kam es bei allen sieben Kniegelenken mit einer hochgradigen Dysplasie der Trochlea erneut zur Verrenkung der Kniescheibe (Hopper, Leach et al. 2014).

Kita et al. konnten mit ihrer Studie ebenfalls einen Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen der Schwere der Trochleadysplasie und einer

## Diskussion

verbleibenden Patellainstabilität feststellen, in beiden Fällen einer Reluxation lag eine Trochleadysplasie Typ D vor (Kita, Tanaka et al. 2015).

Fucentese et al. konnten zeigen, dass von einer Trochleaplastik vor allem Patienten mit einem supratrochlearen „Spur“, das bedeutet einer Trochleadysplasie Typ B und D nach Dejour, profitieren (Fucentese, Zingg et al. 2011). Nelitz et al. kombinieren die MPFL-Plastik seit 2007 erfolgreich mit einer Trochleaplastik bei Patienten mit einer hochgradigen Trochleadysplasie und konvexer Eingangsebene. Im Jahr 2015 veröffentlichten sie ihre Ergebnisse: bei 86 Patienten kam es innerhalb des Nachuntersuchungszeitraumes von durchschnittlich 2,5 Jahren zu keiner Reluxation (Nelitz and Williams 2015).

Ein Transfer der Tuberositas tibiae wird häufig bei Patienten mit einem vergrößerten TT-TG-Abstand oder einer Patella alta eingesetzt. Verschiedene Untersuchungen zeigten auch langfristig gute Ergebnisse (Sherman, Erickson et al. 2014, Tigchelaar, van Essen et al. 2015, Longo, Rizzello et al. 2016). Mulliez et al. veröffentlichten 2017 gute Ergebnisse zur MPFL-Rekonstruktion in Kombination mit einem Tuberositastransfer (Mulliez, Lambrecht et al. 2017).

Wir erkannten auch in dieser Studie, dass durch die Rekonstruktion des MPFL bei Patienten mit einer milderer Dysplasie der Trochlea und ohne Patella alta eine bessere Stabilität der Kniescheibe erreicht wird als bei den Patienten mit hochgradiger Dysplasie und hochstehender Kniescheibe. Dies zeigte sich zum einen in den Fällen, in denen es zu einer Reluxation kam. Alle Patienten mit einer Reluxation wiesen eine hochgradige Dysplasie der Trochlea und eine Patella alta auf. Zum anderen wird dies auch bei den Patienten mit positivem Apprehension Sign deutlich, in vier von fünf Fällen lag hier eine Patella alta vor. In zwei von drei Fällen mit einer Trochleadysplasie Typ D ist das Apprehension Sign fünf Jahre postoperativ noch positiv. Hinweise geben außerdem die Fragen nach abnormalen und schmerzhaften Bewegungen der Kniescheibe nach der Operation des KAKPS sowie zur Instabilität im Lysholm-Score.

Das Zusammentreffen unterschiedlicher Pathologien kann auch in dieser Studie als Risikofaktor für ein schlechteres klinisches Ergebnis gewertet werden.

## Diskussion

Die Zufriedenheit der Patienten insgesamt wird dadurch allerdings nicht wesentlich beeinträchtigt, hier gab es postoperativ keine Unterschiede. Sowohl beim Kujala- als auch beim Lysholm-Fragebogen ergab die Auswertung der Fälle mit einer starken Trochleadysplasie in Kombination mit einer Patella alta eine Verbesserung ( $p=0,000$  und  $p=0,011$ ). Dies deckt sich mit den Ergebnissen der Untersuchung von Tscholl et al. (Tscholl, Wanivenhaus et al. 2019). An dieser Stelle muss allerdings berücksichtigt werden, dass die Kniegelenke, bei denen eine erneute Luxation aufgetreten ist, von der Untersuchung mithilfe der Fragebögen ausgeschlossen wurden.

### 4.6 Einschränkungen der Studie

Eine Limitation der Studie ist, dass die mit dem Resultat der Operation zufriedenen Patienten und guten Ergebnissen möglicherweise häufiger bereit waren, an der Studie teilzunehmen und zu einer Nachuntersuchung zu erscheinen. Durch die einfache Teilnahme mit Fragebögen, die den Patienten per Post zugeschickt wurden, wurden auch von den übrigen Patienten Informationen gesammelt. 20% der Patienten konnten dennoch nicht erreicht werden. Trotzdem ist die Nachuntersuchungsquote von 79,8% gerade bei einem sehr jungen Patientenkollektiv als gut zu bewerten.

Die Aussagekraft wird außerdem eingeschränkt, da es keine Kontrollgruppe zum Vergleich gab.

Des Weiteren konnten nicht alle Risikofaktoren bei allen eingeschlossenen Kniegelenken beurteilt werden, da keine zusätzliche Bildgebung für die Studie durchgeführt wurde und nicht in allen Fällen digitalisiertes Material vorhanden war. Darüber hinaus gab es Unterschiede in der Qualität des vorhandenen radiologischen Materials, sodass eine eindeutige Zuordnung der Form der Trochleadysplasie in einzelnen Fällen schwierig war.

Der Einfluss einer erhöhten Torsion des Femurs auf das postoperative Ergebnis wurde in dieser Studie ebenfalls nicht untersucht.

Es kann kritisiert werden, dass auch Patienten in die Studie eingeschlossen wurden, bei denen nach einmaliger Luxation das MPFL rekonstruiert worden war (14 Fälle). Hier gehen manche Autoren davon aus, dass eine Heilung des MPFL bei konservativer Therapie möglich ist (Frosch, Balcarek et al. 2011, Wagner

## Diskussion

2016). Dann wäre die niedrige Reluxationsrate nicht als Ergebnis der Operation zu werten. In dieser Gruppe gab es allerdings eine Reluxation (7,1%). Bei den Patienten mit zwei Luxationen (15 Fälle) kam es ebenfalls zu einer Reluxation (6,67%). In der Gruppe mit mindestens drei Luxationen vor der Operation luxierte die Patella in zwei von 41 Fällen erneut (2,43%). Die Reluxationsrate wurde demnach durch den Einschluss der Patienten mit nur einer Luxation nicht reduziert. Mittlerweile empfehlen immer mehr Autoren, bereits nach primärer Luxation eine operative Therapie der Patellainstabilität in Erwägung zu ziehen (Nwachukwu, So et al. 2016, Zimmerer, Sobau et al. 2018).

Eine weitere Limitation ist in der retrospektiven Datenerfassung zu sehen, da die Daten zum Zustand vor der Operation erst nach fünf bis sechs Jahren bei der Nachuntersuchung von den Patienten erfasst wurden.

