

Universitätsklinikum Ulm  
Klinik für Orthopädie  
Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. med. Heiko Reichel

## **Risikofaktoren für patellofemorale Instabilität**

### **-Versagensanalyse nach operativer Patellastabilisierung bei Kindern und Jugendlichen-**

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin  
der Medizinischen Fakultät der Universität Ulm

vorgelegt von  
Michael Theile  
geboren in Waiblingen

2014

Amtierender Dekan: Prof. Dr. Thomas Wirth

1.Berichterstatter: Prof. Dr. Heiko Reichel

2.Berichterstatter: Prof. Dr. Rainer Küfer

Tag der Promotion: 09.07.2015

Teile dieser Dissertation wurden bereits in folgendem Fachartikel veröffentlicht:

Nelitz M, Theile M, Dornacher D, Wölfle J, Reichel H, Lippacher S: Analysis of failed surgery for patellar instability in children with open growth plates. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 20: 822–828 (2012)

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	III
<u>1. Einleitung</u>	1
1.1 Einführung	1
1.2 Diagnostik	4
1.2.1 Klinische Untersuchung	4
1.2.2 Radiologische Diagnostik	7
1.3 Konservative Therapie bei patellofemoraler Instabilität	9
1.4 Operative Therapie bei patellofemoraler Instabilität	10
1.4.1 Operationstechniken bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen	10
1.4.1.1 Laterales Release und Retinakulumverlängerung	10
1.4.1.2 Mediale Kapselraffung	11
1.4.1.3 Operationstechnik nach Roux-Goldthwait	11
1.4.1.4 Distalisierung des Musculus vastus medialis	11
1.4.1.5 Rekonstruktion des medialen patellofemorales Ligaments	12
1.4.2 Operationstechniken bei Patienten mit geschlossenen Wachstumsfugen	13
1.4.2.1 Medialisierung der Tuberositas tibiae	13
1.4.2.2 Operationstechnik nach Elmslie-Trillat	13
1.4.2.3 Trochleoplastik	13
1.5 Ziel der Arbeit	14
<u>2. Material und Methoden</u>	15
2.1 Studiendesign	15
2.2 Patientenauswahl	15
2.3 Patientendaten	16
2.4 Bestimmung des TTTG	16
2.5 Klassifikation der Trochleadysplasie	18
2.6 Bestimmung der Patellahöhe	21
2.7 Statistische Analyse	22

<u>3. Ergebnisse</u>	23
3.1 Demographische Daten	23
3.2 Anzahl der Voroperationen	23
3.3 Beschwerden nach vorangegangener Operation	24
3.4 Trochleadysplasie und TTTG	25
3.5 Patellahöhenindex	26
3.6 Kontrollgruppe	26
3.7 Patientenbeispiele mit Untersuchungsergebnissen	27
3.7.1 Patientenbeispiel 1	27
3.7.2 Patientenbeispiel 2	28
<u>4. Diskussion</u>	29
4.1 Voroperationen	29
4.2 Trochleadysplasie	30
4.3 TTTG	32
4.4 Patella alta	33
4.5 Klinische Bedeutung	34
4.6 Stärken und Schwächen dieser Arbeit	35
4.7 Schlussfolgerung	36
<u>5. Zusammenfassung</u>	37
<u>6. Literaturverzeichnis</u>	38
<u>7. Lebenslauf</u>	45

## Abkürzungsverzeichnis

bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
et al.	et alii (und andere)
Hrsg	Herausgeber
lat.	lateral
med.	medial
mm	Millimeter
MPFL	mediales patellofemorales Ligament
MRT	Magnetresonanztomographie
PFI	Patellofemorale Instabilität
TTTG	Abstand zwischen Tuberositas tibiae und der Trochleagrube (trochlear groove)

# 1. Einleitung

## 1.1 Einführung

Luxationen und Subluxationen der Kniescheibe gehören zu den am häufigsten, akut auftretenden Pathologien des Kniegelenkes bei Kindern und Jugendlichen [22, 66, 68]. Patellaluxationen, Patellasubluxationen und generelle patellofemorale Instabilitäten werden dem Überbegriff „Patellofemorale Instabilität (PFI)“ zugeordnet [2].

Nach einer akuten Patellaluxation stellen sich Kinder und Jugendliche meist mit einem Kniegelenkserguss und anhaltenden Kniebeschwerden bei einem niedergelassenen Orthopäden oder in einer Klinik vor. Bei solch einer Verletzung ist zu bedenken, dass eine unbehandelte patellofemorale Instabilität bis ins hohe Erwachsenenalter zu Gonalgien, einem eingeschränkten Aktivitätslevel, zu patellofemoraler Arthrose oder zu rezidivierender Instabilität im Kniegelenk führen kann [79].

In der Literatur ist eine Vielzahl an Operationen zur Behandlung einer patellofemorale Instabilität beschrieben [23, 29, 42, 69], jedoch variieren die Aussagen über die Operationsergebnisse deutlich. So streuen zum Beispiel die Resultate beim lateralen Release zwischen 14% und 99% von guten bis exzellenten Ergebnissen [20, 48, 52, 85].

Bei der Behandlung einer PFI sind drei verschiedene Faktoren zu beachten:

- Passive Stabilisatoren (Kapsel und Bänder)
- Statische Faktoren (knöchernen Strukturen)
- Aktive Stabilisatoren (Muskeln)

Diese drei Faktoren bestimmen die patellofemorale Gelenkführung und stehen, je nach Flexionsgrad im Kniegelenk, miteinander in direkter Wechselwirkung.

Bei vollständiger Extension und initialer Flexion fehlt die stabilisierende Komponente der Trochlea. Hier spielen passive Stabilisatoren, wie die medialen patellofemorale Weichteile und ligamentäre Zugkräfte, eine entscheidende Rolle bei der Stabilisierung der Patella. Das mediale patellofemorale Ligament (MPFL, siehe Abbildung 1), gilt als der primäre Stabilisator in strecknaher Position [4].

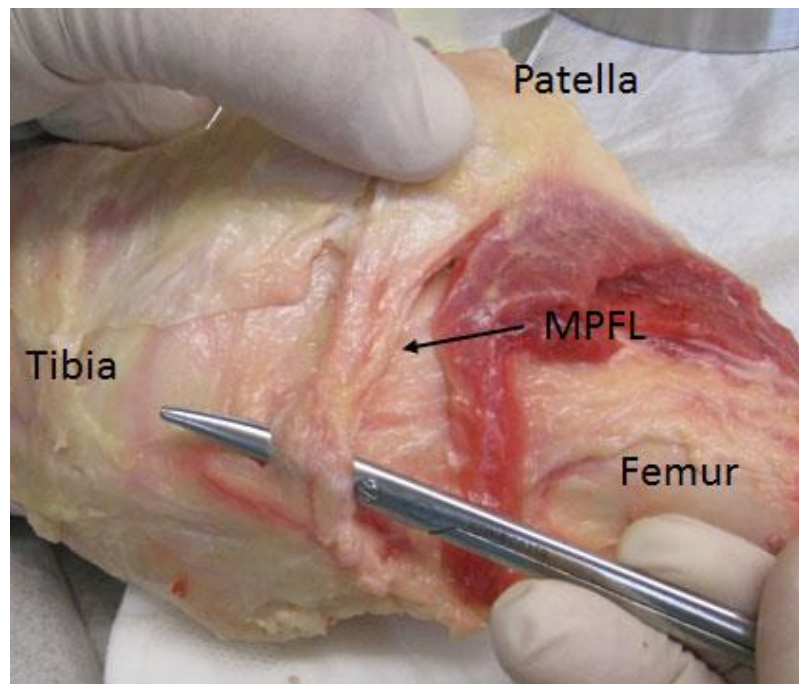


Abbildung 1: Foto einer Präparation des MPFL (mediales patellofemorales Ligament) an einem anatomischen Präparat eines Kniegelenkes. (Orthopädische Universitätsklinik Ulm 2010)

Bei einer Flexion, von mehr als 20 Grad, ist die patellofemorale Gelenkanatomie (Trochleamorphologie) als statischer Faktor von wichtiger Bedeutung. Der Sulcus trochleae fungiert in dieser Position als Gleitrinne für die Patella [35, 37].

Als dritter Stabilitätsfaktor sind es Muskeln, vor allem der Musculus vastus medialis obliquus, der die Patella bei einer Flexion über 60 Grad in der Trochlea fixiert und so ein Luxieren verhindert.

Aber nicht nur die komplexe Kniegelenkanatomie macht die Behandlung einer PFI kompliziert. Aufgrund von offenen Wachstumsfugen ist die operative Behandlung einer patellofemorale Instabilität bei Kindern und Jugendlichen eine große Herausforderung. In der Vergangenheit wurde eine Kombination aus lateralem Release, medialer Raffung und einer Operation nach Roux-Goldthwait zur Behandlung häufig favorisiert [10, 36, 59, 65, 82, 83].

Jedoch haben sich die Ansatzpunkte der Therapien einer PFI in den letzten Jahren geändert. So gewinnt das mediale patellofemorale Ligament (MPFL) an Bedeutung [28]. Studien zeigen, dass es bereits nach der ersten Patellaluxation zu einer Zerreißung des MPFL kommt [71] und nach konservativer Therapie die Relaxationsrate zwischen 15% und 60% liegt [18, 22, 29, 54]. Amis et al. und Eras-



mus [4, 28] zeigten, dass das MPFL der kräftigste und damit wichtigste Weichteilstabilisator gegen eine laterale Patellaluxation ist und somit die Rekonstruktion ein Ansatz zur Behandlung sein kann.

Patellaluxationen sind in der Regel nicht immer traumatisch bedingt. In der Literatur wird auch eine genetische Disposition diskutiert. Glard et al. [33] konnten zeigen, dass die Trochleamorphologie bereits als Fetus mit der eines Erwachsenen vergleichbar ist und somit schon vor der Geburt genetisch angelegt ist.

Daneben gibt es weitere Hauptrisikofaktoren für das Auftreten einer Patellaluxation wie beispielsweise eine Trochleadysplasie (abgeflachte medialisierte Trochlea) [5, 12, 22, 25]. Dejour et al. konnten bei 96% der Patienten mit einer Patellaluxation eine Trochleadysplasie nachweisen und so von einem Risikofaktor für eine PFI ausgehen [25].

Allerdings sind nicht nur ein gerissenes MPFL oder eine Trochleadysplasie ausschlaggebend für eine PFI. Als weitere Risikofaktoren werden ein erhöhter Abstand zwischen der Tuberositas tibiae und der Trochleagrube (TTTG) sowie ein Patellahochstand (Patella alta) angesehen [7, 25]. In einer von Dejour et al. veröffentlichten Studie, wurde bei 56% der untersuchten Patienten mit vorliegender patellofemorale Instabilität ein erhöhter TTTG nachgewiesen. Im Vergleich hierzu, war dies in einer Kontrollgruppe gesunder Patienten nur bei 3,5% der Fall [25]. Heute wird ein TTTG über 20 mm als Indikation für eine Medialisierung der Tuberositas tibiae bei geschlossenen Wachstumsfugen angesehen [22, 25, 68]. Ein Wert zwischen 10 und 12 mm ist als physiologisch einzustufen [25, 68].

Im Falle eines vorbestehenden Hochstands der Patella (Patella alta), taucht diese erst bei höheren Flexionsgraden des Kniegelenks in die Trochlea ein. Dies hat zur Folge, dass die stabilisierende Wirkung des Sulcus trochleae erst später hinzukommt und dies eine Instabilität der Patella in strecknaher Position zur Folge haben kann [7, 9, 25, 45, 79].

