

Aus der Klinik für Orthopädie
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Rüdiger Krauspe

**Klinische und radiologische Ergebnisse nach operativer
Behandlung patellarer Instabilität mittels Rekonstruktion des
Ligamentum patellofemorale mediale und Medialisierung der
Tuberositas tibiae**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von
Stefan Lobner

2019

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Priv.-Doz. Dr. med. Thilo Patzer

Zweitgutachter: Prof. Dr. med. Sebastian Gehrmann

Für Christina & meine Eltern – la mia famiglia !!!

Teile dieser Arbeit wurden veröffentlicht:

Lobner, S., Krauss, C., Reichwein, F., Patzer, T., Nebelung, W., Venjakob, A.J., (2017),
Surgical treatment of patellar instability: clinical and radiological outcome after medial
patellofemoral ligament reconstruction and tibial tuberosity medialisation. *Archives of
Orthopaedic and Trauma Surgery*, 137: 1087-1095

Zusammenfassung (deutsch)

Ziel dieser retrospektiven Studie war es, das klinische und radiologische Outcome nach Rekonstruktion des mediopatellofemorale Ligaments (MPFLR) sowie nach Medialisierung der Tuberositas tibiae (TTM) bei Patienten mit rezidivierender Patellainstabilität zu untersuchen und zu analysieren.

Insgesamt wurden 35 Patienten im Zeitraum von 2008 bis 2012 in die Studie eingeschlossen. Nach vorher definierten Kriterien wie der Abstand zwischen Tuberositas tibiae und trochleärer Grube (TTTG-Abstand), Hyperpression der lateralen Patellafacette und Grad des lateralen retropatellaren Knorpelschadens erfolgte entweder die MPFLR (n = 17, Gruppe A) oder die TTM (n = 18, Gruppe B). Nach durchschnittlich $25,4 \pm 9,7$ Monaten (Gruppe A) und $35,2 \pm 17,6$ Monaten (Gruppe B) wurden die Patienten klinisch und radiologisch nachuntersucht. Valide Knie-Scores wie der Kujala-Score, der Lysholm-Score und der Tegner-Score wurden evaluiert.

In beiden Gruppen berichtete jeweils ein Patient postoperativ von einer nicht-traumatischen Patella-Luxation. Patienten nach MPFLR (Gruppe A) hatten weniger Belastungsschmerzen bei Aktivität gemäß des ermittelten VAS-Scores (Gruppe A: $2,0 \pm 2,1$ Punkte, Gruppe B: $3,9 \pm 2,3$ Punkte). Beim Grad des retropatellaren Knorpelschadens zeigte sich nach TTM (Gruppe B) ein Anstieg von Grad 1 (Spanne: Grad 1 bis 3) präoperativ auf Grad 2 (Spanne: Grad 1 bis 3) postoperativ ($p > 0,05$). Die anderen evaluierten klinischen Parameter sowie die erhobenen Knie-Scores deuteten auf keinen signifikanten Unterschied hin ($p > 0,05$) und zeigten insgesamt gute bis exzellente Ergebnisse in beiden Gruppen.

Sowohl die MPFLR als auch die TTM führten zu guten klinischen Resultaten trotz ihrer eigenen Indikationen. Aus diesem Grund scheint die TTM in ausgewählten Fällen, eine geeignete Maßnahme für die operative Behandlung der Patellainstabilität zu sein. Jedoch sollte berücksichtigt werden, dass sich bei Patienten, die mittels TTM (Gruppe B) behandelt wurden, ein Anstieg im Grad des retropatellaren Knorpelschadens zeigte sowie ein signifikant höherer Belastungsschmerz bei Aktivität.

Zusammenfassung (englisch)

The aim of this retrospective study was to analyse clinical and radiological outcome after medial patellofemoral ligament reconstruction (MPFLR) and tibial tuberosity medialisation (TTM) in patients with recurrent patellar instability.

Thirty-five patients were included between 2008 and 2012. According to defined criteria such as tibial tuberosity-trochlear groove (TTTG) distance, hyperpression on the lateral patella facet and lateral retropatellar cartilage damage either MPFLR (n = 17, group A) or TTM (n = 18, group B) was performed. At a mean of 25.4 ± 9.7 (group A) and 35.2 ± 17.6 months (group B) patients were clinically and radiologically reviewed. Validated knee scores such as Kujala, Lysholm and Tegner score were evaluated.

In both groups one patient reported of a non-traumatic patellar redislocation. Patients who underwent MPFLR (group A) had less pain postoperatively during activity according to the Visual Analogue Scale (group A: 2.0 ± 2.1 points, group B: 3.9 ± 2.3 points). Retropatellar cartilage damage increased after TTM (group B) from grade 1 (range: 1 to 3) preoperatively to grade 2 (range: 1 to 3) postoperatively ($p > 0.05$). All other clinically evaluated items, as well as the applied knee scoring systems, indicated no significant difference ($p > 0.05$) and displayed good to excellent results.

MPFLR and TTM lead to good clinical results despite its own indications. For this reason – in selected cases – TTM may still be a suitable procedure for surgical treatment of patellar instability. However, patients treated by TTM (group B) revealed an increased retropatellar cartilage damage as well as significantly more pain during activity.

Abkürzungsverzeichnis

al.	alii
CT	Computertomographie
K-Draht	Kirschner-Draht
MPFL	mediopatellofemorales Ligament
MPFLR	Rekonstruktion des mediopatellofemorale n Ligaments
MRT	Magnetresonanztomographie
MVLO	Musculus vastus lateralis obliquus
MVMO	Musculus vastus medialis obliquus
PIS-Score	Patellar Instability Severity-Score
Q-Winkel	Quadriceps-Winkel
TCP	Tricalciumphosphat
TTM	Medialisierung der Tuberositas tibiae
TTTG-Abstand	Abstand zwischen Tuberositas tibiae und trochleärer Grube
VAS	Visuelle Analogskala

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1 Anatomie des patellofemoralen Gelenks	3
1.1.1 Patella	4
1.1.2 Trochlea.....	5
1.2 Biomechanik des patellofemoralen Gelenks	6
1.3 Risikofaktoren der Patellainstabilität	9
1.3.1 Trochleadysplasie	10
1.3.2 Patella alta	11
1.3.3 Vergrößerter TTTG-Abstand.....	12
1.4 Operative Therapieoptionen der Patellainstabilität	13
1.4.1 MPFL-Rekonstruktion.....	14
1.4.2 Medialisierung der Tuberositas tibiae	15
1.5 Ethikvotum.....	16
1.6 Ziele der Arbeit	17
2. Surgical treatment of patellar instability: clinical and radiological outcome after medial patellofemoral ligament reconstruction and tibial tuberosity medialisation, Lobner, S., Krauss, C., Reichwein, F., Patzer, T., Nebelung, W., Venjakob, AJ., Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery, 137: 1087-1095, (2017).....	18
3. Diskussion.....	19
3.1 Schlussfolgerungen	26
3.2 Ausblick	27
4. Literaturverzeichnis	29

1. Einleitung

Die akute Erstluxation der Patella stellt ein verbreitetes Problem für junge und aktive Patienten dar (Atkin et al. 2000; Waterman et al. 2012). Die geschätzte Inzidenz wird zwischen 5,8 und 7,0 pro 100.000 Personen angegeben, wobei diese bei Erwachsenen bis zu 31,0 pro 100.000 Personen ansteigen kann (Atkin et al. 2000; Mehta et al. 2007). Darüber hinaus besteht bei 30 bis 50 Prozent der Patienten mit einer stattgehabten Erstluxation der Patella das Risiko für weitere Episoden von Patellainstabilität sowie für den vorderen Knieschmerz (Hawkins et al. 1986; Petri et al. 2013b). Die berichtete Reluxationsrate bei Patellainstabilität nach nicht operativer und damit konservativer Behandlung variiert in der Literatur von 15 bis 49 Prozent (Mehta et al. 2007; Petri et al. 2013b; Mäenpää et al. 1997).

Eine komplexe Interaktion von statischen (knöcherne Morphologie), passiven (Kapsel und Ligamente) und aktiven (Muskeln) stabilisierenden Faktoren (Amis 2007; Senavongse und Amis 2005) bestimmt hauptsächlich die Stabilität im patellofemorale Gelenk. Dies wiederum führt zu den folgenden Hauptrisikofaktoren für das Auftreten von Patellainstabilität: Trochleadysplasie, Patella alta sowie ein vergrößerter Abstand zwischen Tuberositas tibiae und trochleärer Grube (TTTG-Abstand) (Rhee et al. 2012; Ries und Bollier 2015; Steensen et al. 2015; Frosch und Schmeling 2016).

Nach erstmaliger traumatischer Patellaluxation zeigt sich nach aktueller Studienlage kein signifikanter Unterschied zwischen einer konservativen und operativen Behandlung, wobei es nach operativer Behandlung die Tendenz zu einem besserem *Outcome* in den Knie-Scores sowie zu einer niedrigeren Luxationsrate zu geben scheint (Petri et al. 2013b).

Die operative Behandlung der Patellainstabilität lässt sich grundsätzlich in Weichteileingriffe, wie zum Beispiel die Rekonstruktion des medialen patellofemorale Ligaments (im Nachfolgenden als MPFLR bezeichnet), und in knöcherne Eingriffe, wie zum Beispiel die Medialisierung der Tuberositas tibiae (im Nachfolgenden als TTM bezeichnet) sowie die Trochleoplastik und die Derotationsosteotomie, einteilen. Während die MPFLR eine erfolgreiche Methode bei Patienten mit medialer Weichteilverletzung oder –insuffizienz zu sein scheint (Frosch und Schmeling 2016;

Koh und Stewart 2015), scheinen Patienten mit knöchernem *Malalignment* von einer TTM zu profitieren (Koh und Stewart 2015; Alaia et al. 2014). Die Effektivität der beiden genannten Operationstechniken (MPFLR und TTM) sowie ihre Indikationen werden kontrovers diskutiert, da sowohl die MPFLR als auch die TTM ihre ganz eigenen Limitationen und Indikationen haben. Allerdings fehlen in der aktuellen Literatur Studien, die beispielsweise das klinische und radiologische *Outcome* der beiden genannten operativen Behandlungsmöglichkeiten vergleichen.

1.1 Anatomie des patellofemoralen Gelenks

Das Patellofemoralgelenk ist ein komplexes Gelenk mit hohen funktionellen und biomechanischen Anforderungen, in dem die mit Knorpel überzogene Rückfläche der Patella (*Facies articularis patellae*) und die Gleitrinne des Femurs (*Facies patellaris ossis femoris*, *Trochlea femoris*) miteinander artikulieren. Von Patella und Trochlea existieren verschiedene anatomische Varianten. Es scheint, dass sich viele Pathologien des Knies auf die anatomischen und physiologischen Abnormalitäten des patellofemoralen Gelenks begründen (Tecklenburg et al. 2006).

1.1.1 Patella

Die Patella ist das größte Sesambein des menschlichen Körpers. Sie ist in die Endsehne des Musculus quadriceps femoris eingebettet, wobei ihre proximal gelegene Basis als Insertionspunkt für den Musculus quadriceps femoris dient und an ihrem unteren Pol die Patellasehne (Ligamentum patellae) entspringt, die an der Tuberositas tibiae ansetzt (Wirth 2011). Im mittleren Teil der Patella befindet sich die mit Knorpel überzogene Rückfläche der Patella, welche in der Kniescheibenrinne des Femurs gleitet. Diese Rückfläche ist durch einen längs verlaufenden First (Crista mediana retropatellaris) in eine große laterale und eine kleinere mediale Facette unterteilt. Die Facetten bilden im First den Patellaöffnungswinkel von 120 bis 140 Grad (Schünke 2014). Mit einer Dicke von bis zu 7,5 mm stellt der hyaline Knorpel über der Facies articularis der Patella die dickste Gelenkknorpelschicht im menschlichen Körper dar (Lording et al. 2014). Durch diese retropatellare Knorpelschicht wird die Differenz der Knochenmorphologie zwischen Patella und Trochlea ausgeglichen. In etwa 70 Prozent der Fälle lässt sich am medialen Rand der medialen Facette noch die sogenannte Odd-Facette finden, welche aufgrund der Patella-Rotation über 90 Grad Flexion allerdings nur in starker Knieflexion mit der medialen Femurkondyle artikuliert und ansonsten keine weitere Funktion hat (Goodfellow et al. 1976).

Die Patella dient als Hypomochlion für die Kraftübertragung des Musculus quadriceps femoris. Sie vergrößert den Abstand des Quadriceps-Kraftvektors vom Rotationszentrum des Kniegelenks, wodurch die Quadricepssehne einen größeren Hebelarm für die Extension des Unterschenkels erhält und ihre Effizienz verbessert wird. Die Hauptfunktion der Patella ist also eine Hebelwirkung auf den Musculus quadriceps femoris. So vergrößert die Patella dessen Moment in Extension um 30 Prozent, in Flexion um 15 Prozent (Kaufer 1971).

Im patellofemorale Gelenk bildet die Patella zudem das Zentrum vieler statischer und dynamischer Kräfte (Blauth und Tillmann 1983). Des Weiteren ist die Patella neben der medialen Femurkondyle die häufigste Lokalisation im Knie für osteochondrale Läsionen von Grad 3 nach Outerbridge (Curl et al. 1997).

1.1.2 Trochlea

Die Trochlea femoris oder auch Facies patellaris femoris ist der nach ventral zeigende Teil der Gelenkfläche des distalen Femurs. Die mediale und laterale Facette der Trochlea bilden hierbei gemeinsam den von Gelenkknorpel überzogenen femoralen Sulcus (Sulcus intercondylaris femoris), welcher der Patella bei zunehmender Flexion des Knies als Gleit- oder Führungsrinne dient.

Der femorale Sulcuswinkel (oder auch trochleärer Winkel), der im Transversalschnitt der Patella durch die beiden Facetten der Trochlea gebildet wird, wird in der Literatur mit Werten um $138^\circ \pm 6^\circ$ (Tecklenburg et al. 2006) bzw. um $137^\circ \pm 8^\circ$ (Feller et al. 2007) angegeben.