Verständnisschwierigkeiten bestanden beim Kujala-Score bei der Frage nach abnormalen und schmerzhaften Bewegungen der Kniescheibe. Der Begriff der Luxation schien einigen Patienten nicht klar zu sein, weshalb hier vom Untersucher gezielt nachgefragt werden musste. Besonders die Patienten mit nur einer Luxation bewerteten die Situation vor der Operation sehr unterschiedlich. Einige beachteten bei der Beantwortung der Fragen die Situation der akuten Verletzung, andere berücksichtigten die Situation vor der Verletzung.

Bei der Tegner-Aktivitätsskala konnten einige Patienten ihre sportliche Aktivität nicht eindeutig zuordnen: intensiver Kraftsport mit Gerätetraining wurde der Stufe 6, Boxen und Tischtennis als Wettkampfsport der Stufe 7 zugeordnet.

### 4.7 Schlussfolgerung

Die Rekonstruktion des MPFL führt überwiegend zu guten Ergebnissen.

Mit vier Reluxationen in 71 Fällen kann die statistische Hypothese  $H_0$ , die Erfolgswahrscheinlichkeit  $p$  sei kleiner oder gleich 0,75, verworfen werden. Damit bestätigt die vorliegende Studie die guten Ergebnisse der MPFL-Plastik fünf Jahre postoperativ mit einer insgesamt niedrigen Reluxationsrate. Die hier beschriebenen Weichteilfixation ohne Bohrung in der Patella liefert vergleichbare Ergebnisse wie Techniken, bei denen Bohrkanäle und zusätzliches Fremdmaterial in der Kniescheibe notwendig sind, bei insgesamt niedrigem Risiko für Komplikationen. Eine Fixation mit Schrauben in der Patella zeigt keine

## Diskussion

Vorteile in Bezug auf die Reluxationsrate. Aktuell gibt es in der Literatur nur vereinzelt Beschreibungen von mittel- oder langfristigen Ergebnissen, weshalb in der aktuellen Studie ein Nachuntersuchungszeitraum von mindestens fünf Jahre nach der Operation festgelegt wurde.

Die Rekonstruktion des MPFLs kann auch mit einem oberflächlichen Sehnenanteil der Quadrizepssehne als Transplantat erfolgen. Mittelfristig zeigt diese Variante ebenfalls gute Ergebnisse. Ein Vorteil besteht darin, dass eine patellare Fixation ebenfalls nicht nötig ist (Goyal 2013, Lenschow, Herbort et al. 2015, Attal 2016). Weitere Studien müssen zeigen, ob diese Methode auch langfristig erfolgreich ist.

In dem Patientenkollektiv dieser Studie lagen im Vergleich zu anderen Studien in vielen Fällen Risikofaktoren für eine Patellaluxation vor.

Trotzdem zeigt die Auswertung der Fragebögen insgesamt eine deutliche Verbesserung der Funktion der operierten Kniegelenke und eine hohe Patientenzufriedenheit, die Aktivität der Patienten bleibt auf einem ähnlichen Niveau wie vor der Operation.

Eine starke Dysplasie der Trochlea und eine hochstehende Kniescheibe scheinen eine weiter bestehende Instabilität der Patella nach der Operation zu begünstigen. Wie Ergebnisse anderer Studien zeigen, kann die Kombination der Rekonstruktion des MPFL mit einer Trochleoplastik oder einem Tuberositastransfer sinnvoll sein. Aufgrund der Ergebnisse dieser und der erwähnten Studien wird in der Orthopädischen Klinik König-Ludwig-Haus bei Patienten mit schwerer Trochleadysplasie oder Patella alta inzwischen zusätzlich eine knöcherne Korrektur durchgeführt. Diese stellt aber einen deutlich größeren Eingriff mit einem höheren Risiko für Komplikationen dar. In der vorliegenden Studie kamen auch einige Patienten mit starker Dysplasie und Patella alta zu guten Resultaten und zeigten sich zufrieden mit dem Ergebnis der Operation. Es muss abgewartet werden, ob dies auch langfristig der Fall ist. Unklar bleibt deshalb, welche Patienten in diesem Kollektiv von einer zusätzlichen Trochleoplastik oder einem Transfer der Tuberositas tibiae profitieren.

Die MPFL-Plastik ist ebenfalls eine gute Behandlungsmöglichkeit bei jungen Patienten mit offenen Wachstumsfugen und geringem Risikoprofil. Auch



## **Diskussion**

Patienten mit einem bereits bestehenden Knorpelschaden profitieren von der Operation. Es muss sich zeigen, ob ein bereits zum Operationszeitpunkt bestehender Knorpelschaden im weiteren Verlauf eine Funktionseinschränkung des Kniegelenks oder das Auftreten von Beschwerden begünstigt.

## Zusammenfassung

### 5 Zusammenfassung

Patellaluxationen sind eine vor allem bei jungen, aktiven Patienten häufige Verletzung komplexer Ätiologie. In den meisten Fällen handelt es sich um habituelle Patellaluxationen die ohne adäquates Trauma auftreten. In der Regel besteht bei den Patienten eine prädisponierende Anatomie der knöchernen, muskulären oder ligamentären Stabilisatoren der Kniescheibe. Die Rekonstruktion des medialen patellofemoralen Ligaments ist die aktuell etablierte Operationstechnik bei strecknaher Instabilität, zu der in der Literatur eine Vielzahl an patellaren Fixationstechniken des autologen Sehnentransplantates beschrieben werden. Eine relevante Komplikation der knöchernen Fixation ist die Patellafraktur. Diese Komplikation als Folge der MPFL-Rekonstruktion kann durch eine weichteilige patellare Fixation vermieden werden. Die patellare Fixation erfolgte bei den in dieser Studie untersuchten Patienten ausschließlich an der medialen Kapsel und dem Periost der Patella. Fünf Jahre nach der Rekonstruktion des MPFL wurden die klinischen Ergebnisse der Operationsmethode und die Zufriedenheit der Patienten untersucht.

Dafür wurden 71 Patienten, bei denen zwischen Mai 2010 und Juli 2012 in der Orthopädischen Klinik König-Ludwig-Haus eine MPFL-Rekonstruktion mit autologer Gracilissehne durchgeführt wurde, in die Studie eingeschlossen und nach aufgetretenen Reluxationen sowie der Situation präoperativ und mindestens fünf Jahre postoperativ befragt. Die Funktion der Kniegelenke im Alltag wurde mithilfe des Kujala- und des Lysholm-Fragebogens, das Aktivitätsniveau der Patienten mit der Tegner-Aktivitätsskala erfasst. Im Rahmen einer Nachuntersuchung wurden die Beweglichkeit des Kniegelenks und die Stabilität der Kniescheibe klinisch untersucht. Die Ergebnisse wurden unter Berücksichtigung klinischer und radiologischer Risikofaktoren ausgewertet.