Bei einer patellofemorale Instabilität werden eine Trochleadysplasie, ein erhöhter TTTG, aber auch eine Patella alta als Risikofaktoren genannt. Aus diesem Grund befasst sich die vorliegende Arbeit mit diesen drei Parametern, sowie deren Zusammenhang mit einer patellofemorale Instabilität.

## 1.2. Diagnostik

### 1.2.1 Klinische Untersuchung

Zu Beginn einer Untersuchung ist immer eine ausführliche Anamnese zu erheben. Anschließend erfolgen die Inspektion und die Palpation des Kniegelenks, die Messung von Extension/Flexion sowie die Testung der Stabilität der Seitenbänder und der Kreuzbänder (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2: Foto von einem Stabilitätstest des inneren Seitenbandes eines linken Kniegelenks. Der Untersucher testet die Seitenbandstabilität im Seitenvergleich. Mit der rechten Hand stabilisiert der Untersucher das Kniegelenk. Die linke Hand am Sprunggelenk versucht, durch eine laterale Bewegung des Unterschenkels, das Innenband zu dehnen. Im Vergleich mit der Gegenseite können Rückschlüsse auf Bandlaxizitäten geschlossen werden. (Orthopädische Universitätsklinik Ulm 2013)

Um den Verlauf der Patella bei Kniegelenksflexion und Extension zu beurteilen, sollte der Patient mit frei hängenden Beinen auf einer Untersuchungsfläche sitzen. Somit ist es dem Untersucher möglich, eine Lateralisierungstendenz der Kniescheibe bei aktiver Streckung und Beugung zu erkennen (siehe Abbildung 3). Verspürt der Untersuchende bei der Untersuchung des Kniegelenkes retropatellare Krepitationen, kann eine retropatellare Knorpelschädigung ursächlich sein.



Abbildung 3: Foto aus der Sicht des Untersuchenden. Beurteilung des Verlaufs der Patella bei Kniegelenksflexion und Extension im Sitzen. Der Untersucher beobachtet den Verlauf der Patella des Patienten, bei Extension und Flexion, und kann so eine Lateralisierungstendenz der Patella erkennen. (Orthopädische Universitätsklinik Ulm 2013)

In Rückenlage ist die Untersuchung der Beweglichkeit im Kniegelenk und in den angrenzenden Gelenken durchzuführen. Mit leichtem manuellen Druck auf die Patella kann der Untersuchende die Stabilität im Vergleich zur Gegenseite testen. Bei einem Flexionswinkel von 20 bis 30 Grad wird der Apprehensionstest durchgeführt. Hierbei versucht der Untersucher die Patella manuell zu lateralisieren (siehe Abbildung 4). Nimmt der Patient eine Abwehrhaltung ein, so ist der Test positiv zu werten.



Abbildung 4: Foto der Durchführung eines Apprehensionstests. Durch den Versuch einer seitlichen Verschiebung der Patella über den lateralen Femurkondylus wird eine Abwehrbewegung des Patienten provoziert. Nimmt der Patient eine Abwehrhaltung ein, so ist der Test als positiv zu werten. (Orthopädische Universitätsklinik Ulm 2013)

Im Stehen wird der Patient auf Achs- und Rotationfehlstellungen, wie zum Beispiel Genua valga oder eine vermehrte femorale Antetorsion untersucht. Angrenzende Gelenke, wie Hüft- und Sprunggelenke, müssen ebenfalls untersucht werden.

## 1.2.2 Radiologische Diagnostik

### 1.2.2.1 Diagnostik mittels Röntgen

Zur Bestimmung der Patellahöhe (siehe 2.6) und zur Darstellung der Konfiguration der Trochlea, wird ein streng seitliches Röntgenbild angefertigt (siehe Abbildung 5). Die Aussagekraft des seitlichen Röntgenbildes hängt sehr von der Qualität der Aufnahme ab. Sind die dorsalen Kondylen nicht genau übereinander projiziert, kann dies zu einem falsch-positiven Ergebnis bei der Klassifikation der Trochleadysplasie führen (siehe 2.5 und Abbildung 6) [47].



Abbildung 5: Bestimmung der Patellahöhe nach Caton-Deschamps an einem linken Kniegelenk. Seitliches Röntgenbild mit Messlinien (weiße Linien) entlang der Patellagelenkfläche und vom distalen Patellapol zur vorderen oberen Tibiagrenze. L= links. Weiße Linien=Messlinien. (Orthopädische Universitätsklinik Ulm 2012)

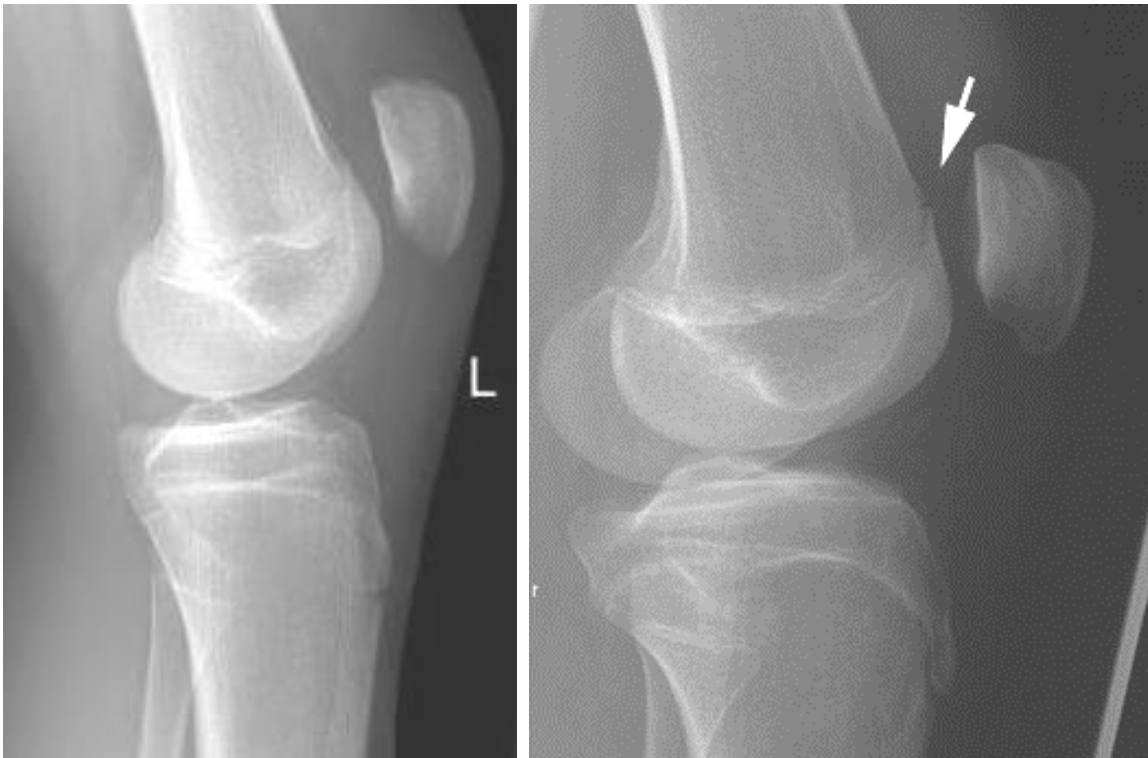


Abbildung 6: Zwei seitliche Röntgenaufnahmen zweier Kniegelenke. Linke Abbildung: Linkes Kniegelenk. Röntgenaufnahme mit übereinander projizierten posterioren Kondylen. Rechte Abbildung: Linkes Kniegelenk. Röntgenaufnahme mit Rotation im Kniegelenk und falsch positivem Crossing Sign. Pfeil = falsches Crossing Sign, Crossing Sign = Schnittpunkt zwischen Sulcuslinie und dem lateralen Rand der Kondyle. L= links. (Orthopädische Universitätsklinik Ulm 2010)

### 1.2.2.2 Diagnostik mittels Schnittbildgebung

Für eine optimale Beurteilung der patellofemorale Anatomie, zur Beurteilung von Knorpel- und Bandverhältnissen und zur Klassifikation der Trochleadysplasie ist eine T2-gewichtete Magnetresonanztomographie erforderlich (siehe Abbildung 7). Die transversalen Schnittbilder mit der Darstellung der Trochleagrube und ein zweites Schnittbild auf Höhe der Tuberositas tibiae sind zur Bestimmung des TTTG erforderlich (siehe 2.4).

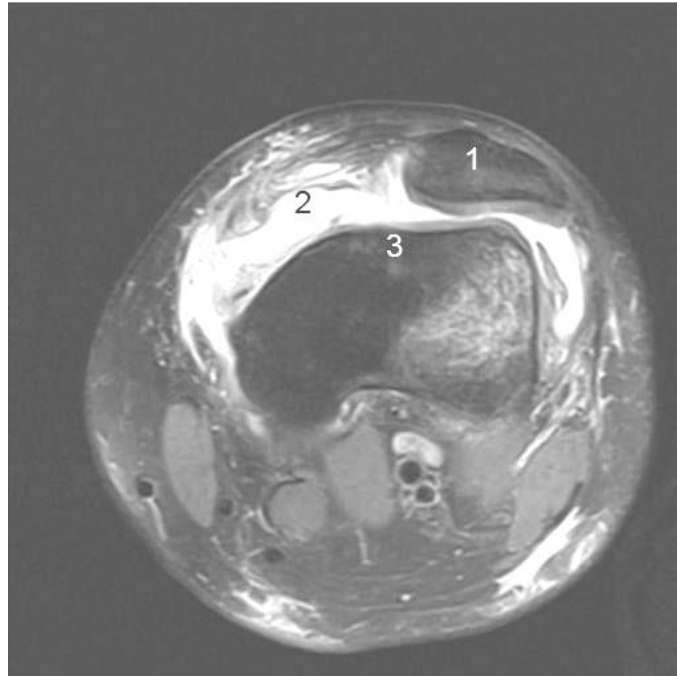


Abbildung 7: Axiales Magnetresonanztomographie-Schnittbild auf dem die Trochlea erstmals komplett mit Knorpel überzogen ist. Zu sehen sind eine lateralisierte Patella (1) und ein rupturiertes mediales patellofemorales Ligament (2) bei abgeflachter Trochlea (3). (Orthopädische Universitätsklinik Ulm 2012)

### 1.3 Konservative Therapie bei patellofemoraler Instabilität

Handelt es sich um die erste Patellaluxation ohne eine chondrale oder osteochondrale Verletzung, so kann eine konservative Therapie erfolgen. Nach primärer Ruhigstellung in einer Orthese, Kühlung und Einnahme von abschwellenden Medikamenten, ist mit einer krankengymnastisch unterstützten Stabilisierung des Kniegelenkes zu beginnen. Ein Aufbautraining der Oberschenkelmuskulatur, insbesondere des Musculus vastus medialis, ist anzustreben und langfristig beizubehalten [50].

## 1.4 Operative Therapie bei patellofemoraler Instabilität

Eine nicht direkt zu den Operationstechniken zählende Intervention ist die Arthroskopie des Kniegelenkes. Hierbei wird medial und lateral des distalen Patellapols über kleine Stichinzisionen ein Zugang zum Kniegelenk geschaffen. Darüber wird das Kniegelenk mit steriler Flüssigkeit gespült und der Gelenkspalt durch erhöhten Druck aufgedehnt. Um das Kniegelenk optimal begutachten zu können, werden ein stumpfer Trokar und die Winkeloptik in den Gelenkspalt eingeführt. Ein großer Vorteil gegenüber der diagnostischen Bildgebung ist hierbei, dass zeitgleich zur Begutachtung des Kniegelenkes kleine Knorpelabscherungen oder freie Gelenkkörper geborgen oder refixiert werden können. Ebenso können Begleitverletzungen am Kapsel-Band-Apparat diagnostiziert und mitbehandelt werden [73].