Entgegen der verbreiteten Meinung vertieft sich die Trochlea von proximal nach distal nicht, sondern ihre Geometrie scheint über ihre Länge konstant zu sein (Farahmand et al. 1998a; Farahmand et al. 1998b). Die knorpelige Oberfläche der Trochlea geht dabei in die artikulierenden Flächen der lateralen und medialen Femurkondyle über (Tecklenburg et al. 2006). Die laterale Trochleafacette ist ausgeprägter und reicht weiter nach proximal als die kleinere mediale, wodurch die Patella vor einer lateralen (Sub-) Luxation bei Aktivierung des Musculus quadriceps femoris geschützt wird (Feller et al. 2007). Die laterale Trochleafacette kann daher als stabilisierender Faktor und anatomische Barriere gegen den ständig lateralisierenden Kraftvektor des Musculus quadriceps femoris angesehen werden.

In diesem Zusammenhang soll kurz der sogenannte Quadriceps-Winkel (Q-Winkel) erwähnt werden: dieser beschreibt den Kraftvektor, der bei Aktivierung des Musculus quadriceps femoris im Sinne eines Valgusvektors eine nach lateral gerichtete Kraft auf die Patella ausübt und normalerweise circa 15° beträgt (Amis et al. 2003; Senavongse et al. 2003).

Bei Vorliegen einer Trochleadysplasie findet sich anstelle einer normal konfigurierten konkaven Trochlea eine abgeflachte bis konvexe Trochlea. Zudem zeigt sich ein erhöhter Sulcuswinkel mit Werten von über 144° (Tavernier und Dejour 2001) bzw. von über 145° (Wirth 2011).

1.2 Biomechanik des patellofemoralen Gelenks

Die patellofemorale Gelenkführung wird durch eine komplexe Interaktion von aktiven (Musculus quadriceps femoris), passiven (medialer patellofemoraler Kapselbandkomplex) und statischen (Morphologie der Trochlea) Stabilisatoren bestimmt (Amis 2007; Senavongse und Amis 2005).

Bei zunehmender Flexion gleitet die Patella auf der Trochlea von proximal nach distal und legt dabei von proximal nach distal einen Weg von circa 5 bis 7 cm zurück (Schünke 2014). Die Artikulation zwischen Patella und Trochlea erfolgt dabei je nach Gelenkstellung mit einer unterschiedlichen Kontaktfläche (Goodfellow et al. 1976).

In voller Extension liegt die Patella auf dem Recessus suprapatellaris und befindet sich proximal des Sulcus trochleae, bei beginnender Flexion steht dann lediglich der distale Teil der Patella mit dem proximalen Teil der Trochlea in Kontakt (Redziniak et al. 2009). In dieser strecknahen Position wird die Patella durch den medialen patellofemoralen Kapselbandkomplex nach medial, distal und posterior gehalten und stabilisiert, wobei in diesem Fall vor allem das mediopatellofemorale Ligament (MPFL) als Hauptstabilisator gegen die laterale Patellatranslation gilt (Feller et al. 2007; Amis et al. 2003; Desio et al. 1998; Conlan et al. 1993; Amis et al. 2006).

Während sich in voller Extension physiologisch eine circa 4 mm lateralisierte Position der Patella in Bezug zur Trochlea zeigt, bewegt sich die Patella bei zunehmender Flexion nach medial und gleitet bei einer Flexion ab etwa 20 Grad dann zentral in die Trochlea ein (Amis et al. 2006). Da die Patella bei einem Flexionsgrad von 20 Grad noch nicht voll in die Trochlea eingetreten ist und sich das MPFL in den ersten 20 Grad der Flexion, also bei zunehmender Flexion, zunehmend relaxiert, zeigt die Patella in dieser Position auch ihre geringste Stabilität im femoralen Gleitlager (Amis et al. 2006; Senavongse und Amis 2005). In diesem Zusammenhang konnte auch in *in-vitro*-Studien gezeigt werden, dass die Patella bei 20 Grad Flexion am einfachsten (sub-)luxiert (Amis et al. 2003).

Das adäquate Eintauchen der Patella in die Trochlea ist dann von essentieller Bedeutung für die weitere patellofemorale Gelenkstabilität (Redziniak et al. 2009). Ab einer

Flexion von 30 Grad spielt die Morphologie der Trochlea eine wichtige Rolle, da die laterale Trochleafacette die Patella dann nach lateral hin stabilisiert.

Bis hierhin lässt sich also zusammenfassend festhalten, dass zwischen 0 bis 60 Grad Knieflexion die mediolaterale Translation der Patella zunächst durch den medialen patellofemorale Kapselbandkomplex (als passiven Stabilisator), und hier vor allem durch das MPFL, und dann durch die Morphologie der Trochlea (als statischen Stabilisator) limitiert ist (Redziniak et al. 2009; Senavongse und Amis 2005).

Mit zunehmender Flexion bis 90 Grad bewegt sich die Patella dann wieder um circa 7 mm nach lateral und folgt dabei der Anatomie der Trochlea (Amis et al. 2006). Bei 90 Grad Flexion ist die Patella dann bereits auch schon in die intercondyläre Notch eingetaucht und bei circa 135 Grad Flexion artikuliert die weiter oben beschriebene Odd-Facette der Patella mit der medialen Femurkondyle (Goodfellow et al. 1976).

Insgesamt scheint die zunehmende Stabilität der Patella in der femoralen Grube bei progressiver Knieflexion hauptsächlich auf einen größeren resultierenden Gelenkkraftvektor zurückzuführen zu sein, der sich durch eine Verkleinerung des Winkels in der Sagittalebene zwischen der Quadriceps- und der Patellasehne ergibt (Farahmand et al. 1998a). In diesem Zusammenhang konnte auch gezeigt werden, dass sowohl der patellofemorale Anpressdruck als auch die patellofemorale Kontaktfläche bei einer Flexion von 90 Grad ihr Maximum erreichen (Luyckx et al. 2009).

Einen großen Anteil an der Stabilität der Patella hat auch der aktive Quadriceps-Muskelkomplex. Dieser besteht aus insgesamt sechs Komponenten: Musculus rectus femoris, Musculus vastus intermedius, Musculus vastus lateralis longus, Musculus vastus lateralis obliquus (MVLO), Musculus vastus medialis longus und Musculus vastus medialis obliquus (MVMO) (Senavongse und Amis 2005). Bei Kontraktion des Quadriceps in Extension wird die Patella zunächst nach proximal und leicht nach lateral geschoben. Bei zunehmender Flexion des Knies hält der Zug des Quadriceps die Patella dann in einer stabilen Position in der trochleären Grube, während gleichzeitig ja auch die patellofemorale Gelenkkraft ansteigt. Hierbei führt vor allem das synergistische Zusammenspiel des MVLO und des MVMO zu einer lateral-medialen Stabilisierung der Patella, und zum anderen üben der MVMO und der MVLO auch eine

posterior ausgerichtet Kraft aus, die die Patella in der trochleären Grube stabilisiert (Rhee et al. 2012; Feller et al. 2007; Amis et al. 2003).

Allerdings scheint die Rolle des MVMO bei der Patellastabilität insgesamt weniger bedeutend zu sein, als beispielsweise die Geometrie der Trochlea. So konnte gezeigt werden, dass eine Relaxation des MVMO insgesamt zwar Auswirkungen auf die laterale Stabilität der Patella bei Knieflexion hat, allerdings zeigte sich bei einer abgeflachten lateralen Trochleafacette eine deutlich größere Auswirkung auf die Patellastabilität bis 60 Grad Flexion (Senavongse und Amis 2005).

1.3 Risikofaktoren der Patellainstabilität

Bei intakten und physiologisch vorkommenden passiven und statischen Faktoren kann die Patella nicht luxieren (Hautamaa et al. 1998; Teitge et al. 1996; Fithian et al. 1995). Die komplexe Interaktion der genannten Stabilisatoren kann allerdings pathologisch oder traumatisch bedingt gestört sein, was dann in patellofemorale Instabilität mündet. Diese patellofemorale Instabilität stellt dabei eine komplexe und multifaktorielle Pathologie dar (Dejour et al. 1994). Aus der oben beschriebenen Biomechanik des patellofemoralen Gelenks sowie den drei genannten stabilisierenden Faktoren des Patellofemoralgelenks ergeben sich daher die folgenden Hauptrisikofaktoren für Patellainstabilität: Trochleadysplasie, Patella alta sowie ein vergrößerter TTTG-Abstand (Fucentese 2018; Steensen et al. 2015; Rhee et al. 2012; Dejour et al. 1994).

Weitere Risikofaktoren sind unter anderem *Malalignment*, eine Insuffizienz des MPFL sowie eine pathologische Femurtorsion (Fucentese 2018; Frosch und Schmeling 2016; Ries und Bollier 2015).

Im Folgenden soll allerdings nur auf die drei genannten Hauptrisikofaktoren für Patellainstabilität näher eingegangen werden.

1.3.1 Trochleadysplasie

Bei circa 85 Prozent aller Patienten mit rezidivierender Patellainstabilität liegt eine dysplastische Trochlea vor (Dejour et al. 1994). Hierbei findet sich anstelle der physiologisch vorkommenden konkaven Trochlea eine abgeflachte oder konvexe Trochlea (Ntagiopoulos et al. 2013). Zudem zeigt sich ein erhöhter Sulcuswinkel mit Werten von über 144 Grad (Tavernier und Dejour 2001) bzw. von über 145 Grad (Wirth 2011). Weiter beobachtet man bei Vorliegen einer Trochleadysplasie eine hypoplastische mediale Trochleafacette, wodurch der Sulcus trochleae insgesamt nach medial verschoben wird und wodurch sich auch die Steigung der lateralen Trochleafacette erniedrigt (Frosch und Schmeling 2016). Dies wiederum führt zu einer Verringerung der Trochleatiefe und damit zu einem Fehlen der anatomischen lateralen Barriere gegen den ständig lateralisierenden Kraftvektor des Musculus quadriceps femoris.

Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass die Patella bei Vorliegen einer Trochleadysplasie durch das fehlende Hineingleiten in den Sulcus trochleae bei zunehmender Flexion tendenziell eher nach proximal und durch die fehlende anatomische laterale Barriere in Form einer erniedrigten lateralen Trochleafacette tendenziell eher nach lateral geschoben wird, was insgesamt zu einer instabilen Patella führt.

Die am häufigsten verwendete Einteilung der Trochleadysplasie ist die von Dejour und erfolgt in die Typen A bis D (Dejour und Le Coultre 2007; Dejour et al. 1990).

1.3.2 Patella alta

Eine hoch stehende Patella (Patella alta) ist ein weiterer Risikofaktor für Patellainstabilität. Die Patellahöhe kann mit Hilfe des sogenannten Caton-Deschamps-Index bestimmt werden. Hierzu ermittelt man in der seitlichen Knie-Röntgenaufnahme in 30 Grad Flexion das Verhältnis zwischen dem Abstand der distalen patellaren zur anterioren tibialen Gelenkfläche und dem Abstand der proximalen zur distalen patellaren Gelenkfläche (Caton 1989; Caton et al. 1982). Ein Index von 1,2 oder größer spiegelt dabei einen Patellahochstand (Patella alta) wieder (Caton et al. 1990), ein Index von 0,8 oder kleiner einen Patellatiefstand (Patella baja) (Caton et al. 1982).

Der genaue Zusammenhang zwischen einer hoch stehender Patella und einer daraus resultierenden Patellainstabilität ist aktuell noch nicht vollständig geklärt und scheint ebenfalls eher multifaktoriell zu sein (Magnussen et al. 2014). Allerdings konnte bereits in Studien gezeigt werden, dass eine Patella alta zu einer verringerten Kontaktfläche zwischen Patella und Trochlea führt (Ward et al. 2007; Ward und Powers 2004), was insgesamt wiederum zu einem herabgesetzten Widerstand gegen die laterale Translation der Patella führt (Ward et al. 2007; Singerman et al. 1994).

In diesem Zusammenhang sollte auch ergänzend erwähnt werden, dass Neyret et al. in ihrer Studie zu dem Schluss gekommen sind, dass ein Patellahochstand durch eine verlängerte Patellasehne verursacht wird (Neyret et al. 2002).

1.3.3 Vergrößerter TTTG-Abstand

Der TTTG-Abstand bezeichnet den mediolateralen Abstand zwischen Tuberositas tibiae und dem tiefsten Punkt der trochleären Grube. Radiologisch kann dieser Abstand mittels Computertomographie (CT) oder Magnetresonanztomographie (MRT) gemessen werden (Schoettle et al. 2006). In der MRT-Bildgebung ermittelt man hierzu beispielsweise den Wert zwischen dem Mittelpunkt der distalen Insertionsstelle der Patellasehne an der Tuberositas tibiae und dem tiefsten Punkt der knorpelüberzogenen trochleären Grube, welcher sich im ersten proximalen *Slight* findet, der eine komplette knorpelüberzogene trochleäre Grube zeigt (Pandit et al. 2011).

Ein vergrößerter TTTG-Abstand gilt als Risikofaktor für eine Patellainstabilität, da ein erhöhter Wert auf eine vermehrte Lateralisation der Tuberositas tibiae deutet, was wiederum zu einer vermehrten pathologischen lateralen Zugrichtung des Musculus quadriceps femoris führt und sich in einem vergrößerten Q-Winkel widerspiegelt.

Während hier Werte um 10 mm als normwertig gelten (Pandit et al. 2011), konnte gezeigt werden, dass das Risiko für Patellainstabilität bei Werten von über 15 mm signifikant ansteigt (Schueda et al. 2015). Einige Autoren sehen allerdings auch erst Werte von 20 mm oder größer als pathologisch an (Mulliez et al. 2017; Dejour et al. 1994).

Zu berücksichtigen ist hierbei allerdings auch, dass der TTTG-Abstand von mehreren Faktoren beeinflusst werden kann. So führt beispielsweise eine Trochleadysplasie durch den dabei weiter medial liegenden Sulcus trochleae zu einer Erhöhung des TTTG-Abstandes. Auch tibiale oder femorale Rotationsfehlstellungen wie Außenrotation der Tibia oder Antetorsion des Femurs führen durch eine Lateralisierung der Tuberositas tibiae bei Außenrotation der Tibia oder durch eine Medialisierung der Trochlea bei Antetorsion des Femurs zu einer Erhöhung des TTTG-Abstandes, so wie auch das Vorliegen einer Valgusdeformität.

1.4 Operative Therapieoptionen der Patellainstabilität

Die operative Behandlung der Patellainstabilität lässt sich grundsätzlich in Weichteileingriffe und knöcherne Eingriffe einteilen. Entsprechend der zugrunde liegenden Pathologie der vorliegenden Patellainstabilität lassen sich hierbei mehrere Therapieansätze unterscheiden: während man bei einer MPFLR die passiven Stabilisatoren in Form des MPFL adressiert, welches ja als Hauptstabilisator der Patella gegen die laterale Translation in strecknaher Position gilt, beeinflusst man bei einer TTM die aktiven stabilisierenden Faktoren, indem man die Zugrichtung des Quadriceps verändert, was wiederum zu einer Verkleinerung des Q-Winkels führt. Bei der Durchführung einer Trochleaplastik verändert man hingegen die knöcherne Gelenkgeometrie der Trochlea und adressiert somit die statischen Stabilisatoren.