Die Reluxationsrate lag in dieser Studie bei 5,6% und ist somit vergleichbar mit der Rate anderer in der Literatur beschriebener Techniken. Die Ergebnisse der klinischen Untersuchung ergaben eine stabile ligamentäre Führung der Kniescheibe bei insgesamt guter Beweglichkeit der Kniegelenke. Die Ergebnisse des Kujala- und des Lysholm-Fragebogens zeigten signifikante Verbesserungen der Funktion der operierten Kniegelenke im Alltag. Das Aktivitätsniveau der

## **Zusammenfassung**

Patienten hat sich fünf Jahre nach der Operation im Vergleich zum Zustand vor der Operation nicht verändert.

Im Ergebnis kann durch die vorliegende Studie belegt werden, dass durch die Rekonstruktion des MPFL mit weichteiliger patellarer Fixation langfristig gute Ergebnisse bei einer niedrigen Komplikationsrate erzielt werden können. Allerdings erhöht das Zusammentreffen verschiedener Pathologien wie eine Patella alta mit einer ausgeprägten Dysplasie der Trochlea das Risiko für eine persistierende Instabilität und eine erneute Luxation. Weitere Untersuchungen müssen zeigen, welche Patienten langfristig von zusätzlichen knöchernen Korrekturen profitieren.

## Anhang

### 6 Anhang

6.1	Abkürzungsverzeichnis
AGA	Gesellschaft für Arthroskopie und Gelenkchirurgie
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften
CDI	Caton-Deschamps-Index
bzw.	beziehungsweise
Et al.	et alii
KAKPS	Kujala Anterior Knee Pain Scale
Knie-TEP	Knietotalendoprothese
MPFL	Mediales Patello-Femorales Ligament
MRT	Magnetresonanztomographie
OPS	Operationen- und Prozedurenschlüssel
PIS-Score	Patellar Instability Severity- Score
post-OP	postoperativ
prä-OP	präoperativ
TT-PCL	Tuberositas Tibiae- Posterior Cruciate Ligament
TT-TG	Tuberositas Tibiae- Trochlea Groove
u.a.	unter anderem
VMO	Musculus vastus medialis obliquus

## Anhang

### 6.2 Erhebungsbogen

#### Erhebungsbogen zur Anamnese und Untersuchung nach MPFL

Patientenname:

Geburtstag:

Untersuchungsdatum:

OP-Datum:

Seite:

#### Anamnese:

Aufgetretene Komplikationen:

Operationspflichtig:

Relaxationen:

Wenn Dauer post-OP:

Nicht operationspflichtig:

Anzahl Luxationen prä-OP:

Situation der Erstluxation:

#### Untersuchung:

Operiertes Knie

Extension/Flexion (Neutral-Null-Methode):

Apprehension Sign zwischen 0 und 40° Beugung:

Umfang 10 cm proximal des medialen Kniegelenksspalts:

Patella Glide Test in  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{4}{4}$ :

Nicht operiertes Knie:

Extension/Flexion (Neutral-Null-Methode):

Apprehension Sign zwischen 0 und 40° Beugung:

Umfang 10 cm proximal des medialen Kniegelenksspalts:

Patella Glide Test in  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{4}{4}$ :

## Anhang

Beinachse:

Intermalleolar-Abstand:

Interkondylar-Abstand:

## Anhang

### 6.3 Fragebögen

#### 6.3.1 Kujala Anterior Knee Pain Scale

### **Kujala Anterior Knee Pain Scale**

-

#### *präoperativ*

Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient,

der folgende Fragebogen dient der Erfassung von Beschwerden und Problemen, die durch Ihr Kniegelenk verursacht wurden.

Die dadurch gewonnenen Informationen werden uns helfen einzuschätzen, wie es Ihnen mit Ihrem Knie vor der Operation ging und wie gut Sie in der Lage waren, Ihre üblichen Aktivitäten zu verrichten. Beantworten Sie bitte jede Frage durch ankreuzen des zugehörigen Kästchens.

Bitte beantworten Sie alle Fragen gemäß Ihrem Zustand in dem Zeitraum vor der Operation zum Ersatz des MPFL.

## Anhang

-

### postoperativ

Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient,

der folgende Fragebogen dient der Erfassung von Beschwerden und Problemen, die durch Ihr Kniegelenk verursacht werden.

Die dadurch gewonnenen Informationen werden uns helfen einzuschätzen, wie es Ihnen mit Ihrem Knie geht und wie gut Sie in der Lage sind, Ihre üblichen Aktivitäten zu verrichten. Beantworten Sie bitte jede Frage durch ankreuzen des zugehörigen Kästchens.

Bitte beantworten Sie alle Fragen gemäß Ihrem aktuellen Zustand.



## Anhang

Nr.	Aktivität	Beurteilung	
1	<b>Hinken beim Gehen</b>	nie	
		etwas/periodisch	
		konstant/dauerhaft	
2	<b>Gewichtsbelastung</b>	volle Unterstützung ohne Schmerz	
		schmerzhaft	
		unmöglich	
3	<b>Gehen</b>	ohne Einschränkungen	
		mehr als 2 km möglich	
		1-2 km möglich	
		nicht möglich	
4	<b>Treppensteigen</b>	keine Beschwerden	
		leichter Schmerz beim Absteigen	
		Schmerzen beim Auf- und Absteigen	
		nicht möglich	
5	<b>Kniebeugen</b>	keine Beschwerden	
		wiederholtes Kniebeugen ist schmerzhaft	
		mit Hilfe sind Kniebeugen möglich	
		nicht möglich	

## Anhang

6	<b>Laufen/Rennen</b>	keine Beschwerden	
		schmerzhaft nach mehr als 2km	
		leichter Schmerz von Beginn an	
		Starker Schmerz	
		nicht möglich	
7	<b>Springen</b>	keine Beschwerden	
		leichte Beschwerden	
		konstanter Schmerz	
		nicht möglich	
8	<b>Längeres Sitzen mit gebeugten Kniegelenken</b>	keine Beschwerden	
		Schmerzen nach der Belastung	
		konstanter Schmerz	
		wegen Schmerzen muss das Knie zeitweise gestreckt werden	
		nicht möglich	
9	<b>Schmerz</b>	kein Schmerz	
		leicht und gelegentlich	
		stört den Schlaf	
		gelegentlich starker Schmerz	
		konstanter starker Schmerz	

## Anhang

10	<b>Schwellung</b>	keine Schwellung	
		nach schwereren Anstrengungen	
		nach Alltagsaktivitäten	
		jeden Abend	
		konstant	
11	<b>Abnormale und schmerzhafte Bewegungen der Kniescheibe</b>	niemals	
		gelegentlich bei sportlicher Aktivität	
		gelegentlich bei Alltagsaktivität	
		mindestens eine dokumentierte Dislokation der Kniescheibe	
		mehr als zwei dokumentierte Dislokationen der Kniescheibe	
12	<b>Muskelabnahme des Oberschenkels</b>	keine Abnahme	
		leichte Abnahme	
		starke Abnahme	
13	<b>Einschränkung der Kniebeugung</b>	keine Einschränkung	
		leichte Einschränkung	
		starke Einschränkung	