### 1.4.1 Operationstechniken bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen

#### 1.4.1.1 Laterales Release und Retinakulumverlängerung

Das laterale Release ist ein Eingriff, der meist arthroskopisch, aber auch offen chirurgisch erfolgen kann. Dabei werden mehrere Schichten des lateralen Retinakulums, manchmal auch das patellotibiale und epikondylopatellare Ligament, durchtrennt [29, 60, 85]. Grundgedanke des Eingriffes ist, den lateralen ligamentären Zug zu senken und so der Patellalateralisation entgegenzuwirken [77]. Die in der Literatur beschriebenen Resultate streuen sehr stark zwischen 14% und 99% von guten bis exzellenten Ergebnissen [20, 48, 52, 85]. Ein Nachteil dieser Operation kann eine resultierende sekundäre mediale Patellainstabilität sein [13]. Als Alternative zum lateralen Release wird die laterale Retinakulumverlängerung beschrieben. Hierbei handelt es sich eigentlich um eine Operationsmethode zur Behandlung der lateralen Hyperkompression. Über einen 2,5 cm langen Hautschnitt über dem lateralen Retinakulum werden die tiefen von den oberflächlichen Schichten des Retinakulums frei präpariert. Die tiefe Schicht wird dann unter Belassung der Synovialmembran komplett durchtrennt und mit weniger Spannung in Verlängerung wieder zusammen genäht. Als Vorteile der lateralen Retinakulumverlängerung gegenüber dem lateralen Release beschreibt Biedert den gleichen therapeutischen Effekt bei Vermeidung einer sekundären medialen Patellainstabilität und



der Möglichkeit einer individuellen Anpassung der Spannung der lateralen Strukturen [13].

#### 1.4.1.2 Mediale Kapselraffung

Die mediale Raffung erfolgt entweder offen chirurgisch oder arthroskopisch.

Bei der offenen Operation wird über einen etwa 4 cm langen Hautschnitt der innere Halteapparat der Kniescheibe gerafft und in mehreren Schichten vernäht.

Yamamoto beschrieb als Erster 1986 eine Technik, um die mediale Raffung arthroskopisch durchzuführen [88]. In den letzten Jahren sind viele Techniken beschrieben worden, die sich an die Technik von Yamamoto anlehnen. Diese werden in der Literatur diskutiert und mit anderen Verfahren verglichen [40, 41, 58]. Am Oberpol der Patella wird nach einer Stichinzision parapatellar medial unter Mitfassen des Periosts eine Punktionskanüle ins Gelenk eingestochen. In dieser liegt ein zu einer Schlinge geformter resorbierbarer monofiler Faden. Mit Hilfe einer Reverdin-Nadel wird jenseits der Rissstelle des Retinakulums die Fadenschlinge aus dem Gelenk gezogen. Dieser Vorgang wird etwa drei bis fünfmal wiederholt. Mit Hilfe eines kleinen Tasthakens werden die Fadenenden über einen kleinen Hautschnitt parapatellar über dem Retinakulum an die Hautoberfläche gebracht, wodurch eine U-Naht entsteht. Unter arthroskopischer Sicht werden die Nahtspannung kontrolliert und die Fäden in Strecknähe, unter leichtem Druck auf die Patella, von lateral geknotet [69].

#### 1.4.1.3 Technik nach Roux-Goldthwait

Bei der Medialisierung der Patellasehne nach Roux-Goldthwait wird die Patellasehne mittig gespalten. Die laterale Hälfte der Patellasehne wird in einem Tunnel unter der medialen Hälfte durchgezogen und am medialen Retinakulum fixiert [34].

#### 1.4.1.4 Distalisierung des Musculus vastus medialis

Bei der Distalisierung des Musculus vastus medialis (Operation nach Insall) wird die Sehne des Musculus vastus medialis an der Patella abgelöst. Anschließend wird sie ein bis zwei Zentimeter weiter distal an der Patella wieder verankert [46].

#### 1.4.1.5 Rekonstruktion des medialen patellofemorales Ligaments

Bei dieser Operationstechnik wird eine autologe freie Grazilissehne, oder auch die Semitendinosussehne, als Ersatz für das MPFL verwendet. Auch die Sehne des Musculus quadriceps femoris kann bei spezieller Operationstechnik zur Rekonstruktion verwendet werden [55, 64].

Bei der Grazilissehnentransplantation wird über einen Hautschnitt das superomediale Patellaeck dargestellt. Die patellare Fixierung der entnommenen Sehne erfolgt entweder über einen V-förmigen Bohrkanal bzw. mittels zweier Knochenanker. Nach dem Aufsuchen der 2. und 3. medialen patellofemorales Schicht, in der das MPFL liegt, wird ein Kanal Richtung Tuberculum adductorium präpariert. Eine weitere Stichinzision erfolgt zwischen Tuberculum adductorium und dem medialen Epikondylus, um einen Draht zu platzieren. Da die korrekte femorale Platzierung sehr wichtig ist, wird diese bildwandlerkontrolliert durchgeführt [76]. Nun wird von medial ein Sackloch für das Transplantat gebohrt. Das Transplantat wird femoral eingezogen und das Alignment der Patella so eingestellt, dass die laterale Patella-facetten auf gleicher Höhe mit dem lateralen Femurkondylenrand liegt. Nach zuvor durchgeführter Kontrolle des vollständigen Bewegungsumfangs, erfolgt die Fixierung am anatomischen Insertionspunkt mit einer kanülierten Interferenzschraube. Die richtige Bandspannung wird durch Tasten des Bandes bei der Bewegungsprüfung kontrolliert [27].

## 1.4.2 Operationstechniken bei Patienten mit geschlossenen Wachstumsfugen

### 1.4.2.1 Medialisierung der Tuberositas tibiae

Die Medialisierung der Tuberositas tibiae ist sehr weit verbreitet. Meistens erfolgt die Medialisierung der Tuberositas um etwa 10-15 mm. Dies wird durch eine koronare Osteotomie der Tuberositas tibiae, mit anschließender medialer Verschiebung und suffizienter Schraubenfixierung erreicht [39, 70].

### 1.4.2.2 Operationstechnik nach Elmslie-Trillat

Bei der Operationstechnik nach Elmslie-Trillat wird nach lateraler Retinakulumspaltung die Tuberositas tibiae umschnitten und ein Knochenblock, unter Belassung einer distalen Knochenbrücke, herausgesägt. Um diese Knochenbrücke wird der proximale Anteil mit der Patellasehne nach medial geschwenkt und mit Schrauben fixiert. Trillat et al. führen zusätzlich noch eine mediale Kapselraffung durch [49, 80].

### 1.4.2.3 Trochleoplastik

Handelt es sich um eine hochgradige Trochleadysplasie, bei der die knöchernen Führung fehlt, das Gleitlager flach bis konvex oder sogar mit einem Höcker versehen ist, kann eine Indikation zur Trochleoplastik bestehen [26]. Bei der Trochleoplastik wird eine Knorpel-Knochenschuppe schrittweise abgehoben und eine neue subchondrale Trochlearinne geformt. Anschließend wird der abgehobene Knorpel an die neue Trochlearinne anmodelliert und mit einem Vicrylband und Knochenankern fixiert [11, 63].

## 1.5 Ziel der Arbeit

In dieser Arbeit wurde eine Gruppe von 37 Kindern und Jugendlichen mit offenen Wachstumsfugen, bei denen eine patellastabilisierende Operation erfolgte, retrospektiv analysiert. Alle Patienten zeigten postoperativ mindestens eine Relaxation oder keine Besserung der Kniebeschwerden. Das Ziel dieser Arbeit war, die Ursachen für das Versagen der vorangegangenen Operation anhand von radiologischen Markern, wie Trochleadysplasie, TTTG und Patellahöhe zu analysieren.

Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass das Vorhandensein einer Trochleadysplasie, ein erhöhter TTTG oder eine abnormale Patellahöhe die Hauptrisikofaktoren für eine persistierende patellofemorale Instabilität darstellen.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Studiendesign

In dieser Arbeit wurden 37 Kinder und Jugendliche mit offenen Wachstumsfugen mit mindestens einer Reluxation der Patella oder persistierenden Beschwerden nach einer patellastabilisierenden Operation retrospektiv untersucht.

Analysiert wurde die mögliche Ursache für das Versagen der vorangegangenen Operation anhand radiologischer Kriterien zur Beurteilung der Trochleamorphologie, des TTTG und der Patellahöhe.

### 2.2 Patientenauswahl

Im Zeitraum von 2007 bis 2010 wurden 158 Patienten mit PFI an der Orthopädischen Universitätsklinik Ulm operiert, erhielten eine Empfehlung zur Operation oder wurden konservativ behandelt. Aus diesem Patientenpool wurden die Patienten ausgewählt, welche mindestens eine patellastabilisierende Voroperation erhielten und trotz dieser weiterhin eine persistierende patellofemorale Instabilität, Reluxationen oder Schmerzen aufwiesen.

Einschlusskriterien waren, neben der persistierenden PFI oder Schmerzen trotz einer patellastabilisierenden Operation, offene Wachstumsfugen, das Vorhandensein von radiologischen Befunden, T2-gewichtete MRT-Bilder und seitliche Röntgenbilder. Ausgeschlossen wurden Patienten, bei denen es vermutlich aufgrund einer anderen Grunderkrankung (z.B. Ehlers-Danlos-Syndrom), einer höhergradigen Achsfehlstellung oder aufgrund einer allgemeinen Bandlaxizität zu einer Reluxation der Patella kam. Ebenfalls ausgeschlossen wurden Patienten mit geschlossenen Wachstumsfugen oder mit unvollständiger Bildgebung.

In die retrospektive Studie wurden endgültig 37 Patienten mit offenen Wachstumsfugen aufgenommen und ausgewertet.

Als Kontrollgruppe diente eine Gruppe von 23 Patienten mit erfolgreicher Patellastabilisierung. Diese Patienten erhielten eine mediale Raffung oder eine Kombination aus einer medialen Raffung und einer Operation nach Roux-Goldthwait. Bei

keinem der Patienten der Kontrollgruppe kam es zu einer Relaxation der Knie-scheibe.

Die Patienten der Kontrollgruppe waren vergleichbar bezüglich Alter, Geschlecht und Indikation zur Operation.

### 2.3 Patientendaten

Die klinischen Befunde bei Erstvorstellung bzw. Wiedervorstellung wurden den schriftlich dokumentierten Daten der Patientenakten entnommen. Radiologische Befunde wurden kontrolliert, neu befundet und zusammengetragen. Seitliche Röntgenaufnahmen und transversale MRT-Schnittbilder wurden herangezogen. Bei Patienten, die extern voroperiert waren, wurden die vorliegenden klinischen und radiologischen Befunde in die Analyse einbezogen. Bei den Patienten, die in der Orthopädischen Universitätsklinik Ulm operiert wurden bzw. bei denen es zu einem Revisionseingriff kam, wurde zusätzlich der Operationsbericht in die Auswertung einbezogen, um den radiologischen und klinischen Befund zu sichern.

### 2.4 Bestimmung des TTTG

In dieser Arbeit erfolgte die Bestimmung des TTTG mittels einer Magnetresonanztomographieuntersuchung.

Um den TTTG zu bestimmen, werden transversale MRT-Schnittbilder herangezogen. Ein transversales Schnittbild mit Darstellung der Trochleagrube und ein zweites Schnittbild mit dargestellter Tuberositas tibiae werden übereinander projiziert. Eine Linie durch den tiefsten Punkt der Trochlea und eine Linie durch die Mitte der Tuberositas tibiae werden senkrecht zur hinteren Kondylenlinie gezogen (siehe Abbildung 8). Der Abstand dieser beider Linien wird ausgemessen und beschreibt den TTTG [25].