Als weitere Therapieoption soll in diesem Zusammenhang auch die Femur-Derotationsosteotomie genannt werden. Bei dieser korrigiert man eine vermehrte Antetorsion des Femurs. Es sei erwähnt, dass die Femur-Derotationsosteotomie in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen hat bei der operativen Behandlung der Patellainstabilität (Dickschas et al. 2015).

Im Folgenden soll nun nur auf die MPFLR und die TTM als mögliche operative Therapiemöglichkeiten der Patellainstabilität näher eingegangen werden, da jeweils eine dieser beiden Operationsmethoden bei den Patienten, deren klinische und radiologische Nachuntersuchungsergebnisse in der vorliegenden Arbeit analysiert wurden, nach vorher definierten Kriterien durchgeführt wurde.

1.4.1 MPFL-Rekonstruktion

Das MPFL gilt als wichtigster passiver Stabilisator der Patella in strecknaher Position. Eine Ruptur oder Insuffizienz des MPFL führt daher zwangsläufig zu Patellainstabilität, wie bereits weiter oben gezeigt werden konnte.

Als operatives Verfahren für die anatomische MPFLR soll im Folgenden exemplarisch die doppelsträngige Rekonstruktion mit autologem Gracilis- oder Semitendinosussehnentransplantat beschrieben werden (Schöttle et al. 2005): nach Durchführung einer diagnostischen Knie-Arthroskopie wird zunächst die Gracilis- oder Semitendinosus-Sehne entnommen und für ihre Verwendung als *Graft* vorbereitet. Als nächstes wird eine Inzision am Tuberculum adductorium durchgeführt und die isometrische Insertion des MPFL identifiziert. Unter Durchleuchtung wird der exakte femorale Insertionspunkt des *Grafts* ermittelt und mit einem Kirschner-Draht (K-Draht) markiert. Proximal wird das *Graft* dann mit transossären Nähten in der Patella fixiert. Nach subcutaner und epifaszialer Tunnelung der beiden freien Enden des *Grafts* wird der K-Draht mit einem Hohlbohrer überbohrt. Die Fäden werden dann durch den Femur gezogen und das *Graft* wird eingebracht. Abschließend wird die endgültige femorale Fixation des *Grafts* bei einer Flexion von 30 Grad durchgeführt unter Verwendung einer sogenannten TCP-bioabsorbierbaren Interferenz-Schraube.

1.4.2 Medialisierung der Tuberositas tibiae

Eine TTM adressiert die aktiven Stabilisatoren, indem sie eine vorliegende Lateralisierung der Tuberositas tibiae korrigiert. Durch die Versetzung des Ansatzpunktes des Ligamentum patellae nach medial verändert man die Zugrichtung des Musculus quadriceps femoris nach medial und damit zwangsläufig auch die Stellung und den Lauf der Patella. Weiter führt eine TTM insgesamt zu einer Erniedrigung des TTTG-Abstandes.

Im Folgenden soll nun exemplarisch kurz das operative Vorgehen bei der modifizierten Roux-Elmslie-Trillat-Prozedur (Cox 1982; Trillat et al. 1964) beschrieben werden: nach Durchführung einer diagnostischen Knie-Arthroskopie wird eine laterale Inzision am Knie durchgeführt und der Ansatz der Patellasehne identifiziert. Dann wird die Tuberositas tibiae medial, lateral und proximal mit einer oszillierenden Säge und einem Meißel von der Tibia abgelöst, wobei distal noch eine intakte Knochenbrücke belassen wird. Die Tuberositas tibiae wird dann nach medial geschiftet und mit zwei AO-Spongiosaschrauben mit Unterlegscheiben im Knochen refixiert.

1.5 Ethikvotum

Die vorliegende Studie wurde durch die Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf geprüft und genehmigt (Studiennummer: 4683R, Registrierungs-ID: 2014042407).

1.6 Ziele der Arbeit

Die Effektivität der MPFLR und der TTM sowie ihre Indikationen werden kontrovers diskutiert, da sowohl die MPFLR als auch die TTM ihre ganz eigenen Limitationen und Indikationen haben. Allerdings fehlen in der aktuellen Literatur Studien, die beispielsweise das klinische und radiologische *Outcome* der beiden genannten operativen Behandlungsmöglichkeiten vergleichen.

Das Ziel dieser vorliegenden Arbeit war es, das klinische sowie das radiologische *Outcome* nach MPFLR und nach TTM bei Patienten mit rezidivierender Patellainstabilität zu evaluieren. Wir nahmen an, dass beide Operationsverfahren zu guten klinischen Resultaten und geringen Relaxationsraten führen.

2. Surgical treatment of patellar instability: clinical and radiological outcome after medial patellofemoral ligament reconstruction and tibial tuberosity medialisation, Lobner, S., Krauss, C., Reichwein, F., Patzer, T., Nebelung, W., Venjakob, A.J., Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery, 137: 1087-1095, (2017)

Abstract

Introduction

The aim of this retrospective study was to analyse clinical and radiological outcome after medial patellofemoral ligament reconstruction (MPFLR) and tibial tuberosity medialisation (TTM) in patients with recurrent patellar instability.

Materials and Methods

Thirty-five patients were included between 2008 and 2012. According to defined criteria such as tibial tuberosity-trochlear groove (TTTG) distance, hyperpression on the lateral patella facet and lateral retropatellar cartilage damage either MPFLR (group A) or TTM (group B) was performed: 18 patients underwent TTM, the other 17 patients underwent MPFLR. At a mean of 25.4 ± 9.7 (group A) and 35.2 ± 17.6 months (group B) patients were clinically and radiologically reviewed. Validated knee scores such as Kujala, Lysholm and Tegner score were evaluated.

Results

In both groups one patient reported of a non-traumatic patellar redislocation. Patients who underwent MPFLR (group A) had less pain postoperatively during activity according to the Visual Analogue Scale (group A: 2.0 ± 2.1 points, group B: 3.9 ± 2.3 points). Retropatellar cartilage damage increased in group B from grade 1 (range: 1 to 3) preoperatively to grade 2 (range: 1 to 3) postoperatively ($p > 0.05$). All other clinically evaluated items, as well as the applied knee scoring systems, indicated no significant difference ($p > 0.05$) and displayed good to excellent results.

Conclusions

MPFLR and TTM lead to good clinical results despite its own indications. For this reason – in selected cases – TTM may still be a suitable procedure for surgical treatment of patellar instability. However, patients treated by TTM (group B) revealed an increased retropatellar cartilage damage as well as significantly more pain during activity.

Keywords

patellar instability, recurrent patellar dislocation, MPFL reconstruction, tibial tuberosity transfer

Introduction

Acute primary patellar dislocation remains a common problem in the young and active patient [1, 2]. The estimated incidence is ranged between 5.8 and 7.0 per 100,000, whereas it may increase to up to 31.0 per 100,000 in adolescents [1, 3]. In addition, 30 to 60 % of patients with primary patellar dislocation may experience further episodes of patellar instability as well as anterior knee pain [4, 5]. The reported recurrence rate of patellar instability after non operative treatment varies from 15 to 49 % [3, 5, 6].

A complex interaction of static (bone morphology), passive (capsule and ligaments) and active stabilizing factors (muscles) [7, 8] mainly determine patellofemoral joint stability. This results in the following main risk factors for patellar instability: trochlear dysplasia, patella alta, an increased tibial tuberosity-trochlear groove (TTTG) distance as well as malalignment [9, 10, 11, 12].

Surgical treatment of patellar instability can basically be divided into soft tissue and bony procedures. While reconstruction of the medial patellofemoral ligament (MPFLR) may be a successful treatment for patients with medial soft tissue injury or insufficiency [12, 13], patients with distal bony malalignment may require tibial tuberosity medialisation (TTM) [13, 14]. The efficiency of both operative techniques as well as its indication is controversially discussed, because both MPFLR and TTM have their own limitations and indication. However, comparative studies of the clinical and radiological outcome do not exist in the current literature.

The aim of this study was to evaluate the clinical and radiological outcome after MPFLR and TTM in patients with recurrent patella instability. We hypothesized that both procedures lead to good clinical results and low redislocation rates.

Materials and Methods

In this retrospective clinical study a total of 35 patients with recurrent patellar instability (more than one traumatic or nontraumatic dislocation of the patella) were included. Patients were either treated by MPFLR or TTM between 2008 and 2012. According to the following criteria either TTM or MPFLR was performed: TTTG distance greater or equal to 15.0 mm (main criterion), hyperpression on the lateral patella facet and lateral retropatellar cartilage damage of grade two or higher according to the Outerbridge classification [15]. Patients who met the main criterion and at least one of the two other criteria underwent TTM (n = 18), the others were treated by MPFLR (n = 17). Clinical examination revealed three patients (n = 3) in group A as well as one patient (n = 1) in group B with a mild valgus deformity. A slight genu varum was found in one patient (n = 1) of group B.

All patients were clinically and radiologically reviewed. Inclusion criteria were recurrent patellar dislocation (more than one traumatic or nontraumatic dislocation of the patella) and written consent to the study protocol. Patients under the age of 15 years as well as patients with previous surgeries, infection, tumor, quadriceps tendon rupture, patellar tendon rupture, intense leg axis deviation (valgus or varus malalignment), performed leg axis correction, patellofemoral osteoarthritis or postoperatively traumatic patellar dislocation of the affected knee were excluded from the study. The study was approved by the local Ethics Committee (Ref. No. 4683R).

The patient cohort consisted of 17 patients (12 females, 5 males), who underwent MPFLR (group A) and of 18 patients (11 females, 7 males), who underwent TTM (group B).

The patients' age at the clinical follow-up was on average 23.8 ± 6.5 years in group A and 28.7 ± 7.7 years in group B. In both groups six patients reported of recurrent patellar dislocation of the contralateral knee (35% of group A, 33% of group B). Family history of patellar instability was positive in three patients of group A (18%) and four patients of group B (22%).

Operative/surgical technique

The following surgical technique was used for the MPFLR: firstly, a preliminary diagnostic knee arthroscopy was performed in sixteen cases (n = 16). In some cases this arthroscopy was supplemented by cartilage shaving (n = 6), synovectomy (n = 3) or lateral retinacular release (n = 1). After that, the gracilis tendon (n = 17) was removed and prepared for its use as graft. Next an incision at the adductor tubercle was performed and the isometric insertion of the MPFL was identified. Under fluorescence guidance the exact femoral insertion of the graft was re-checked and marked with a K-wire. Proximally the graft was then fixed in the patella by using transosseus sutures. After subcutaneous and epifascial tunneling of the two free ends of the graft the K-wire was overdrilled with a hollow drill. The wires were pulled through the femur and the graft was inserted. Afterwards, the final femoral fixation of the graft was performed at 30° of flexion by using a tricalcium phosphate (TCP) bioabsorbable interference screw (BioComposite Interference Screw, Arthrex, Munich, Germany).

The TTM was performed by a modified Roux-Elmslie-Trillat procedure [16, 17]. All patients treated by this procedure (n = 18) firstly underwent a diagnostic knee arthroscopy as well. Additionally, in some cases retropatellar cartilage shaving (n = 11), synovectomy (n = 6) or medial capsular plication (n = 6) were performed. Moreover, five patients with excessive lateral hyperpression were treated with an additional lateral retinacular release (n = 5). After lateral incision and identification of the patellar tendon insertion, the tibial tuberosity was then detached medially, laterally and proximally, preserving an intact bony bridge distally. Afterwards the tibial tubercle was shifted medially (n = 15) and refixed with two AO cancellous screws and washers. In three patients (n = 3) the tibial tuberosity was totally detached and was then moved distally and medially.

Clinical evaluation

All patients were clinically evaluated by the first author (S.L.). Patients of group A were assessed at an average follow-up of 25.4 ± 9.7 months, patients of group B at an average follow-up of 35.2 ± 17.6 months.

Clinical evaluation included objective outcomes such as redislocation rate and physical examination of the operated knee as well as subjective outcomes. During the physical examination of the knees the following clinical parameters were assessed: full range of motion (flexion and extension), patellofemoral crepitation during knee movement, apprehension sign [18], J-sign [19], pain during palpation of the patellar facets as well as muscle atrophy of the thigh, which was identified by measuring and comparing the circumferences at 150.0 mm above the tibial tuberosity of both thighs. Furthermore validated knee scoring systems such as the Kujala Anterior Knee Pain Scale [20], the Lysholm and Gillquist Scoring Scale [21], and the Tegner Activity Scale [22] were applied.

The subjective evaluation included subjective grading of patellar instability ('feels completely stable', 'feels occasionally unstable but never dislocates', 'continues to dislocate') [23], knee pain during activity and at rest according to a 10-cm Visual Analogue Scale (VAS) [24, 25], ability of sports after surgery ('within one months', 'within two months', 'after two to three months', 'after three to six months', 'after more than six months'), overall individual satisfaction ('very satisfied', 'satisfied', 'not satisfied', 'absolutely not satisfied'), the will to choose the received surgical treatment again retrospectively as well as subjective improvement.

Radiological evaluation

Pre- and postoperatively all patients underwent magnetic resonance imaging scans as well as conventional radiographs of the operated knee. While preoperative MRI scans were performed by external radiologists, postoperative MRI scans were performed using a Vantage Titan 1.5T magnetic resonance system (Vantage Titan 1.5T, Toshiba Medical Systems, Otawara, Japan). Pre- and postoperative conventional radiographs of the addressed knee were performed in our clinic. The radiographs included standard posterior-anterior views, axial views at 30° of knee flexion as well as standing lateral views at 30° of flexion.

In T2-weighted axial MRI images retropatellar cartilage damage (grades 0 to 4) according to the Outerbridge classification [15, 26, 27] as well as TTTG distance [28] were evaluated pre- and postoperatively. The TTTG distance was measured between the midpoint of the distal insertion of the patellar tendon at the tibial tuberosity and the deepest point of the cartilaginous trochlear groove, which was obtained in the first proximal slight showing a complete cartilaginous trochlear groove [29].

Additionally, in preoperative T2-weighted axial MRI images dysplasia of the femoral trochlea (type A to D) was analyzed 30.0 mm above the femorotibial joint space [30] by using the classification system of Dejour [31].