## Anhang

### 6.3.2 Lysholm-Score

#### Lysholm-Score

<b>Hinken</b>	kein	
	leicht oder gelegentlich	
	stark und konstant	
<b>Hilfsmittel</b>	keine	
	Stock oder Unterarmgehstütze	
	Belastung unmöglich	
<b>Blockieren</b>	kein Blockieren und kein Gefühl des Einklemmens	
	Gefühl des Einklemmens aber kein Blockieren	
	gelegentliches Blockieren	
	regelmäßiges Blockieren	
	blockiertes Gelenk bei der Untersuchung	
<b>Instabilität</b>	niemals „giving way“ (=einknicken)	
	selten während des Sports oder anderer starker Anstrengung	
	regelmäßig während des Sports oder anderer starker Anstrengung (oder Teilnahme unmöglich)	
	gelegentlich bei Alltagsaktivitäten	
	oft bei Alltagsaktivitäten	
	bei jedem Schritt	
<b>Schmerzen</b>	keine	
	nicht immer und leicht während starker Anstrengung	
	deutlich während starker Anstrengung	
	deutlich während oder nach mehr als 2km gehen	
	deutlich während oder nach weniger als 2km gehen	
	konstant	
<b>Schwellung</b>	keine	
	bei starker Anstrengung	
	bei gewöhnlicher Anstrengung	

## Anhang

	konstant	
<b>Treppensteigen</b>	keine Probleme	
	leicht eingeschränkt	
	Stufe für Stufe	
	unmöglich	
<b>Kniebeugen (in die Hocke gehen)</b>	kein Problem	
	leicht eingeschränkt	
	nicht mehr als 90°	
	unmöglich	

## Anhang

### 6.3.3 Tegner activity scale

#### **Tegner activity scale**

##### *präoperativ*

Mit den nachfolgenden Fragen möchten wir untersuchen, wie gut Ihre Alltags- und sportartspezifische Funktion vor dem MPFL – Ersatz war.

Bitte lesen Sie die nachfolgende Aufstellung durch. Beurteilen Sie Ihren Aktivitätsstatus vor der Operation und kreuzen Sie die betreffende Zeile an.

-

##### *postoperativ*

Mit den nachfolgenden Fragen möchten wir untersuchen, wie gut Ihre Alltags- und sportartspezifische Funktion aktuell sind.

Bitte lesen Sie die nachfolgende Aufstellung durch. Beurteilen Sie Ihren jetzigen Aktivitätsstatus und kreuzen Sie die betreffende Zeile an.

## Anhang

<u>Aktivitätsgrad</u>	<u>Tätigkeit</u>	
Wettkampfsport – auf nationalem und internationalem Niveau	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fußball, Ski alpin (auf nationalem oder internationalem Niveau)</li> </ul>	
Wettkampfsport	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eishockey, Ringen, Turnen, Fußball, Ski alpin (auf regionalem Niveau)</li> </ul>	
Wettkampfsport	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Snowboard, Badminton, Squash, Leichtathletik (Sprungdisziplinen)</li> </ul>	
Wettkampfsport  Freizeitsport	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tennis, Leichtathletik, (Lauf- und Wurfdisziplinen), Geräteturnen, Handball, Basketball, Orientierungslauf, Crosslauf</li> <li>• Eishockey, Fußball, Ski alpin</li> </ul>	
Freizeitsport	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Badminton, Tennis, Squash, Basketball, Handball, Volleyball, Orientierungslauf, Crosslauf, Snowboard, Aerobic (high impact), Joggen (mindestens 5x die Woche)</li> </ul>	
Wettkampfsport  Freizeitsport  Arbeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radfahren, Skilanglauf, Eiskunstlauf</li> <li>• Turnen, Gymnastik, In-line-Skating, Klettern, Bergsteigen, Skitouren, Schneeschuhlaufen, Joggen auf unebenem Boden (mindestens 2x pro Woche)</li> <li>• Schwere körperliche Arbeit (Bauarbeit, Waldarbeit)</li> </ul>	

## Anhang

Freizeitsport	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Skilanglauf, Radfahren, Tanzen, Aerobic (low impact), Bergwandern (abwärts), Joggen auf ebenem Boden (mind. 2x pro Woche)</li> </ul>	
Arbeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mittelschwere körperliche Arbeit (schwere Hausarbeit)</li> </ul>	
Wettkampf- und Freizeitsport	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwimmen, Wandern, Walking, Kegeln, Bowling</li> </ul>	
Arbeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leichte körperliche Arbeit</li> </ul>	
Gehen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Querfeldein ist möglich</li> </ul>	
Arbeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorwiegend sitzende Tätigkeit</li> </ul>	
Gehen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auf unebenem Boden möglich</li> </ul>	
Arbeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sitzende Tätigkeit</li> </ul>	
Gehen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nur auf ebenem Boden möglich</li> </ul>	
Arbeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbeitsunfähig oder berentet auf Grund von Knieproblemen</li> </ul>	
Gehen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nur eingeschränkt möglich</li> </ul>	



### 7 Literaturverzeichnis

- (DGU), L. d. D. G. f. U. e. V. (2014). "Leitlinie Patella-Luxation." from [https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/012-024l\\_S1\\_Patellaluxation\\_2014-06-abgelaufen.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-024l_S1_Patellaluxation_2014-06-abgelaufen.pdf).
- Aglietti, P., J. N. Insall and G. Cerulli (1983). "Patellar pain and incongruence. I: Measurements of incongruence." Clin Orthop Relat Res(176): 217-224.
- Ahmed, A. M., D. L. Burke and A. Hyder (1987). "Force analysis of the patellar mechanism." J Orthop Res **5**(1): 69-85.
- Amis, A. A., P. Firer, J. Mountney, W. Senavongse and N. P. Thomas (2003). "Anatomy and biomechanics of the medial patellofemoral ligament." Knee **10**(3): 215-220.
- Atkin, D. M., D. C. Fithian, K. S. Marangi, M. L. Stone, B. E. Dobson and C. Mendelsohn (2000). "Characteristics of patients with primary acute lateral patellar dislocation and their recovery within the first 6 months of injury." Am J Sports Med **28**(4): 472-479.
- Attal, R., Dirisamer, F., Pagenstert, G. (2015). Klinische Untersuchung des Patellofemoralgelenks. Untersuchungstechniken/Diagnostik des Patellofemoralgelenks, AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral.
- Attal, R., Liebensteiner, M. (2016). MPFL - Rekonstruktion mit Quadrizepssehnenstreifen und Transfer der Sehne des Musculus adductor magnus. Die Therapie der instabilen Patella, AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral: 44-49.
- Balcarek, P., J. Ammon, S. Frosch, T. A. Walde, J. P. Schuttrumpf, K. G. Ferlemann, H. Lill, K. M. Sturmer and K. H. Frosch (2010). "Magnetic resonance imaging characteristics of the medial patellofemoral ligament lesion in acute lateral patellar dislocations considering trochlear dysplasia, patella alta, and tibial tuberosity-trochlear groove distance." Arthroscopy **26**(7): 926-935.
- Balcarek, P., Liebensteiner, M. (2016). Indikation für konservative und operative Behandlungsoptionen. Die Therapie der instabilen Patella, AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral: 8-13.
- Balcarek, P., S. Oberthur, S. Hopfensitz, S. Frosch, T. A. Walde, M. M. Wachowski, J. P. Schuttrumpf and K. M. Sturmer (2014). "Which patellae are likely to redislocate?" Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc **22**(10): 2308-2314.
- Balcarek, P., S. Rehn, N. R. Howells, J. D. Eldridge, K. Kita, D. Dejour, M. Nelitz, I. J. Banke, D. Lambrecht, M. Harden and T. Friede (2017). "Results of medial patellofemoral ligament reconstruction compared with trochleoplasty plus individual extensor apparatus balancing in patellar instability caused by severe trochlear dysplasia: a systematic review and meta-analysis." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc **25**(12): 3869-3877.
- Baldwin, J. L. (2009). "The anatomy of the medial patellofemoral ligament." Am J Sports Med **37**(12): 2355-2361.