Ein TTTG von 10 bis 12 mm gilt als physiologisch [25, 68]. Ein erhöhter TTTG über 20 mm kann entweder durch eine Trochleadysplasie, eine Innenrotation des Femurs, eine tibiale Aussenrotation oder eine Valgusfehlstellung der unteren Extremitäten verursacht werden. Eine Verkleinerung kann durch eine Medialisierung der Tuberositas tibiae hervorgerufen sein [77].

Die Bestimmung des TTTG erfolgte ursprünglich mit der Computertomographie. Jedoch zeigen Schöttle et al., dass die Bestimmung auch mit einer strahlenfreien MRT-Untersuchung durchführbar ist [75].

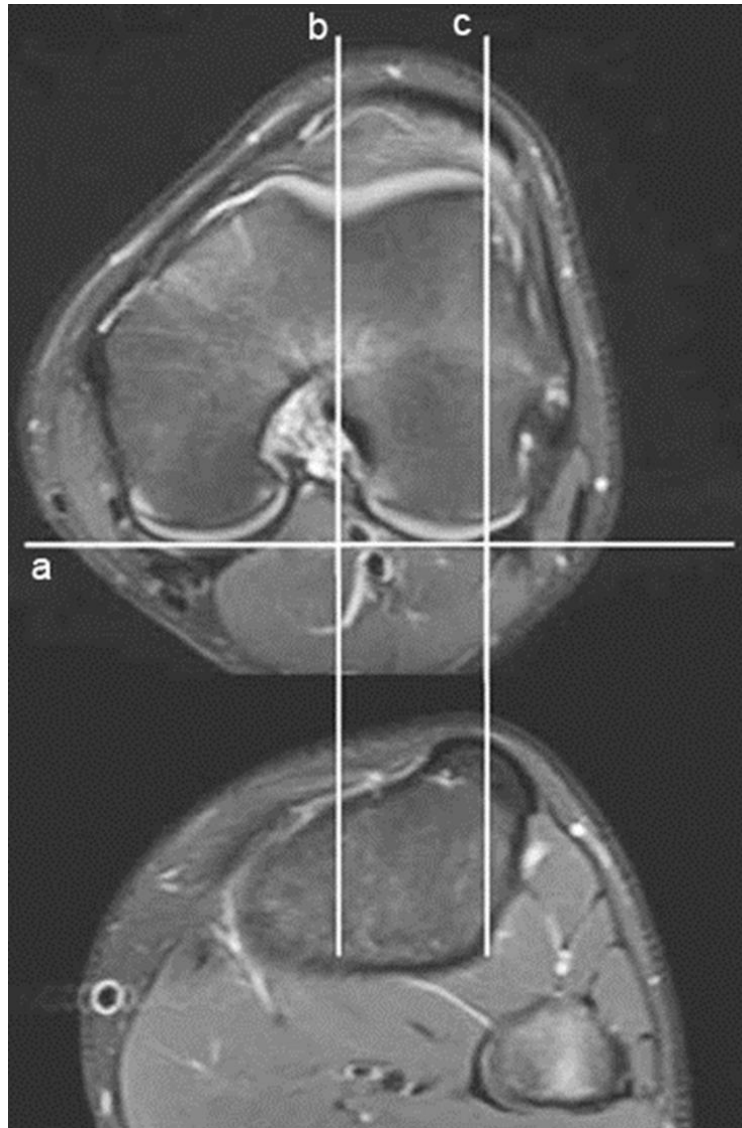


Abbildung 8: Magnetresonanztomographie-Schnittbild. Bestimmung des TTTG (Abstand zwischen Tuberositas tibiae und der Trochleagrube) mittels Magnetresonanztomographie. Der Abstand der zwei Senkrechten (b und c) auf die Tangente der hinteren Kondylenlinie beschreibt den TTTG. a= hintere Kondylenlinie, b= Senkrechte zu a durch den tiefsten Punkt der Trochlea, c= Senkrechte zu a mittig durch die Tuberositas tibiae. (Orthopädische Universitätsklinik Ulm 2012)

## 2.5 Klassifikation der Trochleadysplasie

Die Klassifikation der Trochleadysplasie erfolgte nach den Kriterien von Dejour (siehe Tabelle 1) [25]. Jedoch kann die Trochleadysplasie auch mit Hilfe von anderen Klassifikationen eingeteilt werden [12, 17, 67].

Typischerweise werden zur Klassifikation sowohl die seitlichen Röntgenaufnahmen als auch die transversalen MRT-Schnittbilder herangezogen.

Zur Klassifikation wird das von proximal kommende MRT-Schnittbild, auf dem die Trochlea erstmals komplett mit Knorpel überzogen ist, als Referenzbild verwendet (siehe Abbildung 9). Eine Grad A Trochleadysplasie wird durch eine erhaltene, aber abgeflachte Trochleamorphologie charakterisiert. Bei einer Grad B Trochleadysplasie ist die Trochlea flach. Trochleadysplasien vom Grad C und D haben beide eine Asymmetrie der Trochleafacette. Grad C weist zusätzlich eine laterale konvexe und eine mediale hypoplastische Facette auf; Grad D hat zudem einen vertikalen Falz (cliff pattern).

Anhand von seitlichen Röntgenaufnahmen des Kniegelenkes kann ebenso die Einteilung einer Trochleadysplasie nach Dejour erfolgen (siehe Abbildung 9). Dabei ist darauf zu achten, dass die posterioren Kondylen übereinander projiziert sind und das Bild nicht fehlrotiert ist. Die Gefahr bei fehlrotierten Bildern besteht darin, dass es zu einer falsch-positiven oder falsch-negativen Diagnose kommen kann [47]. Eine Trochleadysplasie Grad A wird durch ein Crossing Sign klassifiziert. Als Crossing Sign wird der Schnittpunkt zwischen Sulcuslinie und dem lateralen Rand der Kondyle bezeichnet. Eine Trochleadysplasie Grad B weist zusätzlich einen supratrochleären Sporn auf. Grad C und D haben sowohl ein Crossing Sign als auch eine Doppelkontur als Zeichen eines hypoplastischen medialen Femurkondylus. Die nativ-radiologisch sichtbare Doppelkontur entsteht daher durch die Asymmetrie der beiden femoralen Kondylen, welche sich nicht exakt übereinander projizieren lassen. Eine Trochleadysplasie Grad D weist wie Grad B zusätzlich noch einen supratrochleären Sporn auf.



Tabelle 1: Klassifikation der Trochleadysplasie von Dejour (1994) in vier Grade [25]. Die Einteilung kann durch konventionelles Röntgen oder durch eine Computertomographie erfolgen. Die linke Spalte zeigt die Grade A bis D. Die mittlere und die rechte Spalte zeigen die dazugehörigen Einteilungskriterien im konventionellen Röntgen und in der Computertomographie.

	Konventionelles Röntgen	Computertomographie
Grad A	- Crossing Sign	- erhaltene aber abgeflachte Trochleamorphologie
Grad B	- Crossing Sign - supratrochleären Sporn	- flache oder konvexe Trochlea
Grad C	- Crossing Sign - Doppelkontur	- Asymmetrie der Trochleafacette: laterale konvexe und mediale hypoplastische Facette
Grad D	- Crossing Sign - Supratrochleären Sporn - Doppelkontur	- Asymmetrie der Trochleafacette - vertikalen Falz (cliff pattern)



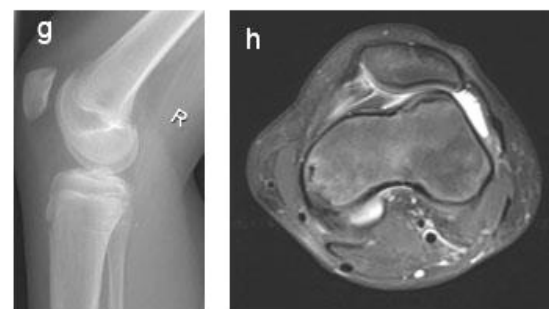
Dejour Grad A



Dejour Grad B



Dejour Grad C



Dejour Grad D

Abbildung 9: Klassifikation der Trochleadysplasie nach Dejour im Röntgenbild (Abbildungen a, c, e, g) und im Magnetresonanztomographiebild (Abbildungen b, d, f, h). L=linkes Kniegelenk, R=rechtes Kniegelenk. (Orthopädische Universitätsklinik Ulm 2009/2010)

Abbildung 9 a+b: Dejour Grad A: Crossing sign

Abbildung 9 c+d: Dejour Grad B: Crossing sign, supratrochleärer Sporn, abgeflachte Trochlea

Abbildung 9 e+f: Dejour Grad C: Crossing sign, Doppelkontur, Asymmetrie der Trochleafacette

Abbildung 9 g+h: Dejour Grad D: Grad B + C, Asymmetrie der Trochleafacette, vertikaler Falz

## 2.6 Bestimmung der Patellahöhe

Die Bestimmung der Patellahöhe erfolgte auf einer seitlichen Röntgenaufnahme des Kniegelenks anhand des Caton-Deschamps-Index; dieser berechnet sich wie folgt (siehe Abbildung 10):

$$\text{Caton-Deschamps-Index} = \text{AT/PA}$$

Die Länge der Patellagelenkfläche wird als Wert PA, der Abstand vom distalen Pol der Patellagelenkfläche bis zur vorderen oberen Tibiagrenze als Wert AT angegeben [19].

Bei Werten kleiner als 1,2 wird von einer Patella norma, bei Werten gleich oder größer als 1,2 von einer Patella alta gesprochen. Bei Werten kleiner als 0,6 handelt es sich um eine Patella infera oder baja [19].

Zur Bestimmung der Patellahöhe kann ebenso der Insall-Salvati-Index [44] oder Blackburne-Peel-Index [14] verwendet werden. Caton und Dejour [19] zufolge ist der Caton-Deschamps-Index jedoch am praktikabelsten, da zum Ausmessen der Abstände leicht zu findende anatomische Strukturen aufgesucht werden und die Qualität der Röntgenbilder keinen großen Einfluss auf die Messung habe. Das Knie kann für die Messung zwischen 10 und 80 Grad gebeugt sein [19].

Die Bestimmung der Patellahöhe in der Kontrollgruppe erfolgte anhand des Insall-Salvati-Index [44].

Hierbei spricht man bei Werten kleiner als 0,8 von einer Patella alta, bei Werten größer 1,2 von einer Patella infera. Bei Werten zwischen 0,8 und 1,2 von einer Patella norma.