In lateral radiographs at 30° of knee flexion the patella height was measured according to the index of Caton and Deschamps [32, 33]. An index of 1.2 or greater reflected a patella alta [34], an index lower than 0.8 a patella baja [33].

Radiologic measurements were performed by the first and last author (S.L. and A.J.V.). The acquired data have been confirmed on all images by an orthopaedic surgeon and judged to be correct.

Statistical analyses

Statistical analyses were performed by SPSS v22.0 (IBM-SPSS, New York, USA). Descriptive results are reported as mean $\pm$ standard deviation for parametric values and median (range) for nonparametric ones. Moreover, unpaired (two sample) t-tests as well as Mann-Whitney-tests were used to compare the postoperative outcome between the two groups. Significance level was set at a p -value of < 0.05 .

Results

Objective outcome

In each of the groups one patient reported of a non-traumatic patellar dislocation postoperatively. The patient of group A described a patellar dislocation one year after the MPFLR when standing up from a sitting position. The patellar dislocation of the patient of group B occurred one and a half years after the TTM when kneeling down. In both cases the patient himself repositioned the dislocated patella. Both patella redislocations were treated conservatively and both patients reported that the patella feels stable after the described postoperative dislocation so that no revision surgery was required.

Range of motion of the examined knees in group A and B is given in Table 1.

Persistent swelling of the knee (> 6 months postoperatively) after weight bearing was reported by two patients in each group (12% of group A, 11% of group B).

In each group one patient had severe crepitation postoperatively (6% of groups A and B). Slight crepitation was found in four patients of group A (23%) and in eight patients of group B (44%). None or minimal crepitation was noticed in twelve patients of group A (71%) and in nine patients of group B (50%).

Clinical evaluation revealed no positive apprehension sign in patients of group A. In Group B one patient (6%) represented with a positive apprehension sign postoperatively. A positive J-sign was observed in three patients of group A (18%) and in four patients of group B (22%) (Table 2).

While in group A five patients (29%) experienced pain during the palpation of the medial facet of the patella, this was observed in three patients (17%) of group B. The palpation of the lateral facet of the patella was painful for one patient of group B (6%). Moreover two patients of group B (11%) had pain during palpation of the medial and lateral facet of the patella. In each group twelve patients (71% in group A and 66% in group B) reported no pain during palpation of the medial and lateral facet of the patella.

In both groups an atrophy of the thigh at the affected knee was observed. In comparison to the girth of the contralateral thigh an atrophy of 6.6 ± 17.0 mm could be observed in patients of group A and an atrophy of 10.1 ± 19.4 mm could be detected in patients of group B (t-test, $p = 0.574$) (Table 1).

Mean Kujala score, average Lysholm score and median level of activity (Tegner score) are given in Table 3. All applied knee scoring systems indicated no significant difference between the two groups (Table 3).

Subjective outcome

In each group seven patients (41% of group A, 39% of group B) stated that the patella 'feels completely stable'. Approximately 60 percent of the patients of each group (59% of group A, 61% of group B) reported that the patella 'feels occasionally unstable but

never dislocates', whereas none of the patients in either group stated that the patella 'continues to dislocate' (Table 4).

Patients who received MPFLR (group A) showed an average postoperative VAS score during activity of 2.0 ± 2.1 points, compared to 3.9 ± 2.3 points in patients who received TTM (group B). This difference was statistically significant (t-test, $p = 0.017$). Mean VAS score at rest was almost equal in both groups (0.4 ± 0.9 points in group A and 0.4 ± 1.1 points in group B). This difference was not statistically significant (t-test, $p = 0.925$) (Table 5).

The ability to be active in sports after surgical treatment is given in Table 6.

In group A eleven patients (65%) were 'very satisfied' and six patients (35%) were 'satisfied' postoperatively. In group B six patients (33%) were 'very satisfied', half of the patients (50%) were 'satisfied' and two patients (11%) were 'absolutely not satisfied' with the surgical outcome. One patient (6%) of group B did not answer the question.

All but one patient (94%) of group A stated their will to choose the surgical treatment again, retrospectively, in group B fifteen patients (83%) stated their willingness to choose the surgical treatment again and two of eighteen patients (11%) would not have chosen their received surgery again. One patient (6 %) of group B did not answer the question. In group A all patients reported a subjective improvement postoperatively. This was observed in 14 patients (78%) of group B.

Radiological outcome

In group A (MPFLR) the retropatellar cartilage damage according to the Outerbridge classification remained constant (grade 1, range: grade 0 to 3), whereas in group B (TTM) the retropatellar cartilage damage increased postoperatively from grade 1 (range: grade 1 to 3) to grade 2 (range: grade 1 to 3). The described differences between the median grades of the two groups were not statistically significant, neither preoperatively (Mann-Whitney-test, $p = 0.067$) nor postoperatively (Mann-Whitney-test, $p = 0.062$). A detailed overview of the single retropatellar cartilage damage grades of each group (preoperatively as well as postoperatively) is given in Table 7. Due to the procedure of MPFLR the TTTG distance remained constant in group A (13.8 ± 3.2 mm) and decreased in group B from 17.5 ± 2.7 mm preoperatively to 9.3 ± 4.4 mm postoperatively. Pre- and postoperatively the difference between the average TTTG distances of both groups was statistically significant (t-test, $p = 0.001$) (Table 8).

In each group the following types of trochlear dysplasia according to Dejour et al. were found preoperatively: type A was observed in fifteen patients of group A (88%) and in nine patients of group B (50%), type B was detected in one patient of group A (6%) and in nine patients of group B (50%), and type C was found in one patient of group A (6%). Preoperatively the mean Caton-Deschamps index was 1.09 ± 0.10 in group A and 1.06 ± 0.12 in group B (t-test, $p = 0.550$). Patella alta was observed in three patients of each group (18% of group A, 17% of group B), whereas patella baja was not observed in the patient cohort.

Discussion

Both MPFLR (group A) and TTM (group B) lead to good clinical and radiological results followed by good to excellent outcome in the evaluated knee scores as well as increased patellar stability (low redislocation rates). Therefore we indicate that our hypothesis is true.

In the present study we could demonstrate that patients treated by TTM reported of more pain during activity according to the VAS score than patients of group A (MPFLR). These subjective outcomes could be supported statistically. Patients of group A had a VAS score during activity of 2.0 ± 2.1 points, whereas patients of group B had a VAS score during activity of 3.9 ± 2.3 points (t-test, $p = 0.017$). One reason for this difference might be that in patients treated by TTM a tendency to increased retropatellar cartilage damage was observed, especially postoperatively. This could be proven statistically. According to the Outerbridge classification the median grade of group A remained constant (grade 1, range: grade 0 to 3), whereas in group B it increased postoperatively from grade 1 (range: grade 1 to 3) to grade 2 (range: grade 1 to 3). These radiological findings are in accordance with the fact that half of the patients in group B showed a trochlear dysplasia of type B, whereas in group A (MPFLR) almost 90 % of the patients presented a trochlear dysplasia of type A. In this context, it should be pointed out that in a controlled laboratory study with four cadaveric knees Haver et al. could demonstrate that trochlear dysplasia of type B and D leads to higher patellofemoral contact pressures during extension and flexion compared to trochlear dysplasia of type A and C [35]. It is obvious that higher patellofemoral contact pressures might increase the risk of patella cartilage damage. The fact that slight patellofemoral crepitation during knee movement was postoperatively diagnosed in twice as many patients of group B compared to group A might also be related to our radiological findings. In this context, it could also be observed that patients after MPFLR (group A) experienced pain during palpation of the patella facets rather on the medial facet, whereas patients after TTM (group B) experienced pain during palpation of both medial and lateral patella facet. However, it should be noted that pre- and postoperatively no significant difference (Mann-Whitney-tests, $p = 0.067$ and $p = 0.062$) between the retropatellar cartilage damage of both groups according to the Outerbridge classification could be detected.

Slight differences in objective outcome parameters between the two groups were found in range of motion (flexion and extension) and in atrophy of the thigh, but none of these observed differences was statistically significant (Table 1). Other objective outcome parameters were either equal (like redislocation rate and number of patients who reported of persistent swelling of the knee after weight bearing) or almost equal (like numbers of detected positive apprehension signs and positive J-signs) in both groups (Table 2).

In this study MPFLR patients reached a mean Kujala score of 84.0 ± 11.4 points, an average Lysholm score of 82.2 ± 17.9 points and a median level of activity (Tegner score) of 5 (range 3 to 9) at an average follow-up of 25.4 ± 9.7 months (Table 3). This is supported by the findings of Becher et al., who reported clinical and radiological outcomes after static and dynamic MPFLR at a mean follow-up of 26.0 ± 0.6 months [36]. In Becher's study patients after static MPFLR ($n = 15$) reached a mean Kujala score of 82.0 ± 17.0 points, a mean Lysholm score of 79.0 ± 18.0 points and a mean

Tegner score of 4.4 ± 1.8 points. In this context it should also be noted that in a prospective clinical study with 68 patients (72 knees) treated by isolated MPFLR Lippacher et al. detected a median Kujala score of 87.5 points after an average follow-up period of 24.7 months [37]. Further, in a prospective clinical study with 30 patients, who underwent MPFLR, Krishna Kumar et al. reported a mean Lysholm score of 88.06 at a mean follow-up of 25.0 months [38]. Moreover, in a prospective study with 20 patients (20 knees), who were surgically treated by anatomic MPFLR, Song et al. could obtain a median Tegner score of 5 (range 4 to 7) after a median follow-up time of 34.5 months [39]. On the other hand patients after TTM reached a mean Kujala score of 79.2 ± 13.8 points, an average Lysholm score of 83.9 ± 14.1 points and a median level of activity (Tegner score) of 5 (range 2 to 6) at an average follow-up of 35.2 ± 17.6 months (Table 3). In comparison Koëter et al. found that patients with objective patellar instability treated by a modified tibial tubercle osteotomy ($n = 30$) reached a mean Kujala score of 82.0 points and a mean Lysholm score of 84.0 points at a follow-up of 24.0 months [40]. Unfortunately, the Tegner score was not evaluated in their prospective study. However, in a prospective clinical study with 15 patients (18 knees), who underwent a modified Elmslie-Trillat procedure, Marcacci et al. reported a mean Tegner score of 5 (range 3 to 7) at a mean follow-up of 60.0 months [41]. In this context it should also be mentioned that in a retrospective study with 18 patients (18 knees) treated by using a Roux-Elmslie-Trillat reconstruction operation Endres and Wilke could detect an average postoperative Tegner score of 4.6 ten years after treatment [42]. Furthermore, in a prospective clinical study with 35 patients (35 knees), who were surgically treated with a modified Elmslie-Trillat procedure and evaluated at an average follow-up of 98.0 ± 49.5 months, Barber and McGarry could obtain a mean postoperative Lysholm score of 83.4 ± 15.4 points [43]. In summation it can be said that the evaluated results of the applied knee scoring systems of the current study are comparable to the findings of previous studies, which reported the clinical outcome after MPFLR and TTM. However, it should be mentioned that in the above cited TTM studies, except the study of Koëter et al., mean follow-up period was much longer than in our study.

The patients' subjective grading of postoperative patellar stability was almost equal in both groups (Table 4). This correlates with the reported postoperative redislocation rate in both groups. Also mean VAS score at rest was almost equal in both groups. However, differences in the subjective outcome could be observed in ability of sports after surgery (Table 6), overall individual satisfaction, the will to choose the received surgical treatment again retrospectively as well as subjective improvement. As a result, it can be concluded that patients treated by MPFLR needed less time to participate in sports activities revealing a better subjective outcome than patients treated by TTM.

Radiological differences between group A and group B were found in the preoperatively evaluated types of trochlear dysplasia as well as in Caton-Deschamps index, but none of the differences was statistically significant ($p > 0.05$). However, the observed differences in the pre- and postoperatively evaluated TTTG distances between the two groups were statistically significant (t-test, $p = 0.001$).

However, it is noteworthy that retropatellar cartilage damage according to the Outerbridge classification remained constant in patients after MPFLR (grade 1, range: grade 0 to 3), whereas in patients treated by TTM retropatellar cartilage damage increased slightly from median grade 1 (range: grade 1 to 3) to median grade 2 (range:

grade 1 to 3). These results are comparable to those of Farr et al., who reported on a collective of 26 patients (30 knees) evaluated at a mean follow-up of 20.9 ± 4.1 years after the Elmslie-Trillat procedure [44]. In these patients tibiofemoral osteoarthritis (according to Kellgren-Lawrence) of median grade 2 (range: grade 0 to 4) as well as patellofemoral osteoarthritis (according to Sperner) of median grade 1 (range: grade 0 to 4) could be observed. Moreover they reported that knee osteoarthritis of grade 2 or higher (according to Kellgren-Lawrence and Sperner) could be observed in about 50 percent of their patients. For comparison, in our present study osteoarthritis of grade 2 or higher (according to the Outerbridge classification) was observed in 61 percent of patients after TTM (group B). Farr et al. also stated that differences were not statistically significant. Within our patient collective a tendency to increased cartilage damage could be detected in the TTM group, whereas no statistically significant intergroup difference could be found (Mann-Whitney-test, $p = 0.062$).

Within the current literature it is still controversially discussed whether TTM is followed by osteoarthritis of the tibiofemoral and patellofemoral joints due to altered contact pressures. Kuroda et al. stated in their cadaveric study with six fresh human cadaveric knees that overmedialization of the tibial tuberosity causes abnormal joint pressures, which may lead to future complications [45]. Mani et al. deduced in a controlled laboratory study that tibiofemoral kinematic changes after tibial tuberosity surgery could alter the pressure applied to tibiofemoral cartilage [46]. Saranathan et al. found out that TTM of 10.0 mm reduces the pressure applied to lateral patellar cartilage for intact cartilage and cartilage with lateral lesions without medial cartilage overload [47]. Furthermore, in a controlled laboratory study with eight fresh-frozen cadaveric knees Stephen et al. concluded that lateral patellofemoral joint contact pressures increased with progressive lateralization of the tibial tuberosity, whereas TTM reduced these effects as well as restored patellar stability not causing excessive peak pressures [48]. So far, the described controversy could not be resolved.