## Literaturverzeichnis

- Becher, C. (2015). Anamnese. Untersuchungstechniken/Diagnostik des Patellofemoralgelenks, AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral: 18-20.
- Benninghoff, D. (2008). Anatomie. München, Elsevier.
- Bollier, M., J. Fulkerson, A. Cosgarea and M. Tanaka (2011). "Technical failure of medial patellofemoral ligament reconstruction." Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery **27**(8): 1153-1159.
- Caton, J. H. and D. Dejour (2010). "Tibial tubercle osteotomy in patello-femoral instability and in patellar height abnormality." Int Orthop **34**(2): 305-309.
- Christiansen, S. E., B. W. Jakobsen, B. Lund and M. Lind (2008). "Isolated repair of the medial patellofemoral ligament in primary dislocation of the patella: a prospective randomized study." Arthroscopy **24**(8): 881-887.
- Conlan, T., W. P. Garth, Jr. and J. E. Lemons (1993). "Evaluation of the medial soft-tissue restraints of the extensor mechanism of the knee." J Bone Joint Surg Am **75**(5): 682-693.
- Crossley, K. M., K. L. Bennell, S. M. Cowan and S. Green (2004). "Analysis of outcome measures for persons with patellofemoral pain: which are reliable and valid? 1." Archives of physical medicine and rehabilitation **85**(5): 815-822.
- Dammerer, D., M. C. Liebensteiner, U. M. Kujala, K. Emmanuel, S. Kopf, F. Dirisamer and J. M. Giesinger (2018). "Validation of the German version of the Kujala score in patients with patellofemoral instability: a prospective multi-centre study." Arch Orthop Trauma Surg **138**(4): 527-535.
- De Maeseneer, M., F. Van Roy, L. Lenchik, E. Barbaix, F. De Ridder and M. Osteaux (2000). "Three layers of the medial capsular and supporting structures of the knee: MR imaging-anatomic correlation." Radiographics **20 Spec No**: S83-89.
- Dejour, D. and P. Saggin (2010). "The sulcus deepening trochleoplasty-the Lyon's procedure." Int Orthop **34**(2): 311-316.
- Dejour, H., G. Walch, L. Nove-Josserand and C. Guier (1994). "Factors of patellar instability: an anatomic radiographic study." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc **2**(1): 19-26.
- Desio, S. M., R. T. Burks and K. N. Bachus (1998). "Soft tissue restraints to lateral patellar translation in the human knee." Am J Sports Med **26**(1): 59-65.
- Engelhardt, M., J. Freiwald, I. Reuter, J. Mortier and D. Huth (2000). "Beeinflussung der Sportfähigkeit durch neuromuskuläre Veränderungen nach Trauma und Operation am Kniegelenk." Arthroskopie **13**(6): 302-306.
- Erickson, B. J., R. Mascarenhas, E. T. Sayegh, B. Saltzman, N. N. Verma, C. A. Bush-Joseph, B. J. Cole and B. R. Bach (2015). "Does Operative Treatment of First-Time Patellar Dislocations Lead to Increased Patellofemoral Stability? A Systematic Review of Overlapping Meta-

## Literaturverzeichnis

- analyses." Arthroscopy-the Journal of Arthroscopic and Related Surgery **31**(6): 1207-1215.
- Eriksson, K., H. Larsson, T. Wredmark and P. Hamberg (1999). "Semitendinosus tendon regeneration after harvesting for ACL reconstruction. A prospective MRI study." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc **7**(4): 220-225.
- Feller, J. A., A. A. Amis, J. T. Andrish, E. A. Arendt, P. J. Erasmus and C. M. Powers (2007). "Surgical biomechanics of the patellofemoral joint." Arthroscopy **23**(5): 542-553.
- Fithian, D. C., E. W. Paxton, M. L. Stone, P. Silva, D. K. Davis, D. A. Elias and L. M. White (2004). "Epidemiology and natural history of acute patellar dislocation." Am J Sports Med **32**(5): 1114-1121.
- Frings J, A. R., Müller G, Frosch KH (2017). "Plastik des medialen patellofemorale Ligaments." Trauma und Berufskrankheit **19**: 297-303.
- Frosch, S., P. Balcarek, T. A. Walde, J. P. Schuttrumpf, M. M. Wachowski, K. G. Ferleman, K. M. Sturmer and K. H. Frosch (2011). "[The treatment of patellar dislocation: a systematic review]." Z Orthop Unfall **149**(6): 630-645.
- Fucentese, S. F., P. O. Zingg, J. Schmitt, C. W. Pfirrmann, D. C. Meyer and P. P. Koch (2011). "Classification of trochlear dysplasia as predictor of clinical outcome after trochleoplasty." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc **19**(10): 1655-1661.
- Galland, O., G. Walch, H. Dejour and J. P. Carret (1990). "An anatomical and radiological study of the femoropatellar articulation." Surg Radiol Anat **12**(2): 119-125.
- Goyal, D. (2013). "Medial patellofemoral ligament reconstruction: the superficial quad technique." Am J Sports Med **41**(5): 1022-1029.
- Hensler, D., P. J. Sillanpaa and P. B. Schoettle (2014). "Medial patellofemoral ligament: anatomy, injury and treatment in the adolescent knee." Curr Opin Pediatr **26**(1): 70-78.
- Herbort, M., Raschke MJ, Glasbrenner J (2017). "MPFL-Plastik - Indikationen, Technik und Ergebnisse." OUP 306-313.
- Hinterwimmer, S., A. B. Imhoff, P. Minzlaff, T. Saier, N. Rosenstiel, W. Have and M. J. Feucht (2013). "Anatomical two-bundle medial patellofemoral ligament reconstruction with hardware-free patellar graft fixation: technical note and preliminary results." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc **21**(9): 2147-2154.
- Hopper, G. P., W. J. Leach, B. P. Rooney, C. R. Walker and M. J. Blyth (2014). "Does degree of trochlear dysplasia and position of femoral tunnel influence outcome after medial patellofemoral ligament reconstruction?" Am J Sports Med **42**(3): 716-722.
- Huberti, H. H. and W. C. Hayes (1984). "Patellofemoral contact pressures. The influence of q-angle and tendofemoral contact." J Bone Joint Surg Am **66**(5): 715-724.