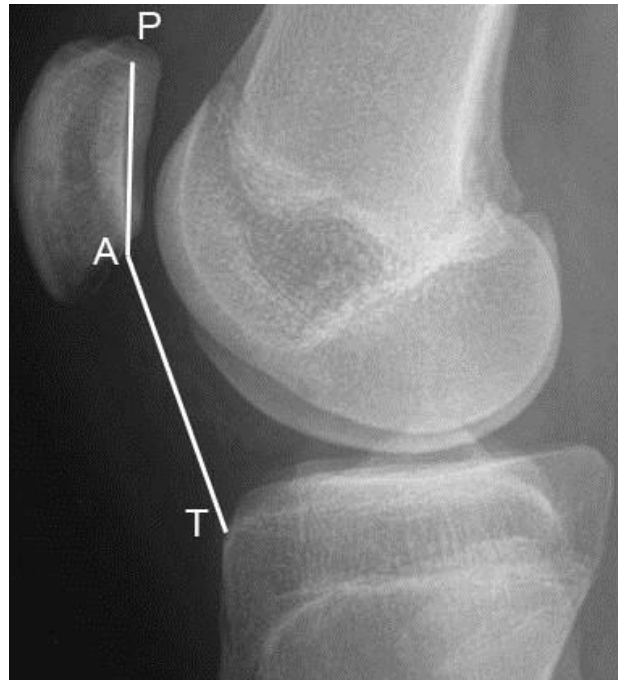


Abbildung 10: Bestimmung der Patellahöhe durch den Caton-Deschamps-Index im seitlichen Röntgenbild. Bestimmung der Strecke AT und AP.  $AT/AP = \text{Patellahöhenindex}$ ; P= proximaler Punkt der Patellagelenkfläche; A= distaler Punkt der Patellagelenkfläche; T= vordere obere Tibiagrenze [25]. (Orthopädische Universitätsklinik Ulm 2012)

## 2.7 Statistische Analyse

Zur Durchführung aller statistischen Analysen wurden die Softwareprogramme Microsoft® Excel 2010 (Seattle, CA, USA) und SPSS für Windows, Version 20.0 (SPSS, IBM, USA) verwendet. Für die deskriptive Analyse wurden der Median, die Range, das Minimum und das Maximum (Alter, Patellahöhenindex, TTTG) bestimmt, sowie die Häufigkeiten (Geschlechtsverteilung, Schweregrad der Trochleardysplasie, Anzahl Voroperationen) angegeben.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Demographische Daten

Insgesamt wurden in dieser Arbeit Daten von 37 Patienten (n=37) analysiert. Dieser Patientenstamm setzte sich aus 25 Mädchen und 12 Jungen zusammen, deren medianes Alter zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung 18 Jahre (12 – 26) betrug. Bei der ersten Operation lag der Median des Alters bei 14 Jahren (10 – 16). Alle Patienten hatten mindestens eine und bis zu drei Voroperationen. Der Median der Voroperationen lag bei 1,3 (1 – 3), siehe Tabelle 2.

Tabelle 2: Demographische Daten der 37 analysierten Patienten mit patellofemoraler Instabilität (n=37). Angabe des medianen Alters und die Range des Alters der Patienten zum Zeitpunkt der Untersuchung und zum Zeitpunkt der ersten Operation. Anzahl der Mädchen und der Jungen von 37 untersuchten Patienten. Angabe des Medians der Anzahl und die Range der Voroperationen. (Orthopädische Universitätsklinik Ulm 2012)

Alter	18 Jahre (12 – 26)
Alter bei erster Operation	14 Jahre (10 – 16)
Anzahl Mädchen	25/37
Anzahl Jungen	12/37
Anzahl der Voroperationen	1,3 (1 – 3)

#### 3.2 Anzahl der Voroperationen

Alle Patienten waren bei Erhebung dieser Daten mindestens einmal voroperiert (siehe Tabelle 2). Drei Patienten erhielten ein isoliertes laterales Release und acht eine isolierte mediale Raffung. Elf der analysierten Patienten wurden mit einem offenen lateralen Release in Kombination mit einer medialen Raffung behandelt. Drei Patienten wurden arthroskopiert, wobei ein laterales Release und eine mediale Raffung durchgeführt wurden. Insgesamt erhielten sechs Patienten eine Operation nach Roux-Goldthwait. Vier davon hatten zusätzlich eine mediale Raffung, zwei Patienten zusätzlich ein laterales Release und eine mediale Raffung. Sechs

der 37 Patienten erhielten eine Kombination aus einer medialen Raffung und einer Distalisierung des Musculus vastus medialis (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Art der Voroperationen und die Anzahl der Patienten, welche diese Operationen erhielten (n=37) (Orthopädische Universitätsklinik Ulm 2012)

Isoliertes laterales Release	3/37
Isolierte mediale Raffung	8/37
Offenes laterales Release und mediale Raffung	11/37
Arthroskopisches laterales Release und mediale Raffung	3/37
Roux-Goldthwait und mediale Raffung	4/37
Roux-Goldthwait, mediale Raffung und laterales Release	2/37
Mediale Raffung und Distalisierung Musculus vastus medialis	6/37

### 3.3 Beschwerden nach vorangegangener Operation

Trotz der patellastabilisierenden Operationen hatten 34 von 37 Patienten Patella-relaxationen (siehe Tabelle 4). Sechs Patienten erlitten eine Relaxation, 21 Patienten zwei bis fünf Relaxationen, und sieben Patienten mehr als fünf Relaxationsereignisse. Drei der 37 Patienten gaben zwar an, keine Relaxation gehabt zu haben, dafür jedoch rezidivierende Subluxationsereignisse oder sie beklagten persistierende postoperative Gonalgien.

Tabelle 4: Beschwerden nach vorangegangener Operation und die Anzahl der Patienten, welche diese Beschwerden aufzeigten (n=37). (Orthopädische Universitätsklinik Ulm 2012)

Relaxationen	34/37
Eine Relaxationen	6/37
Zwei bis fünf Relaxationen	21/37
Mehr als fünf Relaxationen	7/37
Subluxationen und Gonalgien	3/37

### 3.4 Trochleadysplasie und TTTG

Durch eine MRT-Untersuchung wurden der TTTG und der Ausmaß der Trochleadysplasie bestimmt (siehe Tabelle 5).

Der Median der 37 bestimmten TTTG betrug 1,7 cm (0,7 – 3,3). Bei sieben Patienten war der TTTG größer als 2 cm (2,0 – 3,3) und bei 27 kleiner als 2 cm mit einem Median von 1,4 cm (0,7 – 1,9).

Zur Beurteilung der Trochleadysplasie nach den Kriterien nach Dejour wurden 37 MRT ausgewertet. MRT-morphologisch konnte bei einem Patienten (3%) keine Trochleadysplasie festgestellt werden. Drei Patienten (8%) zeigten eine Trochleadysplasie Grad A auf, fünf Patienten (14%) Grad B, 15 Patienten (40%) Grad C und 13 Patienten (35%) Grad D.

Tabelle 5: Radiologische Befunde der Magnetresonanztomographie und Röntgenuntersuchung. Aufgelistet ist die Einteilung in Grade der Trochleadysplasie und die Anzahl der Patienten, welche diese Grade in den Magnetresonanztomographien aufzeigten (n=37). Der Median und die Ränge der ermittelten TTTG in den Magnetresonanztomographien und der Patellahöhenindexe in den Röntgenuntersuchungen sind ebenso aufgeführt. TTTG= Abstand zwischen Tuberositas tibiae und der Trochleagrube. (Orthopädische Universitätsklinik Ulm 2012)

Keine Trochleadysplasie	1/37
Trochleadysplasie Grad A	3/37
Trochleadysplasie Grad B	5/37
Trochleadysplasie Grad C	15/37
Trochleadysplasie Grad D	13/37
TTTG	1,7 cm (0,7 – 3,3 cm)
Patellahöhe Caton-Deschamps-Index	0,99 (0,7 – 1,31)

### 3.5 Patellahöhenindex

Der Patellahöhenindex nach Caton-Deschamps, bestimmt auf 37 seitlichen Röntgenbildern, ergab einen Median von 0,99 (0,7 – 1,31), siehe Tabelle 5.

Bei 32 von den 37 Patienten ergab die Bestimmung der Patellahöhe einen Index von kleiner 1,2. Dies entspricht definitionsgemäß einer Patella norma (siehe 2.6). Fünf Patienten hatten einen Index von größer und gleich 1,2, was als pathologisch zu werten ist (= Patella alta).

### 3.6 Kontrollgruppe

Als Kontrollgruppe wurden 23 Kinder und Jugendliche mit erfolgreicher Patellastabilisierung herangezogen. Die Kontrollgruppe umfasste 14 weibliche und neun männliche Patienten mit einem Altersmedian von 14 Jahren (10 – 15) zum Zeitpunkt der operativen Therapie.

In dieser Gruppe zeigten 14 Patienten eine Trochleadysplasie Grad A nach Dejour, fünf Patienten eine Trochleadysplasie Grad B. Bei 4 Patienten fand sich keine Trochleadysplasie und bei keinem der Patienten war eine höhergradige Trochleadysplasie Grad C oder D zu finden.

Der Median des TTTG der Kontrollgruppe betrug 1,8 cm (1,2 – 2,6) und der Median der Patellahöhe nach Insall-Salvati betrug 1,1 (1,0 – 1,3).



## 3.7. Patientenbeispiele mit Untersuchungsergebnissen

### 3.7.1 Patientenbeispiel 1:

Patientin weiblich, zum Zeitpunkt der Untersuchung 26 Jahre alt, Zustand nach dreifacher Arthroskopie mit lateralem Release und medialer Kapselraffung. Bei der ersten Operation war die Patientin 14 Jahre alt.



Abbildung 11: Magnetresonanztomographiebild T2-gewichtet. Darstellung des rechten Kniegelenks mit einer Trochleadysplasie Grad D nach Dejour. Schwarzer Pfeil = Trochleadysplasie Grad D in Form eines vertikalen Falzes (cliff pattern). (Orthopädische Universitätsklinik Ulm 2010)

Diese Patientin stellte sich mit anamnestisch mehrfacher Patellaluxation nach vorangegangenen Operationen vor. Radiologische Untersuchungen ergaben auf dem seitlichen Röntgenbild und in der MRT-Bildgebung eine Trochleadysplasie Grad D nach Dejour (siehe Abbildung 11). Der TTTG betrug 1,8 cm und der Caton-Deschamps-Index 0,9. Aufgrund der hochgradigen Trochleadysplasie mit Insuffizienz des MPFL, wurde im Alter von 26 Jahren die Indikation zur MPFL-Rekonstruktion kombiniert mit einer Trochleoplastik gestellt.

### 3.7.2 Patientenbeispiel 2:

Patient männlich, zum Zeitpunkt der Untersuchung 22 Jahre alt, Zustand nach zweifacher arthroskopischer medialer Raffung und einmaligem arthroskopischen lateralen Release. Bei der ersten Operation war der Patient 16 Jahre alt.



Abbildung 12: Magnetresonanztomographiebild T2-gewichtet. Darstellung eines rechten Kniegelenks mit einer Trochleadysplasie Grad A nach Dejour. Schwarzer Pfeil = Trochleadysplasie Grad A in Form einer abgeflachten Trochlea. (Orthopädische Universitätsklinik Ulm 2010)

Dieser Patient stellte sich mit anamnestisch zweimaliger Luxation und mehrfacher Subluxation nach oben genannten Operationen vor. Radiologische Untersuchungen ergaben auf dem seitlichen Röntgenbild und in der MRT-Bildgebung eine Trochleadysplasie Grad A nach Dejour. Der TTTG betrug 1,7 cm und der Caton-Deschamps-Index 1,1. Der Patient wurde daraufhin mit einer MPFL-Rekonstruktion versorgt.

## 4. Diskussion

In dieser retrospektiven Arbeit wurden insgesamt 37 Patienten mit patellofemorale Instabilität analysiert. Nach vorangegangener patellastabilisierender Operation im Alter zwischen 12 und 26 Jahren kam es bei 34 dieser Patienten zu mindestens einer Reluxation, drei Patienten litten unter rezidivierenden Subluxationen.

Als Vergleich diente eine Kontrollgruppe von 23 Patienten nach erfolgreicher patellastabilisierender Operation.

Das Ziel dieser Arbeit war es, die Ursachen für das Versagen der vorangegangenen Operation anhand von radiologischen Markern, wie Trochleadysplasie, TTTG und Patellahöhe zu analysieren. Untersucht wurde, ob das Vorhandensein einer Trochleadysplasie, ein erhöhter TTTG oder eine abnormale Patellahöhe die Hauptrisikofaktoren für eine persistierende patellofemorale Instabilität darstellen.