The results of this retrospective study are limited by the following factors: first of all the indications of the two surgeries are different, therefore it is generally difficult to compare the outcome of both procedures. Moreover, due to the retrospective study design clinical outcome could only be evaluated postoperatively. Therefore no comparison of the pre- and postoperative clinical outcome could be evaluated. Furthermore the size of the patient cohort was comparatively small, mostly caused by the fact that only a total of 35 patients met the inclusion criteria of the present study. Additionally, the subjects of both groups were not matched in pairs. Moreover, the follow-up interval was likely too short to evaluate more significant clinical and radiological results. And finally, dysplasia of the femoral trochlear (type A to D) was analyzed in axial MRI images although Nelitz et al. stated that evaluation of trochlear dysplasia by MRI is of limited value [49].

Conclusion

Surgical treatment of recurrent patellar instability is still controversially discussed in the current literature. In our present study patients after MPFLR (group A) and TTM (group B), which were performed according to defined criteria, reached good clinical and radiological outcomes. Overall the clinical and radiological results are comparable between the two groups, although its indications are different. For this reason it is difficult to give a nuanced treatment algorithm based on our patient collective.

Nevertheless we recommend to consider TTM as a patellar stabilization procedure for patients with highly increased TTTG distance, hyperpression on the lateral patella facet or increased lateral retropatellar cartilage damage. However, a tendency to increased retropatellar cartilage damage and more pain during activity could be detected after TTM.

References

1. Atkin DM, Fithian DC, Marangi KS, et al (2000) Characteristics of patients with primary acute lateral patellar dislocation and their recovery within the first 6 months of injury. *Am J Sports Med* 28:472–479.
2. Waterman BR, Belmont PJ, Owens BD (2012) Patellar dislocation in the United States: role of sex, age, race, and athletic participation. *J Knee Surg* 25:51–57.
3. Mehta VM, Inoue M, Nomura E, Fithian DC (2007) An algorithm guiding the evaluation and treatment of acute primary patellar dislocations. *Sports Med Arthrosc Rev* 15:78–81. doi: 10.1097/JSA.0b013e318042b695
4. Hawkins RJ, Bell RH, Anisette G (1986) Acute patellar dislocations. The natural history. *Am J Sports Med* 14:117–120.
5. Petri M, Liodakis E, Hofmeister M, et al (2013) Operative vs conservative treatment of traumatic patellar dislocation: results of a prospective randomized controlled clinical trial. *Arch Orthop Trauma Surg* 133:209–213. doi: 10.1007/s00402-012-1639-8
6. Mäenpää H, Huhtala H, Lehto MU (1997) Recurrence after patellar dislocation. Redislocation in 37/75 patients followed for 6-24 years. *Acta Orthop Scand* 68:424–426.
7. Amis AA (2007) Current concepts on anatomy and biomechanics of patellar stability. *Sports Med Arthrosc Rev* 15:48–56. doi: 10.1097/JSA.0b013e318053eb74
8. Senavongse W, Amis AA (2005) The effects of articular, retinacular, or muscular deficiencies on patellofemoral joint stability: a biomechanical study in vitro. *J Bone Joint Surg Br* 87:577–582. doi: 10.1302/0301-620X.87B4.14768
9. Rhee S-J, Pavlou G, Oakley J, et al (2012) Modern management of patellar instability. *Int Orthop* 36:2447–2456. doi: 10.1007/s00264-012-1669-4
10. Ries Z, Bollier M (2015) Patellofemoral Instability in Active Adolescents. *J Knee Surg* 28:265–277. doi: 10.1055/s-0035-1549017
11. Steensen RN, Bentley JC, Trinh TQ, et al (2015) The Prevalence and Combined Prevalences of Anatomic Factors Associated With Recurrent Patellar Dislocation: A Magnetic Resonance Imaging Study. *Am J Sports Med*. doi: 10.1177/0363546514563904
12. Frosch K-H, Schmeling A (2016) A new classification system of patellar instability and patellar maltracking. *Arch Orthop Trauma Surg* 136:485–497. doi: 10.1007/s00402-015-2381-9
13. Koh JL, Stewart C (2015) Patellar instability. *Orthop Clin North Am* 46:147–157. doi: 10.1016/j.ocl.2014.09.011
14. Alaia MJ, Cohn RM, Strauss EJ (2014) Patellar instability. *Bull Hosp Jt Dis* 2013 72:6–17.
15. Outerbridge RE (1961) The etiology of chondromalacia patellae. *J Bone Joint Surg Br* 43-B:752–757.
16. Cox JS (1982) Evaluation of the Roux-Elmslie-Trillat procedure for knee extensor realignment. *Am J Sports Med* 10:303–10.
17. Trillat A, Dejour H, Couette A (1964) [DIAGNOSIS AND TREATMENT OF RECURRENT DISLOCATIONS OF THE PATELLA]. *Rev Chir Orthopédique Réparatrice Appar Mot* 50:813–824.
18. Fairbank HAT (1937) Internal Derangement of the Knee in Children and Adolescents. *Proc R Soc Med* 30:427–432.

19. Sheehan FT, Derasari A, Fine KM, et al (2010) Q-angle and J-sign: Indicative of Maltracking Subgroups in Patellofemoral Pain. *Clin Orthop* 468:266–275. doi: 10.1007/s11999-009-0880-0
20. Kujala UM, Jaakkola LH, Koskinen SK, et al (1993) Scoring of patellofemoral disorders. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc* 9:159–163.
21. Lysholm J, Gillquist J (1982) Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *Am J Sports Med* 10:150–154. doi: 10.1177/036354658201000306
22. Tegner Y, Lysholm J (1985) Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop* 43–49.
23. Dandy DJ (1996) Chronic patellofemoral instability. *J Bone Joint Surg Br* 78:328–335.
24. Carlsson AM (1983) Assessment of chronic pain. I. Aspects of the reliability and validity of the visual analogue scale. *Pain* 16:87–101.
25. Höher J, Münster A, Klein J, et al (1995) Validation and application of a subjective knee questionnaire. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA* 3:26–33.
26. Potter HG, Linklater JM, Allen AA, et al (1998) Magnetic resonance imaging of articular cartilage in the knee. An evaluation with use of fast-spin-echo imaging. *J Bone Joint Surg Am* 80:1276–1284.
27. Suh JS, Lee SH, Jeong EK, Kim DJ (2001) Magnetic resonance imaging of articular cartilage. *Eur Radiol* 11:2015–2025. doi: 10.1007/s003300100911
28. Schoettle PB, Zanetti M, Seifert B, et al (2006) The tibial tuberosity-trochlear groove distance; a comparative study between CT and MRI scanning. *The Knee* 13:26–31. doi: 10.1016/j.knee.2005.06.003
29. Pandit S, Frampton C, Stoddart J, Lynskey T (2011) Magnetic resonance imaging assessment of tibial tuberosity-trochlear groove distance: normal values for males and females. *Int Orthop* 35:1799–1803. doi: 10.1007/s00264-011-1240-8
30. Pfirrmann CW, Zanetti M, Romero J, Hodler J (2000) Femoral trochlear dysplasia: MR findings. *Radiology* 216:858–864. doi: 10.1148/radiology.216.3.r00se38858
31. Dejour H, Walch G, Neyret P, Adeleine P (1990) [Dysplasia of the femoral trochlea]. *Rev Chir Orthopédique Réparatrice Appar Mot* 76:45–54.
32. Caton J (1989) [Method of measuring the height of the patella]. *Acta Orthop Belg* 55:385–386.
33. Caton J, Deschamps G, Chambat P, et al (1982) [Patella infera. Apropos of 128 cases]. *Rev Chir Orthopédique Réparatrice Appar Mot* 68:317–325.
34. Caton J, Mironneau A, Walch G, et al (1990) [Idiopathic high patella in adolescents. Apropos of 61 surgical cases]. *Rev Chir Orthopédique Réparatrice Appar Mot* 76:253–260.
35. Haver AV, Roo KD, Beule MD, et al (2015) The Effect of Trochlear Dysplasia on Patellofemoral Biomechanics A Cadaveric Study With Simulated Trochlear Deformities. *Am J Sports Med* 43:1354–1361. doi: 10.1177/0363546515572143
36. Becher C, Kley K, Lobenhoffer P, et al (2014) Dynamic versus static reconstruction of the medial patellofemoral ligament for recurrent lateral patellar dislocation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA* 22:2452–2457. doi: 10.1007/s00167-014-3020-7

37. Lippacher S, Dreyhaupt J, Williams SRM, et al (2014) Reconstruction of the Medial Patellofemoral Ligament: Clinical Outcomes and Return to Sports. *Am J Sports Med* 42:1661–1668. doi: 10.1177/0363546514529640
38. Krishna Kumar M, Renganathan S, Joseph CJ, et al (2014) Medial patellofemoral ligament reconstruction in patellar instability. *Indian J Orthop* 48:501–505. doi: 10.4103/0019-5413.139864
39. Song SY, Kim IS, Chang HG, et al (2014) Anatomic medial patellofemoral ligament reconstruction using patellar suture anchor fixation for recurrent patellar instability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA* 22:2431–2437. doi: 10.1007/s00167-013-2730-6
40. Koëter S, Diks MJF, Anderson PG, Wymenga AB (2007) A modified tibial tubercle osteotomy for patellar maltracking: results at two years. *J Bone Joint Surg Br* 89:180–185. doi: 10.1302/0301-620X.89B2.18358
41. Marcacci M, Zaffagnini S, Lo Presti M, et al (2004) Treatment of chronic patellar dislocation with a modified Elmslie-Trillat procedure. *Arch Orthop Trauma Surg* 124:250–257. doi: 10.1007/s00402-003-0511-2
42. Endres S, Wilke A (2011) A 10 year follow-up study after Roux-Elmslie-Trillat treatment for cases of patellar instability. *BMC Musculoskelet Disord* 12:48. doi: 10.1186/1471-2474-12-48
43. Barber FA, McGarry JE (2008) Elmslie-Trillat procedure for the treatment of recurrent patellar instability. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc* 24:77–81. doi: 10.1016/j.arthro.2007.07.028
44. Farr S, Huyer D, Sadoghi P, et al (2014) Prevalence of osteoarthritis and clinical results after the Elmslie-Trillat procedure: a retrospective long-term follow-up. *Int Orthop* 38:61–66. doi: 10.1007/s00264-013-2083-2
45. Kuroda R, Kambic H, Valdevit A, Andrish JT (2001) Articular Cartilage Contact Pressure after Tibial Tuberosity Transfer A Cadaveric Study. *Am J Sports Med* 29:403–409.
46. Mani S, Kirkpatrick MS, Saranathan A, et al (2011) Tibial tuberosity osteotomy for patellofemoral realignment alters tibiofemoral kinematics. *Am J Sports Med* 39:1024–1031. doi: 10.1177/0363546510390188
47. Saranathan A, Kirkpatrick MS, Mani S, et al (2012) The effect of tibial tuberosity realignment procedures on the patellofemoral pressure distribution. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA* 20:2054–2061. doi: 10.1007/s00167-011-1802-8
48. Stephen JM, Lumpaopong P, Dodds AL, et al (2015) The effect of tibial tuberosity medialization and lateralization on patellofemoral joint kinematics, contact mechanics, and stability. *Am J Sports Med* 43:186–194. doi: 10.1177/0363546514554553
49. Nelitz M, Lippacher S, Reichel H, Dornacher D (2014) Evaluation of trochlear dysplasia using MRI: correlation between the classification system of Dejour and objective parameters of trochlear dysplasia. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA* 22:120–127. doi: 10.1007/s00167-012-2321-y

Tables

Table 1

Postoperative range of motion and atrophy of the thigh after MPFLR (group A) and TTM (group B)

Clinical parameters	Group A	Group B	<i>p</i> value
Flexion	135.0 ± 17.6° (90 – 160°)	145.6 ± 14.9° (120 – 160°)	<i>p</i> = 0.064
(Hyper)Extension	6.9 ± 3.3° (0 – 12.5°)	4.7 ± 3.2° (0 – 10°)	<i>p</i> = 0.053
Atrophy of the thigh	6.6 ± 17.0 mm	10.1 ± 19.4 mm	<i>p</i> = 0.574

Table 2

Overview of postoperative apprehension signs and J-signs of patients treated with MPFLR (group A) and TTM (group B)

Clinical-Tests, n (%)		Group A	Group B
Apprehension-Sign	positive	-	1 (6)
	negative	17 (100)	17 (94)
J-Sign	positive	3 (18)	4 (22)
	negative	14 (82)	14 (78)

Table 3

Postoperative values of knee scores for patients treated with MPFLR (group A) and TTM (group B)

Knee Score	Group A	Group B	<i>p</i> value
Kujala	84.0 ± 11.4 (57 – 97)	79.2 ± 13.8 (51 – 98)	<i>p</i> = 0.263
Lysholm	82.2 ± 17.9 (45 – 98)	83.9 ± 14.1 (51 – 100)	<i>p</i> = 0.768
Tegner	5 (3 – 9)	5 (2 – 6)	<i>p</i> = 0.067

Table 4

Patient's subjective grading of postoperative patellar stability after MPFLR (group A) and TTM (group B)

Subjective grading of patellar stability, n (%)	Group A	Group B
'feels completely stable'	7 (41)	7 (39)
'feels occasionally unstable but never dislocates'	10 (59)	11 (61)
'continues to dislocate'	-	-

Table 5

Postoperative pain outcome during activity and at rest according to a visual analogue scale (VAS) in patients treated with MPFLR (group A) and TTM (group B)

Pain outcome	Group A	Group B	<i>p</i> value
VAS during activity	2.0 ± 2.1 (0 – 5)	3.9 ± 2.3 (0 – 8)	<i>p</i> = 0.017*
VAS at rest	0.4 ± 0.9 (0 – 3)	0.4 ± 1.1 (0 – 4)	<i>p</i> = 0.925

(* statistically significant, *p* < 0.05)

Table 6

Ability of sports after MPFLR (group A) and TTM (group B)

Ability of sports after surgical treatment, n (%)	Group A	Group B
‘within one month’	-	1 (6)
‘within two months’	3 (18)	3 (17)
‘after two to three months’	7 (41)	3 (17)
‘after three to six months’	2 (12)	4 (22)
‘after more than six months’	5 (29)	7 (38)

Table 7

Overview of the pre- and postoperative single retropatellar cartilage damage grades of patients treated by MPFLR (group A) and TTM (group B)

Outerbridge classification, n (%)	Group A	Group B
<i>Preoperatively</i>		
Grade 0	5 (29)	-
Grade 1	9 (53)	12 (66)
Grade 2	2 (12)	3 (17)
Grade 3	1 (6)	3 (17)
Grade 4	-	-
<i>Postoperatively</i>		
Grade 0	2 (12)	-
Grade 1	8 (47)	7 (39)
Grade 2	6 (35)	4 (22)
Grade 3	1 (6)	7 (39)
Grade 4	-	-

Table 8

Pre- and postoperative retropatellar cartilage damages (median grades) according to the Outerbridge classification as well as TTTG distances of patients treated with MPFLR (group A) and TTM (group B)

Radiological data	Group A	Group B	<i>p</i> value
Outerbridge preoperatively	1 (0 – 3)	1 (1 – 3)	<i>p</i> = 0.067
Outerbridge postoperatively	1 (0 – 3)	2 (1 – 3)	<i>p</i> = 0.062
TTTG distance preoperatively	13.8 ± 3.2 mm (5 – 19.5 mm)	17.5 ± 2.7 mm (15 – 22 mm)	<i>p</i> = 0.001*
TTTG distance postoperatively	13.8 ± 3.2 mm (5 – 19.5 mm)	9.3 ± 4.4 mm (0 – 15.2 mm)	<i>p</i> = 0.001*

(* statistically significant, *p* < 0.05)

3. Diskussion

Sowohl die MPFLR (Gruppe A) als auch die TTM (Gruppe B), welche nach vorher definierten Kriterien durchgeführt wurden, führten insgesamt zu guten klinischen und radiologischen Ergebnissen, gefolgt von einem guten bis exzellenten *Outcome* in den evaluierten Knie-Scores sowie zu einer verbesserten Stabilität der Patella mit geringen Relaxationsraten. Aus diesem Grund gehen wir davon aus, dass unsere weiter oben aufgestellte Hypothese zutreffend ist.