## Literaturverzeichnis

- Huberti, H. H., W. C. Hayes, J. L. Stone and G. T. Shybut (1984). "Force ratios in the quadriceps tendon and ligamentum patellae." J Orthop Res **2**(1): 49-54.
- Kita, K., Y. Tanaka, Y. Toritsuka, H. Amano, R. Uchida, R. Takao and S. Horibe (2015). "Factors Affecting the Outcomes of Double-Bundle Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction for Recurrent Patellar Dislocations Evaluated by Multivariate Analysis." Am J Sports Med **43**(12): 2988-2996.
- Kocher, M. S., J. R. Steadman, K. K. Briggs, W. I. Sterett and R. J. Hawkins (2004). "Reliability, validity, and responsiveness of the Lysholm knee scale for various chondral disorders of the knee." J Bone Joint Surg Am **86-A**(6): 1139-1145.
- Kujala, U. M., L. H. Jaakkola, S. K. Koskinen, S. Taimela, M. Hurme and O. Nelimarkka (1993). "Scoring of patellofemoral disorders." Arthroscopy **9**(2): 159-163.
- Lenschow, S., M. Herbort and C. Fink (2015). "[Medial patellofemoral ligament reconstruction using quadriceps tendon]." Oper Orthop Traumatol **27**(6): 474-483.
- Lenschow, S., B. Schliemann, J. Gestring, M. Herbort, M. Schulze and C. Kisters (2013). "Medial patellofemoral ligament reconstruction: fixation strength of 5 different techniques for graft fixation at the patella." Arthroscopy **29**(4): 766-773.
- Lippacher, S., H. Reichel and M. Nelitz (2010). "Patellafraktur nach MPFL-Rekonstruktion bei femoropatellarer Instabilität." Der Orthopäde **39**(5): 516-518.
- Lipscomb, A. B., R. K. Johnston, R. B. Snyder, M. J. Warburton and P. P. Gilbert (1982). "Evaluation of hamstring strength following use of semitendinosus and gracilis tendons to reconstruct the anterior cruciate ligament." Am J Sports Med **10**(6): 340-342.
- Liu, J. N., J. M. Brady, I. L. Kalbian, S. M. Strickland, C. B. Ryan, J. T. Nguyen and B. E. Shubin Stein (2018). "Clinical Outcomes After Isolated Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction for Patellar Instability Among Patients With Trochlear Dysplasia." Am J Sports Med **46**(4): 883-889.
- Longo, U. G., G. Rizzello, M. Ciuffreda, M. Loppini, A. Baldari, N. Maffulli and V. Denaro (2016). "Elmslie-Trillat, Maquet, Fulkerson, Roux Goldthwait, and Other Distal Realignment Procedures for the Management of Patellar Dislocation: Systematic Review and Quantitative Synthesis of the Literature." Arthroscopy **32**(5): 929-943.
- Lysholm, J. and J. Gillquist (1982). "Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale." Am J Sports Med **10**(3): 150-154.
- Lysholm, J. and Y. Tegner (2007). "Knee injury rating scales." Acta Orthop **78**(4): 445-453.
- Maenpaa, H. and M. U. Lehto (1997). "Patellofemoral osteoarthritis after patellar dislocation." Clin Orthop Relat Res(339): 156-162.

## Literaturverzeichnis

- Magnussen, R. A., M. Verlage, E. Stock, L. Zurek, D. C. Flanigan, M. Tompkins, J. Agel and E. A. Arendt (2017). "Primary patellar dislocations without surgical stabilization or recurrence: how well are these patients really doing?" Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc **25**(8): 2352-2356.
- Malkin, S. A. (1932). "Dislocation of the Patella." Br Med J **2**(3732): 91-94.
- Merican, A. M., F. Iranpour and A. A. Amis (2009). "Iliotibial band tension reduces patellar lateral stability." J Orthop Res **27**(3): 335-339.
- Miller, P. R., R. M. Klein and R. A. Teitge (1991). "Medial dislocation of the patella." Skeletal Radiol **20**(6): 429-431.
- Mulliez, A., D. Lambrecht, D. Verbruggen, C. Van Der Straeten, P. Verdonk and J. Victor (2017). "Clinical outcome in MPFL reconstruction with and without tuberositas transposition." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc **25**(9): 2708-2714.
- Nelitz, M. and S. R. Williams (2015). "[Combined trochleoplasty and medial patellofemoral ligament reconstruction for patellofemoral instability]." Oper Orthop Traumatol **27**(6): 495-504.
- Niu, J., Q. Qi, K. Fu, G. Duan, C. Liu and F. Wang (2017). "Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction with Semi-Patellar Tunnel Fixation: Surgical Technique and Mid-Term Follow-Up." Med Sci Monit **23**: 5870-5875.
- Nomura, E. and M. Inoue (2004). "Cartilage lesions of the patella in recurrent patellar dislocation." Am J Sports Med **32**(2): 498-502.
- Nomura, E., M. Inoue and N. Osada (2005). "Anatomical analysis of the medial patellofemoral ligament of the knee, especially the femoral attachment." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc **13**(7): 510-515.
- Nwachukwu, B. U., C. So, W. W. Schairer, D. W. Green and E. R. Dodwell (2016). "Surgical versus conservative management of acute patellar dislocation in children and adolescents: a systematic review." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc **24**(3): 760-767.
- Oestern, S., D. Varoga, S. Lippross, M. Kaschwich, J. Finn, B. Buddrus and A. Seekamp (2011). "[Patella dislocation]." Unfallchirurg **114**(4): 345-358; quiz 359.
- Outerbridge, R. (1961). "The etiology of chondromalacia patellae." The Journal of bone and joint surgery. British volume **43**(4): 752-757.
- Petersen, W., P. Forkel and A. Achtnich (2012). "Chronische patellofemorale Instabilität." Der Unfallchirurg **115**(5): 397-409.
- Philippot, R., J. Chouteau, J. Wegrzyn, R. Testa, M. H. Fessy and B. Moyen (2009). "Medial patellofemoral ligament anatomy: implications for its surgical reconstruction." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc **17**(5): 475-479.
- Puniello, M. S. (1993). "Iliotibial band tightness and medial patellar glide in patients with patellofemoral dysfunction." J Orthop Sports Phys Ther **17**(3): 144-148.