### 4.1 Voroperationen

Patellaluxationen und Subluxationen werden von mehreren Autoren, als die bei Kindern und Jugendlichen am häufigsten auftretende Pathologie des Kniegelenkes bezeichnet [22, 66, 68]. Cash und Hughston fanden eine Reluxationsrate von 60% bei Patienten, die jünger als 14 Jahre waren [18]. Bei Kindern mit habitueller Patellaluxation wird eine patellastabilisierende Operation empfohlen, um eine physiologische Kniegelenksfunktion zu erhalten und persistierende Schmerzen und Knorpelschäden zu vermeiden.

Über 100 Operationsverfahren zur Behandlung einer patellofemorale Instabilität wurden beschrieben und ausführlich in der Literatur diskutiert [23, 29, 42, 69]. Jedoch kommen aufgrund offener Wachstumsfugen bei Kindern nur wenige Operationen in Betracht. In der Vergangenheit wurde bei Kindern mit habitueller Patellaluxation häufig eine Kombination aus einem lateralen Release, einer medialen Raffung und der Operation nach Roux-Goldthwait angewandt [10, 32, 36, 59, 62, 65, 82, 83].

Bei den in dieser Arbeit analysierten Patienten erbrachte die initial durchgeführte Therapie keinen langanhaltenden Erfolg, sie stellten sich mit Patellareluxationen oder Subluxationen erneut vor. Nach Analyse der zugrundeliegenden Pathologie wurde bei allen Patienten die Indikation zur erneuten Operation gestellt.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sind vergleichbar mit den Ergebnissen in der Literatur [1, 9, 82]. Vähäsarja et al. untersuchten eine Gruppe von 57 Kindern mit patellofemoraler Instabilität, die mit einer Kombination aus lateralem Release, medialer Raffung und der OP nach Roux-Goldthwait behandelt wurden. 13 der 57 Kinder mussten bei anhaltenden Beschwerden nachoperiert werden [82]. Äärimaa et al. [1] fanden in 7% ihrer Patienten nach einer OP nach Roux-Goldthwait höhergradige Knorpelveränderungen und eine verkürzte Patellasehne. Benoit et al. [9] beschrieben zufriedenstellende Ergebnisse 13,5 Jahre nach einer kombinierten Therapie aus lateralem Release, Distalisierung des M. vastus medialis und kompletter Mobilisation der Patellasehne, jedoch zeigte sich in 2 von 8 Patienten eine Patella infera, die einen prädisponierenden Faktor für eine frühzeitige Arthrose darstellen kann.

Auch das in der Vergangenheit oft durchgeführte isolierte laterale Release wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Mehrere Autoren bestätigen, dass ein alleiniges laterales Release ineffektiv sein kann oder eine mediale und laterale Patellainstabilität sogar verstärkt [8, 18, 21, 48, 52, 61, 85].

Bei Vorliegen einer Patellaluxation kommt es in 90% der Fälle auch zur Verletzung des medialen patellofemorales Ligaments [71]. Eine mediale Raffung bzw. die Naht des MPFL kann jedoch die Zugfestigkeit des MPFL nicht vollständig wiederherstellen. Eine Studie von Amis et al. [4] zeigte, dass die Reißfestigkeit eines genähten MPFL im Vergleich zur Reißfestigkeit des angeborenen MPFL deutlich geringer ist. Dennoch gilt das MPFL als der primäre Stabilisator in strecknaher Kniegelenksposition [4] und ist somit auch mit geringerer Reißfestigkeit ein wichtiger Stabilitätsfaktor.

## 4.2 Trochleadysplasie

Das wichtigste Ergebnis der hier durchgeführten Arbeit ist, dass 33 von 37 Patienten (89%), mit einer vorangegangenen fehlgeschlagenen operativen Stabilisation der Patella, eine höhergradige Trochleadysplasie (B-D nach Dejour) aufzeigten.

Verglichen mit den Daten der Literatur, war der prozentuale Anteil der Patienten in dieser Arbeit mit schwerer Dysplasie (Grad C und D nach Dejour) deutlich höher. Insgesamt konnte bei 76% eine schwere Trochleadysplasie (Grad C und D) diagnostiziert werden. Vergleichbare Studien von Fucentese bzw. Balcarek untersuch-

ten das Vorliegen einer Trochleadysplasie bei Patienten mit stattgehabter Patellaluxation und fanden nur 40,9% bzw. 4,1% Patienten mit einer schweren Trochleadysplasie. Die in diese Studien eingeschlossenen Patienten waren jedoch noch nicht voroperiert [7, 30]. Im Vergleich zur Patientengruppe dieser Arbeit zeigte sich in der Kontrollgruppe, mit zufriedenstellenden Operationsergebnissen, bei keinem Patienten eine höhergradige Trochleadysplasie Grad C oder D. Dies untermauert ebenfalls den Stellenwert der Trochleadysplasie als Risikofaktor fehlgeschlagener Operationen.

Die MRT-Untersuchung ist der Goldstandard zur Diagnose einer Trochleadysplasie [26, 72]. Lippacher et al. zeigten, dass die Klassifikation nach Dejour eine Unterscheidung zwischen einer milden und einer schweren Trochleadysplasie erlaubt, auch wenn die Reliabilität der vierstufigen Klassifikation eingeschränkt ist [57].

Nam et al. [62] diagnostizierten in ihrer Studie eine Trochleadysplasie mittels Bestimmung des Sulcuswinkels auf einem axialen Röntgenbild. In ihrer Studie wiesen elf von 23 Kniegelenken (47,8%) eine radiologisch nachgewiesene Trochleadysplasie (Sulcuswinkel  $>143$  Grad) auf. Postoperativ, nach lateralem Release und medialer Raffung, litt nur einer der Patienten unter einer persistierenden Instabilität. Deshalb gingen die Autoren davon aus, dass die Trochleadysplasie alleine nicht als Hauptrisikofaktor anzusehen ist. In der Vergangenheit wurde der Sulcuswinkel häufig zur Diagnostik einer Trochleadysplasie herangezogen. Aber viele Studien zeigten mittlerweile, dass sich die Morphologie der knöchernen Trochlea deutlich von der Morphologie der knorpeligen Trochlea unterscheidet [26, 72, 84]. Van Huyssteen et al. [84] beschrieben in ihrer Arbeit, dass dieses Knorpel-Knochen-Mismatch in der dysplastischen Trochlea für die Schwäche der Aussagekraft des axialen Röntgenbildes verantwortlich ist. Auch Salzmann et al. [72] verdeutlichten, dass die axiale Röntgendarstellung nicht die natürliche Trochleamorphologie darstellt und damit zu falschen Aussagen über das Vorliegen einer Trochleadysplasie führen kann. Somit sollte bei Patienten mit patellofemorale Instabilität zur Evaluation der Trochleamorphologie eine MRT-Untersuchung durchgeführt und nicht nur der Sulcuswinkel auf der axialen Röntgenaufnahme bestimmt werden.

Die Ergebnisse dieser Arbeit, aber auch die Zahlen in der Literatur zeigen, dass eine höhergradige Trochleadysplasie nicht nur für rezidivierende patellofemorale Instabilitäten ein Hauptrisikofaktor, sondern auch die Ursache für eine fehlgeschlagene operative Therapien bei PFI im Kindes- und Jugendalter sein kann [5, 12, 22, 25].

### 4.3 TTTG

Ein weiterer Parameter, welcher bei der radiologischen Diagnostik einer patellofemoralen Instabilität herangezogen wird, ist der TTTG. Interessanterweise stellte ein erhöhter TTTG in dieser Arbeit keinen Hauptrisikofaktor für eine PFI dar. Die bestimmten TTTG-Werte in der Patientengruppe hatten einen Median von 1,7 cm (0,7-3,3 cm). Sieben von 37 Patienten hatten einen TTTG von größer oder gleich 2 cm (2,0-3,3 cm), was als pathologisch definiert ist [25]. Bei 27 Patienten war der TTTG kleiner als 2 cm mit einem Median von 1,4 cm (0,7-1,9 cm). In der Kontrollgruppe wurde ein Median des TTTG von 1,8 cm (1,2-2,6 cm) ermittelt.

In zwei Studien von Dejour et al. und Schöttle et al. hatten die Patienten mit PFI einen durchschnittlichen TTTG von 19,8 +/- 1,6 mm beziehungsweise von 13,9 +/- 4,5 mm [25,75]. Dem gegenüber untersuchten Alemparte et al. anhand einer Computertomographie asymptotische Patienten und erhielten einen mittleren TTTG von 13,6 +/- 8,8 mm [3].

Obwohl die Medialisierung der Patellasehne bei einem TTTG von mehr als 2 cm empfohlen ist (2, 7), wenden viele Autoren die Operationstechnik nach Roux-Goldthwait an, ohne dabei den TTTG zu beachten. Das bestätigte sich in dieser Arbeit: Bei keinem der sechs Patienten, die mit einer Operation nach Roux-Goldthwait behandelt wurden, konnte präoperativ ein erhöhter TTTG gemessen werden.

Verglichen mit den Ergebnissen der genannten Literatur, liegen die in dieser Arbeit gemessenen TTTG innerhalb des Normbereiches für Patienten mit PFI, aber auch im Bereich asymptotischer Patienten. Die Tatsache, dass sich der Median des TTTG der Kontrollgruppe nicht wesentlich vom TTTG der Patientengruppe unterscheidet, ist ein weiterer Hinweis darauf, dass der TTTG nicht als Hauptrisikofaktor für das Versagen nach Patellastabilisierung zu werten ist.

#### 4.4 Patella alta

Als weiterer Hauptrisikofaktor einer patellofemorale Instabilität wird eine Patella alta angesehen [7, 9, 25, 45]. In der hier untersuchten Patientengruppe hatten fünf von 37 Patienten einen pathologisch erhöhten Patellahöhenindex. Die restlichen 32 Patienten hatten einen im Normbereich liegenden Index. Auch in der Kontrollgruppe lagen die ermittelten Werte der Patellahöhe im Normbereich. Es ist zu bedenken, dass eine Patella alta auch eine anatomische Variante sein kann, welche bei vielen Menschen asymptomatisch verläuft [78]. Mehrere Techniken zur Bestimmung der Patellahöhe, wie der Insall-Salvati-Index oder Blackburne-Peel-Index, können dafür angewandt werden [14, 44]. In der Patientengruppe wurde der Caton-Deschamps-Index zur Bestimmung herangezogen [19]. Dejour et al. und Balcarek et al. bestimmten die Patellahöhe mit der Insall-Salvati-Methode und wiesen jeweils in ihren Studien ebenso nur bei wenigen Patienten mit patellofemorale Instabilität eine Patella alta nach [7, 25].

Verglichen mit den Angaben in der Literatur und dem Ergebnis in der Kontrollgruppe zeigen die Ergebnisse dieser Arbeit, dass eine Patella alta ebenfalls keinen Hauptrisikofaktor darstellt.

Da ein Vorliegen einer Patella alta neben dem Vorhandensein einer Trochleadysplasie sehr stark mit einer patellofemorale Instabilität korreliert [6, 31, 51, 53], sollte vor der isolierten Behandlung der Patella alta jegliche andere Pathologie ausgeschlossen werden.

## 4.5 Klinische Bedeutung

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass ein laterales Release, eine mediale Raffung bzw. die Roux-Goldthwait-Technik bei Kindern und Jugendlichen mit patellofemoraler Instabilität kritisch zu indizieren sind [68]. Das laterale Release kann ineffektiv und komplikationsreich sein [22, 48, 52], die mediale Raffung kann die MPFL-Zugfestigkeit nicht wiederherstellen [4]. Nach der OP nach Roux-Goldthwait werden in der Literatur häufig Komplikationen wie eine erhöhte patellofemorale Druckbelastung und eine Verkürzung der Patellasehne beschrieben, diese Methode wird daher nur bei Patienten mit einem erhöhten TTTG empfohlen [1, 65].