In der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass Patienten, die mittels der TTM behandelt wurden, bezogen auf den VAS-Score insgesamt von mehr Schmerzen bei Aktivität berichteten als Patienten, bei denen eine MPFLR durchgeführt wurde. Dieser Unterschied im subjektiven Outcome konnte auch statistisch nachvollzogen werden. Bei den Patienten der Gruppe A betrug der VAS-Score während Aktivität $2,0 \pm 2,1$ Punkte, wohingegen bei den Patienten der Gruppe B der VAS-Score während Aktivität $3,9 \pm 2,3$ Punkte betrug (t-Test, $p = 0,017$). Eine mögliche Erklärung hierfür mag sein, dass sich bei den Patienten der Gruppe B vor allem postoperativ die Tendenz zu einem erhöhten retropatellaren Knorpelschaden zeigte. Auch dies konnte statistisch nachgewiesen werden. Während der mediane Grad des Knorpelschadens nach der Outerbridge-Klassifikation in Gruppe A konstant blieb (Grad 1, Spanne: Grad 0 bis 3), zeigte sich in Gruppe B postoperativ ein Anstieg im medianen Grad des Knorpelschadens nach der Outerbridge-Klassifikation von Grad 1 (Spanne: Grad 1 bis 3) nach Grad 2 (Spanne: Grad 1 bis 3). Diese radiologischen Ergebnisse korrelieren mit der Tatsache, dass bei der Hälfte der Patienten aus Gruppe B eine Trochleadysplasie von Grad B beobachtet werden konnte, wohingegen sich bei fast 90 Prozent der Patienten aus Gruppe A eine Trochleadysplasie von nur Grad A zeigte. In diesem Zusammenhang sollte darauf hingewiesen werden, dass van Haver et al. in einer kontrollierten Laborstudie mit vier Kadaverknien demonstrieren konnten, dass eine Trochleadysplasie von Grad B und D zu einem höheren patellofemoralen Anpressdruck während Extension und Flexion führt als eine Trochleadysplasie von Grad A und C (van Haver et al. 2015). Es ist hierbei offensichtlich, dass ein höherer patellofemorale Anpressdruck auch das Risiko für einen retropatellaren Knorpelschaden erhöhen mag. Die Tatsache, dass im Vergleich zu Gruppe A bei doppelt so vielen Patienten aus Gruppe B beim Durchbewegen des Knies eine leichte patellofemorale Krepitation bemerkt werden konnte, mag ebenfalls mit

unseren radiologischen Ergebnissen korrelieren. In diesem Zusammenhang konnte zudem beobachtet werden, dass Patienten nach der MPFLR bei Palpation der Patellafacetten vor allem Schmerzen im Bereich der medialen Patellafacetten angaben, während Patienten nach der TTM von Schmerzen im Bereich beider Patellafacetten (medial und lateral) berichteten bei Palpation der Patellafacetten. Allerdings sollte hierbei abschließend zur Kenntnis genommen werden, dass weder prä- noch postoperativ ein signifikanter Unterschied zwischen dem nach der Outerbridge-Klassifikation ermittelten retropatellaren Knorpelschaden beobachtet werden konnte (Mann-Whitney-Tests, $p = 0,067$ und $p = 0,062$).

Bei den ermittelten objektiven *Outcome*-Parametern zeigten sich zwischen den beiden Gruppen leichte Unterschiede in Bezug auf das Bewegungsausmaß des operierten Knies (Extension und Flexion) und in Bezug auf die Oberschenkelatrophie der betroffenen Seite. Jedoch war keiner der genannten Unterschiede statistisch signifikant (t-Tests, $p > 0,05$). Andere ermittelte objektive *Outcome*-Parameter waren entweder gleich in beiden Gruppen, wie zum Beispiel die Relaxationsrate und die Anzahl der Patienten, die von einer persistierenden Schwellung des operierten Knies nach Belastung berichteten, oder waren nahezu gleich, wie die Anzahl der positiven *Apprehension*- und J-Zeichen.

In der vorliegenden Studie erreichten Patienten nach der MPFLR (Gruppe A) einen mittleren Kujala-Score von $84,0 \pm 11,4$ Punkten, einen mittleren Lysholm-Score von $82,2 \pm 17,9$ Punkten und ein medianes Aktivitätslevel (Tegner-Score) von 5 (Spanne 3 bis 9) bei einem durchschnittlichen *Follow-Up* von $25,4 \pm 9,7$ Monaten. Diese evaluierten Resultate werden unter anderem durch die Studie von Becher et al. gestützt, die von klinischen und radiologischen Ergebnissen nach statischer und dynamischer Rekonstruktion des MPFL bei einem durchschnittlichen *Follow-Up* von $26,0 \pm 0,6$ Monaten berichteten (Becher et al. 2014). In Becher's Studie erreichten Patienten nach statischer MPFL-Rekonstruktion ($n = 15$) einen mittleren Kujala-Score von $82,0 \pm 17,0$ Punkten, einen mittleren Lysholm-Score von $79,0 \pm 18,0$ Punkten sowie einen mittleren Tegner-Score von $4,4 \pm 1,8$ Punkten. In diesem Kontext sollte auch darauf hingewiesen werden, dass Lippacher et al. in einer prospektiven klinischen Studie mit 68 Patienten (72 Knie), bei denen eine isolierte Rekonstruktion des MPFL durchgeführt wurde, einen mittleren Kujala-Score von 87,5 Punkten ermittelten bei einer durchschnittlichen *Follow-Up*-Periode von 24,7 Monaten (Lippacher et al. 2014). Weiter berichteten

Krishna Kumar et al. in einer prospektiven klinischen Studie mit 30 Patienten, die eine MPFL-Rekonstruktion erhielten, von einem mittleren Lysholm-Score von 88,06 Punkten bei einem durchschnittlichen *Follow-Up* von 25,0 Monaten (Krishna Kumar et al. 2014). Darüber hinaus konnten Song et al. in ihrer prospektiven Studie mit 20 Patienten (20 Knie) nach anatomischer Rekonstruktion des MPFL einen medianen Tegner-Score von 5 (Spanne 4 bis 7) bei einem durchschnittlichen *Follow-Up* von 34,5 Monaten ermitteln (Song et al. 2014).

Auf der anderen Seite erreichten Patienten nach der TTM (Gruppe B) in der vorliegenden Studie einen mittleren Kujala-Score von $79,2 \pm 13,8$ Punkten, einen mittleren Lysholm-Score von $83,9 \pm 14,1$ Punkten und ein medianes Aktivitätslevel (Tegner-Score) von 5 (Spanne 2 bis 6) bei einem durchschnittlichen *Follow-Up* von $35,2 \pm 17,6$ Monaten. Zum Vergleich ermittelten Koëter et al. bei Patienten mit einer objektiven Patellainstabilität, die mittels einer modifizierten Tuberositas-Tibiae-Osteotomie operiert wurden ($n = 30$), einen mittleren Kujala-Score von 82,0 Punkten und einen mittleren Lysholm-Score von 84,0 Punkten bei einem durchschnittlichen *Follow-Up* von 24,0 Monaten (Koëter et al. 2007). Leider wurde der Tegner-Score in der genannten Studie von Koëter et al. nicht ermittelt. Allerdings berichteten dafür Marcacci et al. in einer prospektiven klinischen Studie mit 15 Patienten (18 Knie), die eine modifizierte Elmslie-Trillat-Operation erhielten, von einem mittleren Tegner-Score von 5 (Spanne 3 bis 7) bei einer durchschnittlichen *Follow-Up*-Periode von 60,0 Monaten (Marcacci et al. 2004). In diesem Zusammenhang sollte auch erwähnt werden, dass Endres und Wilke in einer retrospektiven Studie mit 18 Patienten (18 Knie), die mittels einer Roux-Elmslie-Trillat-Rekonstruktions-Operation behandelt wurden, zehn Jahre postoperativ einen durchschnittlichen Tegner-Score von 4,6 beobachten konnten (Endres und Wilke 2011). Des Weiteren konnten Barber und McGarry in einer prospektiven klinischen Studie mit 35 Patienten (35 Knie), die mittels einer modifizierten Elmslie-Trillat-Prozedur operiert wurden und bei einem durchschnittlichen *Follow-up* von $98,0 \pm 49,5$ Monaten nachuntersucht wurden, einen mittleren postoperativen Lysholm-Score von $83,4 \pm 15,4$ Punkten ermitteln (Barber und McGarry 2008).

Zusammenfassend lässt sich hierbei festhalten, dass die in der vorliegenden Studie evaluierten Ergebnisse der angewandten Knie-Scores durchaus vergleichbar sind mit

den Ergebnissen früherer Studien, die über das klinische *Outcome* nach einer MPFLR und nach einer TTM berichteten. Allerdings sollte hierbei noch erwähnt werden, dass die *Follow-Up*-Perioden bei den oben genannten und zitierten Studien, mit Ausnahme der Studie von Koëter et al., insgesamt länger waren als in unserer vorliegenden Studie.

Die subjektive Beurteilung der Patienten in Bezug auf die postoperative Stabilität der Patella war nahezu gleich in beiden Gruppen. Etwa 60 Prozent der Patienten in jeder Gruppe gab an, dass sich die Patella gelegentlich instabil anfühlt, aber nicht mehr luxiert. Hingegen gab kein Patient aus den beiden Gruppen an, dass die Patella weiter luxiert. Diese Patientenangaben korrelieren mit der beobachteten postoperativen Reluxationsrate in beiden Gruppen. Auch der mittlere VAS-Score in Ruhe zeigte, im Gegensatz zum mittleren VAS-Score bei Aktivität, postoperativ annähernd einen gleichen Wert in beiden Gruppen. Hingegen konnten im weiter evaluierten subjektiven *Outcome* auch Unterschiede zwischen den beiden Gruppen beobachtet werden, und zwar bei den folgenden *Items*: bei der Fähigkeit postoperativ wieder an sportlichen Aktivitäten teilzunehmen, bei der allgemeinen Patientenzufriedenheit, bei der Bereitschaft die durchgeführte Operation noch einmal durchführen zu lassen sowie bei der subjektiven Besserung der Beschwerdesymptomatik postoperativ. So konnte über die Hälfte der Patienten in Gruppe A (59 %) zwei bis drei Monate nach durchgeführter MPFLR wieder an sportlichen Aktivitäten teilnehmen, wohingegen in Gruppe B nach durchgeführter TTM weniger als die Hälfte der Patienten (39 %) nach dieser Zeit bereits wieder an sportlichen Aktivitäten teilnehmen konnte. Während weiter alle Patienten aus Gruppe A mit dem postoperativen Ergebnis „zufrieden“ waren, wobei etwa zwei Drittel der Patienten sogar „sehr zufrieden“ war, und alle bis auf einen Patienten die durchgeführte Operation noch einmal durchführen lassen würden, waren zwei Patienten aus Gruppe B „absolut nicht zufrieden“ mit dem Ergebnis nach der TTM und würden die durchgeführte Operation verständlicherweise auch nicht noch einmal durchführen lassen. Zudem berichteten in Gruppe A postoperativ alle Patienten von einer subjektiven Besserung der Beschwerdesymptomatik, während in Gruppe B etwa ein Viertel der Patienten postoperativ von keiner subjektiven Besserung der Beschwerdesymptomatik berichten konnte.

Zusammenfassend kann hier schlussgefolgert werden, dass Patienten aus Gruppe A, bei denen eine MPFLR durchgeführt wurde, zum einen postoperativ insgesamt weniger Zeit

benötigten, um wieder an sportlichen Aktivitäten teilnehmen zu können, und zum anderen auch insgesamt ein besseres subjektives *Outcome* zeigten als Patienten aus Gruppe B, bei denen eine TTM durchgeführt wurde.

Radiologische Unterschiede zwischen Gruppe A und Gruppe B zeigten sich sowohl bei den präoperativ bestimmten Typen der Trochleadysplasie als auch bei den präoperativ ermittelten Caton-Deschamps-Indizes, wobei sich allerdings keiner der gefundenen Unterschiede als statistisch signifikant herausstellte ($p > 0,05$). Hingegen waren die zwischen beiden Gruppen beobachteten Unterschiede bei den prä- und postoperativ bestimmten Werten des TTTG-Abstandes als statistisch signifikant anzusehen (t-Test, $p = 0,001$).