## Literaturverzeichnis

- Ramappa, A. J., M. Apreleva, F. R. Harrold, P. G. Fitzgibbons, D. R. Wilson and T. J. Gill (2006). "The effects of medialization and anteromedialization of the tibial tubercle on patellofemoral mechanics and kinematics." Am J Sports Med **34**(5): 749-756.
- Redziniak, D. E., D. R. Diduch, W. M. Mihalko, J. P. Fulkerson, W. M. Novicoff, S. Sheibani-Rad and K. J. Saleh (2009). "Patellar instability." J Bone Joint Surg Am **91**(9): 2264-2275.
- Reppenhausen, S., F. Gilbert, C. Konrads, S. Gobel, A. Steinert, M. Hoberg, C. Löffler, M. Rudert and T. Barthel (2015). "[Gracilis tendon augmented reconstruction of the medial patellofemoral ligament with soft tissue fixation at the patellar insertion site]." Oper Orthop Traumatol **27**(6): 484-494.
- Rhee, S. J., G. Pavlou, J. Oakley, D. Barlow and F. Haddad (2012). "Modern management of patellar instability." Int Orthop **36**(12): 2447-2456.
- Sanders, T. L., A. Pareek, T. E. Hewett, M. J. Stuart, D. L. Dahm and A. J. Krych (2018). "Incidence of First-Time Lateral Patellar Dislocation: A 21-Year Population-Based Study." Sports Health **10**(2): 146-151.
- Sanders, T. L., A. Pareek, N. R. Johnson, M. J. Stuart, D. L. Dahm and A. J. Krych (2017). "Patellofemoral Arthritis After Lateral Patellar Dislocation: A Matched Population-Based Analysis." Am J Sports Med **45**(5): 1012-1017.
- Schmeling, A. (2010). "Aktuelle Aspekte der patellofemorale Instabilität." SFA Arthroscopie Aktuell **23**: 1-27.
- Schoettle, P. B., M. Zanetti, B. Seifert, C. W. Pfirrmann, S. F. Fucentese and J. Romero (2006). "The tibial tuberosity-trochlear groove distance; a comparative study between CT and MRI scanning." Knee **13**(1): 26-31.
- Schöttle, P., Liebensteiner M. (2015). Anatomie und Biomechanik. Untersuchungstechniken/Diagnostik des Patellofemoralgelenks, AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral.
- Schottle, P., A. Schmeling, J. Romero and A. Weiler (2009). "Anatomical reconstruction of the medial patellofemoral ligament using a free gracilis autograft." Arch Orthop Trauma Surg **129**(3): 305-309.
- Schottle, P. B., S. F. Fucentese and J. Romero (2005). "Clinical and radiological outcome of medial patellofemoral ligament reconstruction with a semitendinosus autograft for patella instability." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc **13**(7): 516-521.
- Schottle, P. B., A. Schmeling, N. Rosenstiel and A. Weiler (2007). "Radiographic landmarks for femoral tunnel placement in medial patellofemoral ligament reconstruction." Am J Sports Med **35**(5): 801-804.
- Schutzenberger, S. (2019). "[Patellofemoral instability in children and adolescents]." Unfallchirurg **122**(1): 22-32.

## Literaturverzeichnis

- Seitlinger, G., Liebensteiner, M. (2015). Bildgebung des Patellofemoralgelenks. Untersuchungstechniken/Diagnostik des Patellofemoralgelenks, AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral: 40-48.
- Seitlinger, G., G. Scheurecker, R. Hogler, L. Labey, B. Innocenti and S. Hofmann (2012). "Tibial tubercle-posterior cruciate ligament distance: a new measurement to define the position of the tibial tubercle in patients with patellar dislocation." Am J Sports Med **40**(5): 1119-1125.
- Senavongse, W. and A. A. Amis (2005). "The effects of articular, retinacular, or muscular deficiencies on patellofemoral joint stability: a biomechanical study in vitro." J Bone Joint Surg Br **87**(4): 577-582.
- Sever, R., M. Fishkin, Y. Hemo, S. Wientroub and M. Yaniv (2017). "Surgical Treatment of Congenital and Obligatory Dislocation of the Patella in Children." J Pediatr Orthop.
- Shah, J. N., J. S. Howard, D. C. Flanigan, R. H. Brophy, J. L. Carey and C. Lattermann (2012). "A systematic review of complications and failures associated with medial patellofemoral ligament reconstruction for recurrent patellar dislocation." Am J Sports Med **40**(8): 1916-1923.
- Sherman, S. L., B. J. Erickson, G. L. Cvetanovich, P. N. Chalmers, J. Farr, 2nd, B. R. Bach, Jr. and B. J. Cole (2014). "Tibial Tuberosity Osteotomy: Indications, Techniques, and Outcomes." Am J Sports Med **42**(8): 2006-2017.
- Sillanpaa, P., V. M. Mattila, T. Iivonen, T. Visuri and H. Pihlajamaki (2008). "Incidence and risk factors of acute traumatic primary patellar dislocation." Med Sci Sports Exerc **40**(4): 606-611.
- Smith, T. O., S. Donell, F. Song and C. B. Hing (2015). "Surgical versus non-surgical interventions for treating patellar dislocation." Cochrane Database Syst Rev(2): CD008106.
- Song, J.-G., S.-B. Kang, S.-H. Oh, J.-H. Han, D. Shah, H.-J. Park, U. T. Kholmurodov and K.-W. Nha (2016). "Medial Soft-Tissue Realignment Versus Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction for Recurrent Patellar Dislocation: Systematic Review." Arthroscopy **32**(3): 507-516.
- Steensen, R. N., R. M. Dopirak and W. G. McDonald, 3rd (2004). "The anatomy and isometry of the medial patellofemoral ligament: implications for reconstruction." Am J Sports Med **32**(6): 1509-1513.
- Strobl, W. and F. Grill (1998). "[Patellar luxation]." Orthopade **27**(3): 197-205.
- Tashiro, T., H. Kurosawa, A. Kawakami, A. Hikita and N. Fukui (2003). "Influence of medial hamstring tendon harvest on knee flexor strength after anterior cruciate ligament reconstruction. A detailed evaluation with comparison of single- and double-tendon harvest." Am J Sports Med **31**(4): 522-529.
- Tegner, Y. and J. Lysholm (1985). "Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries." Clin Orthop Relat Res(198): 43-49.
- Testa, E. A., C. Camathias, F. Amsler, P. Henle, N. F. Friederich and M. T. Hirschmann (2017). "Surgical treatment of patellofemoral instability using