In der vorliegenden Studie hatten nur 4 Patienten keine bzw. eine geringgradige Trochleadysplasie A nach Dejour, so dass vermutet werden kann, dass die in der Vergangenheit bei Kindern häufig angewandten OP-Techniken eher bei Patienten mit milder Dysplasie oder ohne Vorliegen einer Trochleadysplasie erfolgsversprechend sind.

Bei Vorliegen einer höhergradigen Trochleadysplasie ist davon auszugehen, dass die Kombination aus lateralem Release, medialer Raffung und OP nach Roux-Goldthwait die zugrundeliegende Pathologie nicht adressiert und die OP somit fehlschlagen kann.

Wird nach einer Patellaluxation zusätzlich eine hochgradige Trochleadysplasie diagnostiziert, bei der die knöchernen Führung fehlt, das Gleitlager flach bis konvex oder sogar mit einem Höcker versehen ist, wird bei Jugendlichen mit verschlossenen Wachstumsfugen zu einer Kombinationstherapie mittels MPFL-Rekonstruktion und Trochleoplastik geraten [5, 12, 15, 16, 24, 26, 63, 74, 81, 86].

Bei jüngeren Kindern mit noch offenen Wachstumsfugen kann keine Trochleoplastik durchgeführt werden. Gelingt es jedoch in jungen Jahren, eine zufriedenstellende Biomechanik des patellofemorales Gelenkes herzustellen, so kann möglicherweise durch den formativen Reiz der Patella eine positive Auswirkung auf die femorale Gleitrinne erzielt werden und eine Trochleoplastik vermieden werden [9]. Möglicherweise kommt es also zu einem Remodelling, was zuvor schon bei Hüft-dysplasien oder im Schultergelenk beschrieben wurde [38, 43, 56, 87].



## 4.6 Stärken und Schwächen

Zunächst ist eine Schwäche dieser Arbeit zu nennen: Da viele Patienten extern voroperiert wurden, war es teilweise nicht möglich, weitere prädisponierende Faktoren einer PFI, die vor der ersten patellastabilisierenden Operation bestanden haben könnten, zu erheben. Aufgrund des Studiendesigns wurden Patienten wegen persistierender patellofemorale Instabilität nach vorangegangener operativer Patellastabilisation analysiert. Es wurde bei allen Patienten die Indikation zu einer Revisionsoperation gestellt. Das Outcome weiterer Operationen wurde jedoch nicht verfolgt. Des Weiteren war es durch fehlende Vorbefunde nicht möglich, prozentual anzugeben wie viele Patienten auf Grund technischer Fehler bzw. einer nicht korrekten Operationsplanung erneut operiert werden mussten.

Eine Stärke dieser Arbeit ist es, dass nur Patienten mit fehlgeschlagener patellastabilisierender Operation analysiert wurden. Dies wurde durch das angewandte Studiendesign und durch die negative Auslese von Patienten erreicht. Somit wurden nur die Patienten in diese Arbeit eingeschlossen, welche bislang ohne Therapieerfolg waren. So war es möglich, die zugrunde liegende Pathologie anhand der Bildgebung zu analysieren.

Die Aussagen dieser Arbeit sind als sehr wertvoll zu betrachten, da die Durchführung einer prospektiv randomisierten Studie, welche unterschiedliche Behandlungsmöglichkeiten für eine zugrunde liegenden Pathologie analysieren könnte, sehr schwierig ist.

## 4.7 Schlussfolgerung

Zusammengefasst verdeutlichen die Ergebnisse dieser Arbeit, dass es vor der Durchführung einer operativen Maßnahme erforderlich ist, eine gründliche präoperative Diagnostik durchzuführen. Diese sollte eine Magnetresonanztomographie beinhalten, um die zugrunde liegende Pathologie sicherzustellen. Ist eine Trochleadysplasie zu diagnostizieren, so ist bei Kindern und Jugendlichen mit den seit vielen Jahren durchgeführten Operationstechniken ein nicht zufriedenstellendes Ergebnis zu erwarten. Deshalb sind diese Operationstechniken kritisch zu hinterfragen. In den letzten Jahren wird zunehmend auch bei Kindern eine Rekonstruktion des MPFL durchgeführt. Bei geschlossenen Wachstumsfugen und einer schweren Trochleadysplasie ist die Indikation zur Durchführung einer Trochleaoplastik zu prüfen.

## 5. Zusammenfassung

Die Ergebnisse dieser Arbeit bestätigen die Annahme, dass das Vorliegen einer Trochleadysplasie den Hauptrisikofaktor für rezidivierende patellofemorale Instabilitäten bei Kindern und Jugendlichen darstellt und bei der Wahl zur Therapie beachtet werden muss. Dem gegenüber sind der Abstand zwischen der Tuberositas tibiae und der Trochleagrube und eine vorliegende Patella alta keine Hauptrisikofaktoren und beeinflussen somit die Wahl der operativen Therapie bei Kindern und Jugendlichen nicht vorrangig.

Die in dieser Studie eingeschlossenen Patienten zeigten trotz vorangegangener patellastabilisierender Operation eine rezidivierende patellofemorale Instabilität bzw. fortbestehende Schmerzen, so dass ein Revisionseingriff notwendig war. Ein potentieller Grund dafür ist, dass die primär durchgeführte Operation nicht die zugrunde liegende Pathologie behoben hat. Dies lässt schlussfolgern, dass die in der Vergangenheit häufig durchgeführte Kombinationstherapie aus lateralem Release, medialer Raffung und Roux-Goldthwait-Operation bei Kindern und Jugendlichen kritisch zu indizieren ist. Es sollte eine genaue präoperative Diagnostik erfolgen, um eine individuell angepasste operative Therapie wählen zu können.

Die Ergebnisse dieser Arbeit entsprechen der in der Literatur vertretenden Meinung. Zur Behandlung einer patellofemorale Instabilität muss bei der richtigen Indikation entweder an eine Rekonstruktion des medialen patellofemorale Ligaments oder bei geschlossenen Wachstumsfugen an eine Trochleoplastik gedacht werden. Bei jüngeren Kindern mit noch offenen Wachstumsfugen kann keine Trochleoplastik durchgeführt werden. Gelingt es jedoch in jungen Jahren, eine zufriedenstellende Biomechanik des patellofemorale Gelenkes herzustellen, so kann es im Optimalfall zu einem Remodelling der Trochlea kommen und eine Trochleoplastik vermieden werden.

## 6. Literaturverzeichnis

1. Äärimaa V, Ranne J, Mattila K, Rahi K, Virolainen P, Hiltunen A: Patellar tendon shortening after treatment of patellar instability with a patellar tendon medialization procedure. *Scand J Med Sci Sports* 18: 442–446 (2008)
2. Aglietti P, Buzzi R, Insall J: Disorders of the patellofemoral joint. In: Insall JN, Scott WN (Hrsg). *Surgery of the knee*. 3. Auflage Philadelphia Churchill Livingstone: 913–1043 (2001)
3. Alemparte J, Ekdahl M, Burnier L, Hernández R, Cardemil A, Cielo R, Danilla S: Patellofemoral evaluation with radiographs and computed tomography scans in 60 knees of asymptomatic subjects. *Arthroscopy* 23: 170–177 (2007)
4. Amis AA, Firer P, Mountney J, Senavongse W, Thomas NP: Anatomy and biomechanics of the medial patellofemoral ligament. *Knee* 10: 215–220 (2003)
5. Amis AA, Oguz C, Bull AM, Senavongse W, Dejour D: The effect of trochleoplasty on patellar stability and kinematics: a biomechanical study in vitro. *J Bone Joint Surg Br* 90: 864–869 (2008)
6. Atkin DM, Fithian DC, Marangi KS, Stone ML, Dobson BE, Mendelsohn C: Characteristics of patients with primary acute lateral patellar dislocation and their recovery within the first 6 months of injury. *Am J Sports Med* 28: 472–479 (2000)
7. Balcarek P, Ammon J, Frosch S, Walde TA, Schüttrumpf JP, Ferlemann KG, Lill H, Stürmer KM, Frosch KH: 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: 926–935 (2010)
8. Bedi H, Marzo J: The biomechanics of medial patellofemoral ligament repair followed by lateral retinacular release. *Am J Sports Med* 38: 1462–1467 (2010)
9. Benoit B, Laflamme GY, Laflamme GH, Rouleau D, Delisle J, Morin B: Long-term outcome of surgically-treated habitual patellar dislocation in children with co-existent patella alta. Minimum follow-up of 11 years. *J Bone Joint Surg Br* 89: 1172–1177 (2007)
10. Bettuzzi C, Lampasi M, Magnani M, Donzelli O: Surgical treatment of patellar dislocation in children with down syndrome: a 3–11 year follow-up study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 17: 334–340 (2009)
11. Biedert RM: Osteotomien. *Orthopäde* 37: 872–883 (2008)
12. Biedert RM, Bachmann M: Anterior-posterior trochlear measurements of normal and dysplastic trochlea by axial magnetic resonance imaging. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 17: 1225–1230 (2009)

13. Biedert RM: Laterale Retinakulumverlängerung bei arthroskopischen Eingriffen. *Arthroskopie* 23: 191–194 (2010)
14. Blackburne JS, Peel TE: A new method of measuring patella height. *J Bone Joint Surg Br* 59: 241–242 (1977)
15. Brown GD, Ahmad CS: Combined medial patellofemoral ligament and medial patellobtibial ligament reconstruction in skeletally immature patients. *J Knee Surg* 21: 328–332 (2008)
16. Buckens CF, Saris DB: Reconstruction of the medial patellofemoral ligament for treatment of patellofemoral instability: a systematic review. *Am J Sports Med* 38: 181–188 (2010)
17. Carrillon Y, Abidi H, Dejour D, Fantino O, Moyon B, Tran-Minh VA: Patellar instability: assessment on MR images by measuring the lateral trochlear inclination-initial experience. *Radiology* 216: 582–585 (2000)
18. Cash JD, Hughston JC: Treatment of acute patellar dislocation. *Am J Sports Med* 16: 244–249 (1988)
19. Caton JH, Dejour D : Tibial tubercle osteotomy in patello-femoral instability and in patellar height abnormality. *Int Orthop* 34: 305–309 (2010)
20. Ceder LC, Larson RL: Z-plasty lateral retinacular release for the treatment of patellar compression syndrome. *Clin Orthop Relat Res* 144: 110–113 (1979)
21. Clifton R, Ng CY, Nutton RW: What is the role of lateral retinacular release? *J Bone Joint Surg Br* 92: 1–6 (2010)
22. Colvin AC, West RV: Patellar instability. *J Bone Joint Surg Am* 90: 2751–2762 (2008)
23. Davis DK, Fithian DC: Techniques of medial retinacular repair and reconstruction. *Clin Orthop Relat Res* 402: 38–52 (2002)
24. Deie M, Ochi M, Sumen Y, Yasumoto M, Kobayashi K, Kimura H: Reconstruction of the medial patellofemoral ligament for the treatment of habitual or recurrent dislocation of the patella in children. *J Bone Joint Surg Br* 85: 887–890 (2003)
25. Dejour H, Walch G, Nove-Josserand L, Guier Ch: Factors of patellar instability: an anatomic radiographic study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2: 19–26 (1994)
26. Dejour D, Le Coultre B : Osteotomies in patellofemoral instabilities. *Sports Med Arthrosc* 15: 39–46 (2007)
27. Dirisamer F, Patsch C, Hochreiter J: Minimal-invasive Rekonstruktion des medialen patellofemorale Ligaments. *Orthopädie* 6: 18–20 (2009)