Es ist indes bemerkenswert und vor allem nennenswert, dass der mediane retropatellare Knorpelschaden gemäß der Outerbridge-Klassifikation bei Patienten nach durchgeführter MPFLR konstant blieb (Grad 1, Spanne: Grad 0 bis 3), während dieser bei Patienten, die eine TTM erhielten, leicht von Grad 1 (Spanne: Grad 1 bis 3) auf Grad 2 (Spanne: 1 bis 3) anstieg. Diese Beobachtungen sind vergleichbar mit denen von Farr et al., die Nachuntersuchungsergebnisse von einem Patientenkollektiv mit 26 Patienten (30 Knie) präsentierten, die bei einem durchschnittlichen *Follow-Up* von $20,9 \pm 4,1$ Jahren nach der Elmslie-Trillat-Operationstechnik evaluiert wurden (Farr et al. 2014). Bei den genannten Patienten konnte eine mediane tibiofemorale Osteoarthritis nach Kellgren-Lawrence von Grad 2 (Spanne: Grad 0 bis 4) sowie eine mediane patellofemorale Osteoarthritis nach Sperner von Grad 1 (Spanne: Grad 0 bis 4) beobachtet werden. Darüber hinaus berichteten die Autoren der genannten Studie, dass eine Gonarthrose von Grad 2 oder höher gemäß Kellgren-Lawrence und Sperner bei 50 Prozent ihrer Patienten beobachtet werden konnte. Zum Vergleich wurde in der vorliegenden Studie eine Osteoarthritis von Grad 2 oder höher nach der Outerbridge-Klassifikation bei 61 Prozent der Patienten nach durchgeführter TTM (Gruppe B) beobachtet. Farr et al. beschrieben zudem, dass ihre beobachteten Unterschiede nicht statistisch signifikant waren. Innerhalb unseres Patientenkollektivs konnte ebenfalls eine Tendenz zu einem erhöhten Knorpelschaden in der TTM-Gruppe nachgewiesen werden, wobei sich aber keine statistisch signifikante Intergruppen-Differenz zeigte (Mann-Whitney-Test, $p = 0,062$).

In der aktuellen Literatur zu dem Thema wird weiterhin kontrovers diskutiert, ob eine TTM wegen möglicherweise erhöhten Anpressdrücken der Patella zu Osteoarthritis im tibiofemorale und patellofemorale Gelenk führt. So gaben Kuroda et al. in ihrer Kadaverstudie mit sechs frischen menschlichen Kadaverknien an, dass eine (Über-) Medialisierung der Tuberositas tibiae zu abnormalen Anpressdrücken im Gelenk führt, was wiederum zu späteren Komplikationen führen könnte (Kuroda et al. 2001). Weiter folgten Mani et al. aus ihrer kontrollierten Laborstudie, dass sich die tibiofemorale Kinematik nach einer Tuberositas-tibiae-Operation verändert, was dann zu einer Anpressdruckerhöhung im Bereich des tibiofemorale Knorpels führen könnte (Mani et al. 2011). Auf der anderen Seite fanden Saranathan et al. in diesem Kontext heraus, dass bei einer Medialisierung der Tuberositas tibiae von 10 mm der Anpressdruck, der auf den laterale retropatellare Knorpel ausgeübt wird, bei intaktem Knorpel und Knorpel mit lateralen Läsionen insgesamt reduziert wird, ohne wiederum den medialen retropatellare Knorpel zu überlasten (Saranathan et al. 2012). Darüber hinaus führten Stephen et al. eine kontrollierte Laborstudie mit acht frisch gefrorenen Kadaverknien durch und kamen dabei zu dem Schluss, dass sich der Kontaktdruck des laterale patellofemorale Gelenks mit zunehmender Lateralisation der Tuberositas tibiae erhöht, wohingegen eine Medialisierung der Tuberositas tibiae diese beschriebenen Effekte reduziert und die Stabilität der Patella wieder herstellt, ohne dabei zu exzessiv hohen Anpressdrücken zu führen (Stephen et al. 2015).

Bislang konnte die beschriebene Kontroverse auch in den vorliegenden klinischen Studien nicht abschließend geklärt werden. So berichteten Farr et al. in einer retrospektiven Langzeit-Follow-Up-Studie mit einem mittleren *Follow-Up* von $20,9 \pm 4,1$ Jahren, dass die Elmslie-Trillat Prozedur langfristig beobachtet mit einigen Fällen von fortgeschrittener tibiofemorale und patellofemorale Osteoarthritis assoziiert ist (Farr et al. 2014). Im Gegensatz hierzu konnten Marcacci et al. in ihrer klinischen Studie mit einem durchschnittlichen *Follow-Up* von fünf Jahren beim Vergleich mit den präoperativ angefertigten Röntgenaufnahmen keine progressiven degenerativen Veränderungen nach der Behandlung mit einer modifizierten Elmslie-Trillat Prozedur bei der *Follow-Up* Untersuchung finden (Marcacci et al. 2004). Weiter konnten auch Endres und Wilke in ihrer retrospektiven Studie mit 18 Patienten, die mittels einer Roux-Elmslie-Trillat Prozedur operativ versorgt wurden, keine progressiven

arthrotischen Veränderungen feststellen während der *Follow-Up* Periode mit einem durchschnittlichen *Follow-Up* von 9,7 Jahren (Endres und Wilke 2011).

Die Ergebnisse dieser vorliegenden retrospektiven Studie sind durch die im Folgenden beschriebenen Faktoren limitiert: zuallererst sind die Indikationen für die beiden Operationen (MPFLR und TTM) unterschiedlich, daher ist es grundsätzlich schwierig, das *Outcome* dieser beiden Prozeduren miteinander zu vergleichen. Darüber hinaus konnte das klinische *Outcome*, dem retrospektiven Studiendesign geschuldet, nur postoperativ evaluiert werden. Aus diesem Grund konnte auch kein Vergleich zwischen einem prä- und postoperativen *Outcome* durchgeführt werden. Des Weiteren war die Größe des Patientenkollektives mit insgesamt 35 Patienten vergleichsweise klein. Dies ist dadurch begründet, dass nur diese 35 Patienten die Einschlusskriterien der vorliegenden Studie auch wirklich erfüllt haben. Zusätzlich muss darauf hingewiesen werden, dass kein Paarvergleich im Sinne einer sogenannten *Matched-Pair*-Analyse der einzelnen Objekte aus den beiden Gruppen durchgeführt wurde. Weiter war das *Follow-Up* Intervall möglicherweise zu kurz gewählt, um weitere signifikante klinische und radiologische Ergebnisse evaluieren zu können. Und schließlich wurde eine Trochleadysplasie (von Typ A bis D nach Dejour) in der vorliegenden Studie in axialen MRT-Bildern ermittelt, obwohl Nelitz et al. in ihrer Studie ausgeführt haben, dass die Bestimmung der Trochleadysplasie im MRT von begrenzter Aussagekraft ist (Nelitz et al. 2014).

3.1 Schlussfolgerungen

Die operative Behandlung der rezidivierenden Patellainstabilität wird in der aktuellen Literatur weiter kontrovers diskutiert. In unserer vorliegenden retrospektiven Studie erreichten Patienten nach MPFLR (Gruppe A) und nach TTM (Gruppe B), welche jeweils nach vorher definierten Kriterien durchgeführt wurden, insgesamt gute klinische und radiologische Ergebnisse. Zusammenfassend kann man sagen, dass diese Ergebnisse sogar vergleichbar sind zwischen den beiden Gruppen, obwohl die Indikationen der entsprechenden Operation jeweils unterschiedlich sind. Aus diesem Grund ist es auch schwierig, basierend auf unserem Patientenkollektiv einen nuancierten Behandlungs-Algorithmus zu empfehlen. Nichtsdestotrotz empfehlen wir, die TTM weiter als eine die Patella stabilisierende Behandlungsmethode in Erwägung zu ziehen bei Patienten mit erhöhtem TTTG-Abstand sowie Hyperpression im Bereich der lateralen Patellafacette oder erhöhtem retropatellaren Knorpelschaden lateralseitig. Allerdings sollte hierbei auch berücksichtigt werden, dass nach durchgeführter TTM eine Tendenz zu einem erhöhten retropatellaren Knorpelschaden sowie zu mehr Schmerzen bei Belastung gemäß des VAS-Scores beobachtet werden konnte.

3.2 Ausblick

In den letzten Jahren hat sich vor allem die Rekonstruktion des MPFL als operative Behandlungsmethode der rezidivierenden Patellainstabilität etabliert, da sich die Patella ja vor allem in Extension instabil zeigt und da auch bereits in mehreren Studien gezeigt werden konnte, dass bei einem Großteil der Patienten nach Luxation der Patella ein rupturiertes MPFL vorliegt (Petri et al. 2013a). Bei Vorliegen einer Trochleadysplasie wurde in den letzten Jahren zudem zunehmend eine Kombination von Trochleaplastik und MPFL-Rekonstruktion durchgeführt.

Dieses Vorgehen in Form von isolierter MPFL-Rekonstruktion oder Kombination von Trochleaplastik und MPFL-Rekonstruktion (bei Vorliegen einer Trochleadysplasie) erscheint vor allem vor dem Hintergrund sinnvoll, dass man auf diese Weise die beiden Hauptstabilisatoren der Patella stärkt bzw. wieder herstellt – zum einen das MPFL als passiven Stabilisator der Patella in strecknaher Position und zum anderen die Trochlea als statischen Stabilisator der Patella von 30 bis 100 Grad. Allerdings sollte hierbei immer kritisch hinterfragt werden, ob nicht noch andere Pathologien zugrunde liegen, die eine rezidivierende Patellainstabilität begünstigen, wie beispielsweise eine Rotationsfehlstellung, da sich dann Therapieempfehlung und Therapiekonzept ändern würden.

Im Sinne einer patientenindividualisierten Versorgung sollte in Zukunft grundsätzlich, unter Berücksichtigung der zugrunde liegenden Pathologien der als multifaktoriell beschriebenen Patellainstabilität, eine Kombination der verschiedenen operativen Möglichkeiten in Betracht gezogen werden. Erste positive Ansätze für einen solchen Behandlungsalgorithmus zeigen sich bereits in der aktuellen Literatur: so haben beispielsweise Balcarek et. al einen sogenannten „*Patellar Instability Severity-Score*“ (kurz „*PIS-Score*“) entwickelt, welcher basierend auf den individuellen Risikofaktoren des Patienten eine Entscheidungshilfe für mögliche Therapieoptionen (konservative Therapie versus operative Therapie) nach Erstluxation der Patella geben soll (Balcarek et al. 2014). Weiter haben Frosch und Schmeling eine „Klassifikation der Patellaluxation“ entwickelt, die auf der Einteilung Instabilität, *Maltracking* und Verlust des Patellatrackings beruht und einen strukturierten Diagnose- und Therapiealgorithmus bei Patellainstabilität und Patellamaltracking geben soll (Frosch und Schmeling 2016).

Jedoch sind noch weitere klinische Studien notwendig mit dem Ziel, einen validen und reproduzierbaren Diagnose- und Behandlungsalgorithmus für die Behandlung der rezidivierenden Patellainstabilität zu entwickeln, der zum einen die zugrunde liegenden patientenindividuellen Pathologien erkennt und berücksichtigt, und der zum anderen eine patientenindividualisierte Therapie ermöglicht mit Adressierung der evaluierten patientenindividuellen Pathologien.

4. Literaturverzeichnis

- Alaia, Michael J.; Cohn, Randy M.; Strauss, Eric J. (2014): Patellar instability. In: *Bulletin of the Hospital for Joint Disease* (2013) 72 (1), S. 6–17.
- Amis, A. A.; Firer, P.; Mountney, J.; Senavongse, W.; Thomas, N. P. (2003): Anatomy and biomechanics of the medial patellofemoral ligament. In: *The Knee* 10 (3), S. 215–220.
- Amis, Andrew A. (2007): Current concepts on anatomy and biomechanics of patellar stability. In: *Sports medicine and arthroscopy review* 15 (2), S. 48–56. DOI: 10.1097/JSA.0b013e318053eb74.
- Amis, Andrew A.; Senavongse, Wongwit; Bull, Anthony M. J. (2006): Patellofemoral kinematics during knee flexion-extension. An in vitro study. In: *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society* 24 (12), S. 2201–2211. DOI: 10.1002/jor.20268.
- Atkin, D. M.; Fithian, D. C.; Marangi, K. S.; Stone, M. L.; Dobson, B. E.; Mendelsohn, C. (2000): Characteristics of patients with primary acute lateral patellar dislocation and their recovery within the first 6 months of injury. In: *The American journal of sports medicine* 28 (4), S. 472–479. DOI: 10.1177/03635465000280040601.
- Balcarek, Peter; Oberthür, Swantje; Hopfensitz, Stephanie; Frosch, Stephan; Walde, Tim Alexander; Wachowski, Martin Michael et al. (2014): Which patellae are likely to redislocate? In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 22 (10), S. 2308–2314. DOI: 10.1007/s00167-013-2650-5.
- Barber, F. Alan; McGarry, John E. (2008): Elmslie-Trillat procedure for the treatment of recurrent patellar instability. In: *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 24 (1), S. 77–81. DOI: 10.1016/j.arthro.2007.07.028.
- Becher, Christoph; Kley, Kristian; Lobenhoffer, Philipp; Ezechieli, Marco; Smith, Tomas; Ostermeier, Sven (2014): Dynamic versus static reconstruction of the medial patellofemoral ligament for recurrent lateral patellar dislocation. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 22 (10), S. 2452–2457. DOI: 10.1007/s00167-014-3020-7.
- Blauth, M.; Tillmann, B. (1983): Stressing on the human femoro-patellar joint. I. Components of a vertical and horizontal tensile bracing system. In: *Anatomy and embryology* 168 (1), S. 117–123.
- Caton, J. (1989): Méthode de mesure de la hauteur de la rotule. In: *Acta orthopaedica Belgica* 55 (3), S. 385–386.
- Caton, J.; Deschamps, G.; Chambat, P.; Lerat, J. L.; Dejour, H. (1982): Les rotules basses. A propos de 128 observations. In: *Revue de chirurgie orthopedique et reparatrice de l'appareil moteur* 68 (5), S. 317–325.
- Caton, J.; Mironneau, A.; Walch, G.; Levigne, C.; Michel, C. R. (1990): La rotule haute idiopathique chez l'adolescent. A propos de 61 cas opérés. In: *Revue de chirurgie orthopedique et reparatrice de l'appareil moteur* 76 (4), S. 253–260.