## Literaturverzeichnis

- trochleoplasty or MPFL reconstruction: a systematic review." Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy **25**(8): 2309-2320.
- Tigchelaar, S., P. van Essen, M. Benard, S. Koeter and A. Wymenga (2015). "A self-centring osteotomy of the tibial tubercle for patellar maltracking or instability: results with ten-years' follow-up." Bone Joint J **97-B**(3): 329-336.
- Trikha, S., D. Acton, M. O'Reilly, M. Curtis and J. Bell (2003). "Acute lateral dislocation of the patella: correlation of ultrasound scanning with operative findings." Injury **34**(8): 568-571.
- Tscholl, P. M., F. Wanivenhaus, V. Centmaier-Molnar, R. S. Camenzind and S. F. Fucentese (2019). "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.
- Tuxoe, J. I., M. Teir, S. Winge and P. L. Nielsen (2002). "The medial patellofemoral ligament: a dissection study." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc **10**(3): 138-140.
- Wagner, D., Becher, C. (2016). Konservative Therapie der Patellainstabilität. Die Therapie der instabilen Patella, AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral: 14-20.
- Wagner, D., F. Pfalzer, S. Hingelbaum, J. Huth, F. Mauch and G. Bauer (2013). "The influence of risk factors on clinical outcomes following anatomical medial patellofemoral ligament (MPFL) reconstruction using the gracilis tendon." Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc **21**(2): 318-324.
- Warren, L. A., J. L. Marshall and F. Girgis (1974). "The prime static stabilizer of the medial side of the knee." J Bone Joint Surg Am **56**(4): 665-674.
- Waschke, B., Paulsen (2015). Anatomie. München, Elsevier Verlag.
- Watson, C. J., M. Propps, J. Ratner, D. L. Zeigler, P. Horton and S. S. Smith (2005). "Reliability and responsiveness of the lower extremity functional scale and the anterior knee pain scale in patients with anterior knee pain." Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy **35**(3): 136-146.
- White, B. J. and O. H. Sherman (2009). "Patellofemoral instability." Bull NYU Hosp Jt Dis **67**(1): 22-29.
- Wirth, B., F. Liffert and E. de Bruin (2011). "Development and evaluation of a German version of the Lysholm score for measuring outcome after anterior cruciate ligament injuries." Sportverletzung Sportschaden: Organ der Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportmedizin **25**(1): 37-43.
- Wirth, B., N. Meier, P. Koch and J. Swanenburg (2013). "Entwicklung und Evaluation einer deutschen Version der Tegner Aktivitätsskala zur Erfassung der Funktion nach einer Verletzung des vorderen Kreuzbands." Sportverletzung· Sportschaden **27**(01): 21-27.
- Wirth, T. (2011). "[Dislocations of the patella]." Unfallchirurg **114**(5): 388-395.



## Literaturverzeichnis

Zimmerer, A., C. Sobau and P. Balcarek (2018). "Recent developments in evaluation and treatment of lateral patellar instability." J Exp Orthop **5**(1): 3.

### 8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verschiedene Anteile ligamentärer, knöcherner und muskulärer Patellastabilisierung .....	3
Abbildung 2: Zeichen der Trochleadysplasie im Röntgen.....	8
Abbildung 3: Trochleadysplasie Typ D mit Cliff-Form .....	8
Abbildung 4: Beispiele für die Einteilung der Trochleadysplasien nach Dejour im MRT .....	9
Abbildung 5: Tangentiale Röntgenaufnahme eines Kniegelenks bei 30° Flexion mit vergrößertem Sulcuswinkel .....	10
Abbildung 6: Bestimmung des Caton-Deschamps-Index.....	11
Abbildung 7: Ruptur des MPFL nach Patellaluxation sichtbar in der Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) .....	13
Abbildung 8: Aufsuchen der korrekten femoralen Insertionsstelle .....	17
Abbildung 9: Befestigung des Transplantats am parapatellaren Gewebe und im femoralen Bohrkanal .....	18
Abbildung 10: transversaler Schnitt im MRT: Kniegelenk nach rekonstruiertem MPFL mit patellarer Fixation in Weichteiltechnik .....	19
Abbildung 11: Flussdiagramm des Patientenkollektivs .....	28
Abbildung 12: Altersverteilung des Patientenkollektivs zum OP-Zeitpunkt nach Geschlecht unterteilt.....	29
Abbildung 13: Knorpelstatus zum Zeitpunkt der Operation klassifiziert nach Outerbridge .....	32
Abbildung 14: Lokalisation der Knorpelschäden zum Zeitpunkt der Operation .....	33
Abbildung 15: Zeit bis zu den aufgetretenen Reluxationen postoperativ ...	35

### 9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Seiten- und Geschlechterverteilung der Kniegelenke .....	29
Tabelle 2: Trochleadysplasie und Höhe der Patella (Caton-Deschamps-Index).....	30
Tabelle 3: Ergebnisse des Patella-Glide-Tests in Abhängigkeit von der femoralen Platzierung des Transplantates.....	37
Tabelle 4: Ergebnisse des Apprehension Sign-Tests in Abhängigkeit vom Typ der Trochleadysplasie .....	37
Tabelle 5: Ergebnisse des Apprehension Sign-Tests in Abhängigkeit von der Patella-Höhe .....	38
Tabelle 6: Mittelwert, Minimum und Maximum des Kujala-Scores, Vergleich verschiedener Subgruppen .....	39
Tabelle 7: Mittelwert, Minimum und Maximum des Lysholm-Scores, Vergleich verschiedener Subgruppen .....	41
Tabelle 8: Mittelwert, Minimum und Maximum der Tegner-Aktivitätsskala, Vergleich verschiedener Subgruppen .....	42

## Danksagung

### 10 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei Herrn Prof. Dr. M. Rudert für die Möglichkeit bedanken, die Arbeit in seiner Klinik durchführen zu dürfen und darüber hinaus für die Übernahme der Betreuung als Doktorvater.

Danke sagen möchte ich außerdem PD Dr. Thomas Barthel und Dr. Stephan Reppenhagen. Ich bin sehr glücklich, dass ich zu diesem interessanten Thema promovieren durfte.

Herzlichen Dank an Dr. Stephan Reppenhagen und Dr. Sebastian Bölch für die hervorragende Betreuung bei der Durchführung dieser Studie und dem anschließenden Schreiben dieser Arbeit. Dankeschön für die außerordentliche Hilfsbereitschaft und die Geduld bei der Beantwortung sämtlicher Fragen.

Zuletzt gilt ein besonderer Dank meinen Eltern, die mir das Studium und die Promotion ermöglicht und mich immer unterstützt haben, sowie meiner ganzen Familie und meinen Freunden, auf die ich während dieser Zeit immer zählen konnte.