28. Erasmus PJ: The medial patellofemoral ligament: function, injury, and treatment. *Orthopade* 37: 858, 860–863 (2008)
29. Fithian DC, Paxton EW, Post WR, Panni AS: Lateral retinacular release: a survey of the international Patellofemoral Study Group. *Arthroscopy* 20: 463–468 (2004)
30. Fucentese SF, von Roll A, Koch PP et al. The patella morphology in trochlear dysplasia—a comparative MRI study. *Knee* 13: 145–150 (2006)
31. Geenen E, Molenaers G, Martens M: Patella alta in patellofemoral instability. *Acta Orthop Belg* 55: 387–393 (1989)
32. Gerbino PG, Zurakowski D, Soto R, Griffin E, Reig TS, Micheli LJ: Long-term functional outcome after lateral patellar retinacular release in adolescents: an observational cohort study with minimum 5 year follow-up. *J Pediatr Orthop* 28: 118–123 (2008)
33. Glard Y, Jouve JL, Panuel M, Adalian P, Tardieu C, Bollini G: An anatomical and biometrical study of the femoral trochlear groove in the human fetus. *J Anat* 206: 411–413 (2005)
34. Goldthwait JE: Dislocation of the patella. *Trans Am Orthop Assoc* 8: 237 (1895)
35. Goodfellow J, Hungerford DS, Zindel M: Patello-femoral joint mechanics and pathology. 1. Functional anatomy of the patello-femoral joint. *J Bone Joint Surg Br* 58: 287–290 (1946)
36. Grammont PM, Latune D, Lammaire IP: Treatment of subluxation and dislocation of the patella in the child. Elmslie technic with movable soft tissue pedicle (8 year review). *Orthopade* 14: 229–238 (1985)
37. Grelsamer RP, Klein JR. The biomechanics of the patellofemoral joint. *J Orthop Sports Phys Ther* 28: 286–298 (1998)
38. Harris NH: Acetabular growth potential in congenital dislocation of the hip and some factors upon which it may depend. *Clin Orthop Relat Res* 119: 99–106 (1976)
39. Hauser ED: Total tendon transplant for slipping patella: a new operation for dislocation of the patella. 1938. *Clin Orthop Relat Res* 452: 7–16 (2006)
40. Hertel P, Verschl J: Arthroskopie bei der akuten Patellaluxation. *Arthroskopie* 1: 68–73 (1988)
41. Hertel P, Bernard M: Arthroskopie und Patellaluxation. *Arthroskopie* 6: 242–248 (1993)
42. Hughston J C: Subluxation of the patella. *J Bone Joint Surg Am* 50: 1003–1026 (1968)

43. Hui JHP, Torode IP: Changing glenoid version after open reduction of shoulders in children with obstetric brachial plexus palsy. *J Pediatr Orthop* 23: 109–113 (2003)
44. Insall J, Salvati E: Patella position in the normal knee joint. *Radiology* 101: 101–104 (1971)
45. Insall J, Goldberg V, Salvati E: Recurrent dislocation and the high-riding patella. *Clin Orthop Relat Res* 88: 67–69 (1972)
46. Insall J, Bullough PG, Burstein AH: Proximal "tube" realignment of the patella for chondromalacia patellae. *Clin Orthop Relat Res* 144: 63–69 (1979)
47. Koëter S, Bongers EMHF, de Rooij J, van Kampen A: Minimal rotation aberrations cause radiographic misdiagnosis of trochlear dysplasia. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 14: 713–717 (2006)
48. Kolovich PA, Paulos LE, Rosenberg TD, Farnsworth S: Lateral release of the patella: Indications and contraindications. *Am J Sports Med* 18: 359–365 (1990)
49. Krämer K-L, Jani L: Die Operation nach Elmslie-Trillat. *Operat Orthop Traumatol* 3: 38–48 (1991)
50. Krüger-Franke M, Schurk B, Kugler A, Englert A: Diagnostik und Therapie der akuten Patellaluxation. *OUP* 6: 284–287 (2013)
51. Larsen E, Lauridsen F: Conservative treatment of patellar dislocations. Influence of evident factors on the tendency to redislocation and the therapeutical result. *Clin Orthop Relat Res* 171: 131–136 (1982)
52. Lattermann C, Toth J, Bach BR: The role of lateral retinacular release in the treatment of patellar instability. *Sports med Arthrosc* 15: 57–60 (2007)
53. Leung Y, Wai Y, Leung Y: Patella alta in southern China. A new method of measurement. *Int Orthop* 20: 305–310 (1996)
54. Lewallen LW, McIntosh AL, Dahm DL: Predictors of recurrent instability after acute patellofemoral dislocation in pediatric and adolescent patients. *Am J Sports Med* 41: 575–581 (2013)
55. Lind M, Jakobsen BW, Lund B, Christiansen SE: Reconstruction of the medial patellofemoral ligament for treatment of patellar instability. *Acta Orthop* 79: 354–360 (2008)
56. Lindstrom JR, Ponseti IV, Wenger DR: Acetabular development after reduction in congenital dislocation of the hip. *J Bone Joint Surg Am* 61: 112–118 (1979)
57. Lippacher S, Dejour D, Elsharkawi M, Dornacher D, Ring C, Dreyhaupt J, Reichel H, Nelitz M: Observer agreement on the Dejour trochlear dysplasia classification: a comparison of true lateral radiographs and axial magnetic resonance images. *Am J Sports Med* 40: 837–843 (2012)

58. Mariani PP, Adriani E: Arthroskopische Naht des Ligamentum alare mediale bei der akuten Patellaluxation. *Arthroskopie* 6: 169–173 (1993)
59. Marsh JS, Daigneault JP, Sethi P, Polzhofer GK: Treatment of recurrent patellar instability with a modification of the Roux-Goldthwait technique. *J Pediatr Orthop* 26: 461–465 (2006)
60. Merican AM, Amis AA: Anatomy of the lateral retinaculum of the knee. *J Bone Joint Surg Br* 90: 527–534 (2008)
61. Miller RJ, Adamson GJ, Pink MM, Fraipont MJ, Durand P Jr: Arthroscopically assisted medial reefing without routine lateral release for patellar instability. *Am J Sports Med* 35: 622–629 (2007)
62. Nam EK, Karzel RP: Mini-open medial reefing and arthroscopic lateral release for the treatment of recurrent patellar dislocation: a medium-term follow-up. *Am J Sports Med* 33: 220–230 (2005)
63. Nelitz M, Dreyhaupt J, Lippacher S: Combined trochleoplasty and medial patellofemoral ligament reconstruction for recurrent patellar dislocations in severe trochlear dysplasia. *Am J Sports Med* 41: 1005–1012 (2013)
64. Nelitz M, Williams SR: Anatomical reconstruction of the medial patellofemoral ligament in children and adolescents using a pedicled quadriceps tendon graft. *Arthrosc Tech* 3: 303–308 (2014)
65. Oliva F, Ronga M, Longo UG, Testa V, Capasso G, Maffulli N: The 3-in-1 procedure for recurrent dislocation of the patella in skeletally immature children and adolescents. *Am J Sports Med* 37: 1814–1820 (2009)
66. Palmu S, Kallio PE, Donell ST, Helenius I, Nietosvaara Y: Acute patellar dislocation in children and adolescents: a randomized clinical trial. *J Bone Joint Surg Am* 90: 463–470 (2008)
67. Pfirrmann CW, Zanetti M, Romero J, Hodler J: Femoral trochlear dysplasia: MR findings. *Radiology* 216: 858–864 (2000)
68. Redziniak DE, Diduch DR, Mihalko WM, Fulkerson JP, Novicoff WM, Sheibani-Rad S, Saleh KJ: Patellar instability. *J Bone Joint Surg Am* 91: 2264–2275 (2009)
69. Rillmann P, Fischer A, Berbig R, Holzach P: Arthroscopic repair of the medial retinaculum after first time dislocation of the patella. *Unfallchirurg* 102: 167-172 (1999)
70. Roux C: Luxation habituelle de la rotule: traitement operatoire. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 8: 682–689 (1888)
71. Sallay PI, Poggi J, Speer KP, Garrett WE: Acute dislocation of the patella. A correlative pathoanatomic study. *Am J Sports Med* 24: 52–60 (1996)



72. Salzmann GM, Weber TS, Spang JT, Imhoff AB, Schöttle PB: Comparison of native axial radiographs with axial MR imaging for determination of the trochlear morphology in patients with trochlear dysplasia. *Arch Orthop Trauma Surg* 130: 335–340 (2010)
73. Schneider FJ, Thumfart A, Linhart WE: Behandlung der Patellaluxation im Kindes- und Jugendalter. *Arthroskopie* 22: 60–67 (2009)
74. Schoettle PB, Fucentese SF, Pfirrmann C, Bereiter H, Romero J: Trochleoplasty for patellar instability due to trochlear dysplasia: A minimum 2-year clinical and radiological follow-up of 19 knees. *Acta Orthop* 76: 693–698 (2005)
75. Schoettle PB, Zanetti M, Seifert B, Pfirrmann CW, Fucentese SF, Romero J: The tibial tuberosity-trochlear groove distance; a comparative study between CT and MRI scanning. *Knee* 13: 26–31 (2006)
76. Schoettle PB, Schmeling A, Rosenstiel N, Weiler A: Radiographic landmarks for femoral tunnel placement in medial patellofemoral ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 35: 801–804 (2007)
77. Schoettle PB, Hensler D: Revision surgery for patella stabilization after unsuccessful operation on the extension apparatus. *Arthroskopie* 21: 145–152 (2008)
78. Shabshin N, Schweitzer ME, Morrison WB, Parker L: MRI criteria for patella alta and baja. *Skeletal Radiol* 33: 445–450 (2004)
79. Stefancin JJ, Parker RD: First-time traumatic patellar dislocation: a systematic review. *Clin Orthop Relat Res* 455: 93–101 (2007)
80. Trillat A, Dejour H, Couette A: Diagnosis and treatment of recurrent dislocations of the patella. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 50: 813–824 (1964)
81. Utting MR, Mulford JS, Eldridge JD: A prospective evaluation of trochleoplasty for the treatment of patellofemoral dislocation and instability. *J Bone Joint Surg Br* 90: 180–185 (2008)
82. Vähäsarja V, Kinnunen P, Lanning P, Serlo W: Operative realignment of patellar malalignment in children. *J Pediatr Orthop* 15: 281–285 (1995)
83. Vähäsarja V, Kinnunen P, Serlo W: Lateral release and proximal realignment for patellofemoral malalignment. A prospective study of 40 knees in 36 adolescents followed for 1–8 years. *Acta Orthop Scand* 69: 159–162 (1998)
84. van Huyssteen AL, Hendrix MR, Barnett AJ, Wakeley CJ, Eldridge JD: Cartilage-bone mismatch in the dysplastic trochlea. An MRI study. *J Bone Joint Surg Br* 88: 688–691 (2006)
85. Verdonk P, Bonte F, Verdonk R: Lateral retinacular release. *Orthopade* 37: 884–889 (2008)

86. von Knoch F, Böhm T, Bürgi ML, von Knoch M, Bereiter H: Trochleaplasty for recurrent patellar dislocation in association with trochlear dysplasia. A 4- to 14-year follow-up study. *J Bone Joint Surg Br* 88: 1331–1335 (2006)
87. Waters PM, Smith RGR, Jaramillo D: Glenohumeral deformity secondary to brachial plexus birth palsy. *J Bone Joint Surg Am* 80: 668–677 (1998)
88. Yammamoto RK: Arthroscopic repair of the medial retinaculum and capsule in acute patellar dislocation. *Arthroscopy* 2: 125–131(1986)

## 8. Lebenslauf

Der Lebenslauf ist in der Online-Version aus Gründen des Datenschutzes nicht enthalten.

Der Lebenslauf ist in der Online-Version aus Gründen des Datenschutzes nicht enthalten.