- Conlan, T.; Garth, W. P.; Lemons, J. E. (1993): Evaluation of the medial soft-tissue restraints of the extensor mechanism of the knee. In: *The Journal of Bone & Joint Surgery* 75 (5), S. 682–693.
- Cox, J. S. (1982): Evaluation of the Roux-Elmslie-Trillat procedure for knee extensor realignment. In: *The American journal of sports medicine* 10 (5), S. 303–310. DOI: 10.1177/036354658201000509.
- Curl, W. W.; Krome, J.; Gordon, E. S.; Rushing, J.; Smith, B. P.; Poehling, G. G. (1997): Cartilage injuries. A review of 31,516 knee arthroscopies. In: *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 13 (4), S. 456–460.
- Dejour, David; Le Coultre, Bertrand (2007): Osteotomies in patello-femoral instabilities. In: *Sports medicine and arthroscopy review* 15 (1), S. 39–46. DOI: 10.1097/JSA.0b013e31803035ae.
- Dejour, H.; Walch, G.; Neyret, P.; Adeleine, P. (1990): La dysplasie de la trochlée fémorale. In: *Revue de chirurgie orthopedique et reparatrice de l'appareil moteur* 76 (1), S. 45–54.
- Dejour, H.; Walch, G.; Nove-Josserand, L.; Guier, C. (1994): Factors of patellar instability. An anatomic radiographic study. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 2 (1), S. 19–26.
- Desio, S. M.; Burks, R. T.; Bachus, K. N. (1998): Soft tissue restraints to lateral patellar translation in the human knee. In: *The American journal of sports medicine* 26 (1), S. 59–65. DOI: 10.1177/03635465980260012701.
- Dickschas, Jörg; Harrer, Jörg; Reuter, Benoit; Schwitulla, Judith; Strecker, Wolf (2015): Torsional osteotomies of the femur. In: *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society* 33 (3), S. 318–324. DOI: 10.1002/jor.22758.
- Endres, Stefan; Wilke, Axel (2011): A 10 year follow-up study after Roux-Elmslie-Trillat treatment for cases of patellar instability. In: *BMC musculoskeletal disorders* 12, S. 48. DOI: 10.1186/1471-2474-12-48.
- Farahmand, F.; Senavongse, W.; Amis, A. A. (1998a): Quantitative study of the quadriceps muscles and trochlear groove geometry related to instability of the patellofemoral joint. In: *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society* 16 (1), S. 136–143. DOI: 10.1002/jor.1100160123.
- Farahmand, F.; Tahmasbi, M. N.; Amis, A. A. (1998b): Lateral force-displacement behaviour of the human patella and its variation with knee flexion--a biomechanical study in vitro. In: *Journal of biomechanics* 31 (12), S. 1147–1152.
- Farr, Sebastian; Huyer, Dominique; Sadoghi, Patrick; Kaipel, Martin; Grill, Franz; Ganger, Rudolf (2014): Prevalence of osteoarthritis and clinical results after the Elmslie-Trillat procedure. A retrospective long-term follow-up. In: *International orthopaedics* 38 (1), S. 61–66. DOI: 10.1007/s00264-013-2083-2.

- Feller, Julian Ashley; Amis, Andrew A.; Andrish, Jack T.; Arendt, Elizabeth A.; Erasmus, Pieter J.; Powers, Christopher M. (2007): Surgical biomechanics of the patellofemoral joint. In: *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 23 (5), S. 542–553. DOI: 10.1016/j.arthro.2007.03.006.
- Fithian, D. C.; Mishra, D. K.; Balen, P. F.; Stone, M. L.; Daniel, D. M. (1995): Instrumented measurement of patellar mobility. In: *The American journal of sports medicine* 23 (5), S. 607–615. DOI: 10.1177/036354659502300516.
- Frosch, K-H; Schmeling, A. (2016): A new classification system of patellar instability and patellar maltracking. In: *Archives of orthopaedic and trauma surgery* 136 (4), S. 485–497. DOI: 10.1007/s00402-015-2381-9.
- Fucentese, S. F. (2018): Patellainstabilität. In: *Der Orthopade* 47 (1), S. 77–86. DOI: 10.1007/s00132-017-3501-8.
- Goodfellow, J.; Hungerford, D. S.; Zindel, M. (1976): Patello-femoral joint mechanics and pathology. 1. Functional anatomy of the patello-femoral joint. In: *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 58 (3), S. 287–290.
- Hautamaa, P. V.; Fithian, D. C.; Kaufman, K. R.; Daniel, D. M.; Pohlmeier, A. M. (1998): Medial soft tissue restraints in lateral patellar instability and repair. In: *Clinical orthopaedics and related research* (349), S. 174–182.
- Hawkins, R. J.; Bell, R. H.; Anisette, G. (1986): Acute patellar dislocations. The natural history. In: *The American journal of sports medicine* 14 (2), S. 117–120. DOI: 10.1177/036354658601400204.
- Kaufer, H. (1971): Mechanical function of the patella. In: *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 53 (8), S. 1551–1560.
- Koëter, S.; Diks, M. J. F.; Anderson, P. G.; Wymenga, A. B. (2007): A modified tibial tubercle osteotomy for patellar maltracking. Results at two years. In: *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 89 (2), S. 180–185. DOI: 10.1302/0301-620X.89B2.18358.
- Koh, Jason L.; Stewart, Cory (2015): Patellar instability. In: *The Orthopedic clinics of North America* 46 (1), S. 147–157. DOI: 10.1016/j.ocl.2014.09.011.
- Krishna Kumar, Ms; Renganathan, Sankarram; Joseph, Clement J.; Easwar, Tr; Rajan, David V. (2014): Medial patellofemoral ligament reconstruction in patellar instability. In: *Indian journal of orthopaedics* 48 (5), S. 501–505. DOI: 10.4103/0019-5413.139864.
- Kuroda, R.; Kambic, H.; Valdevit, A.; Andrish, J. T. (2001): Articular cartilage contact pressure after tibial tuberosity transfer. A cadaveric study. In: *The American journal of sports medicine* 29 (4), S. 403–409. DOI: 10.1177/03635465010290040301.
- Lippacher, Sabine; Dreyhaupt, Jens; Williams, Sean R. M.; Reichel, Heiko; Nelitz, Manfred (2014): Reconstruction of the Medial Patellofemoral Ligament. Clinical Outcomes and Return to Sports. In: *The American journal of sports medicine* 42 (7), S. 1661–1668. DOI: 10.1177/0363546514529640.

- Lobner, Stefan; Krauss, Christine; Reichwein, Frank; Patzer, Thilo; Nebelung, Wolfgang; Venjakob, Arne J. (2017): Surgical treatment of patellar instability. Clinical and radiological outcome after medial patellofemoral ligament reconstruction and tibial tuberosity medialisation. In: *Archives of orthopaedic and trauma surgery* 137 (8), S. 1087–1095. DOI: 10.1007/s00402-017-2705-z.
- Lording, Timothy; Lustig, Sébastien; Servien, Elvire; Neyret, Philippe (2014): Chondral Injury in Patellofemoral Instability. In: *Cartilage* 5 (3), S. 136–144. DOI: 10.1177/1947603514530142.
- Luyckx, T.; Didden, K.; Vandenuecker, H.; Labey, L.; Innocenti, B.; Bellemans, J. (2009): Is there a biomechanical explanation for anterior knee pain in patients with patella alta? Influence of patellar height on patellofemoral contact force, contact area and contact pressure. In: *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 91 (3), S. 344–350. DOI: 10.1302/0301-620X.91B3.21592.
- Mäenpää, H.; Huhtala, H.; Lehto, M. U. (1997): Recurrence after patellar dislocation. Redislocation in 37/75 patients followed for 6-24 years. In: *Acta orthopaedica Scandinavica* 68 (5), S. 424–426.
- Magnussen, Robert A.; Simone, Vito de; Lustig, Sebastien; Neyret, Philippe; Flanigan, David C. (2014): Treatment of patella alta in patients with episodic patellar dislocation. A systematic review. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 22 (10), S. 2545–2550. DOI: 10.1007/s00167-013-2445-8.
- Mani, Saandeep; Kirkpatrick, Marcus S.; Saranathan, Archana; Smith, Laura G.; Cosgarea, Andrew J.; Elias, John J. (2011): Tibial tuberosity osteotomy for patellofemoral realignment alters tibiofemoral kinematics. In: *The American journal of sports medicine* 39 (5), S. 1024–1031. DOI: 10.1177/0363546510390188.
- Marcacci, M.; Zaffagnini, S.; Lo Presti, M.; Vascellari, A.; Iacono, F.; Russo, A. (2004): Treatment of chronic patellar dislocation with a modified Elmslie-Trillat procedure. In: *Archives of orthopaedic and trauma surgery* 124 (4), S. 250–257. DOI: 10.1007/s00402-003-0511-2.
- Mehta, Vishal M.; Inoue, Motoyasu; Nomura, Eiki; Fithian, Donald C. (2007): An algorithm guiding the evaluation and treatment of acute primary patellar dislocations. In: *Sports medicine and arthroscopy review* 15 (2), S. 78–81. DOI: 10.1097/JSA.0b013e318042b695.
- Mulliez, A.; Lambrecht, D.; Verbruggen, D.; van der Straeten, C.; Verdonk, P.; Victor, J. (2017): Clinical outcome in MPFL reconstruction with and without tuberositas transposition. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 25 (9), S. 2708–2714. DOI: 10.1007/s00167-015-3654-0.
- Nelitz, M.; Lippacher, S.; Reichel, H.; Dornacher, D. (2014): Evaluation of trochlear dysplasia using MRI. Correlation between the classification system of Dejour and objective parameters of trochlear dysplasia. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 22 (1), S. 120–127. DOI: 10.1007/s00167-012-2321-y.
- Neyret, Ph; Robinson, A. H. N.; Le Coultre, B.; Lapra, C.; Chambat, P. (2002): Patellar tendon length--the factor in patellar instability? In: *The Knee* 9 (1), S. 3–6.

- Ntagiopoulos, Panagiotis G.; Byn, Pieter; Dejour, David (2013): Midterm results of comprehensive surgical reconstruction including sulcus-deepening trochleoplasty in recurrent patellar dislocations with high-grade trochlear dysplasia. In: *The American journal of sports medicine* 41 (5), S. 998–1004. DOI: 10.1177/0363546513482302.
- Pandit, Salil; Frampton, Chris; Stoddart, Julian; Lynskey, Tim (2011): Magnetic resonance imaging assessment of tibial tuberosity-trochlear groove distance. Normal values for males and females. In: *International orthopaedics* 35 (12), S. 1799–1803. DOI: 10.1007/s00264-011-1240-8.
- Petri, M.; Falck, C. von; Broese, M.; Liodakis, E.; Balcarek, P.; Niemeyer, P. et al. (2013a): Influence of rupture patterns of the medial patellofemoral ligament (MPFL) on the outcome after operative treatment of traumatic patellar dislocation. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 21 (3), S. 683–689. DOI: 10.1007/s00167-012-2037-z.
- Petri, M.; Liodakis, E.; Hofmeister, M.; Despong, F. J.; Maier, M.; Balcarek, P. et al. (2013b): Operative vs conservative treatment of traumatic patellar dislocation. Results of a prospective randomized controlled clinical trial. In: *Archives of orthopaedic and trauma surgery* 133 (2), S. 209–213. DOI: 10.1007/s00402-012-1639-8.
- Redziniak, Daniel E.; Diduch, David R.; Mihalko, William M.; Fulkerson, John P.; Novicoff, Wendy M.; Sheibani-rad, Shahin; Saleh, Khaled J. (2009): Patellar Instability. In: *The Journal of Bone & Joint Surgery* 91 (9), S. 2264–2275.
- Rhee, Shin-Jae; Pavlou, George; Oakley, Jeremy; Barlow, David; Haddad, Farres (2012): Modern management of patellar instability. In: *International orthopaedics* 36 (12), S. 2447–2456. DOI: 10.1007/s00264-012-1669-4.
- Ries, Zachary; Bollier, Matthew (2015): Patellofemoral Instability in Active Adolescents. In: *The journal of knee surgery* 28 (4), S. 265–277. DOI: 10.1055/s-0035-1549017.
- Saranathan, Archana; Kirkpatrick, Marcus S.; Mani, Saandeep; Smith, Laura G.; Cosgarea, Andrew J.; Tan, Juay Seng; Elias, John J. (2012): The effect of tibial tuberosity realignment procedures on the patellofemoral pressure distribution. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 20 (10), S. 2054–2061. DOI: 10.1007/s00167-011-1802-8.
- Schoettle, Philip B.; Zanetti, Marco; Seifert, Burkart; Pfirrmann, Christian W. A.; Fucentese, Sandro F.; Romero, Jose (2006): The tibial tuberosity-trochlear groove distance; a comparative study between CT and MRI scanning. In: *The Knee* 13 (1), S. 26–31. DOI: 10.1016/j.knee.2005.06.003.
- Schöttle, P. B.; Weiler, A.; Romero, J. (2005): Rekonstruktion des Lig. patellofemorale mediale bei patellofemoraler Instabilität. In: *Arthroscopie* 18 (4), S. 293–300. DOI: 10.1007/s00142-005-0306-2.
- Schueda, Marco Antonio; Astur, Diego Costa; Bier, Rodrigo Schueda; Bier, Debora Schueda; Astur, Nelson; Cohen, Moisés (2015): Use of computed tomography to determine the risk of patellar dislocation in 921 patients with patellar instability. In: *Open access journal of sports medicine* 6, S. 55–62. DOI: 10.2147/OAJSM.S75243.
- Schünke, M. (2014): Topografie und Funktion des Bewegungssystems. Funktionelle Anatomie. 2. Auflage. Stuttgart: Thieme. S. 295.

- Senavongse, W.; Amis, A. A. (2005): The effects of articular, retinacular, or muscular deficiencies on patellofemoral joint stability. A biomechanical study in vitro. In: *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 87 (4), S. 577–582. DOI: 10.1302/0301-620X.87B4.14768.
- Senavongse, W.; Farahmand, F.; Jones, J.; Andersen, H.; Bull, A. M. J.; Amis, A. A. (2003): Quantitative measurement of patellofemoral joint stability. Force–displacement behavior of the human patella in vitro. In: *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society* 21 (5), S. 780–786. DOI: 10.1016/S0736-0266(03)00061-5.
- Singerman, R.; Davy, D. T.; Goldberg, V. M. (1994): Effects of patella alta and patella infera on patellofemoral contact forces. In: *Journal of biomechanics* 27 (8), S. 1059–1065.
- Song, Si Young; Kim, In Sung; Chang, Ho Geun; Shin, Jae-Hyuk; Kim, Hyung Jin; Seo, Young-Jin (2014): Anatomic medial patellofemoral ligament reconstruction using patellar suture anchor fixation for recurrent patellar instability. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 22 (10), S. 2431–2437. DOI: 10.1007/s00167-013-2730-6.
- Steensen, Robert N.; Bentley, Jared C.; Trinh, Thai Q.; Backes, Jeffrey R.; Wiltfong, Roger E. (2015): The prevalence and combined prevalences of anatomic factors associated with recurrent patellar dislocation. A magnetic resonance imaging study. In: *The American journal of sports medicine* 43 (4), S. 921–927. DOI: 10.1177/0363546514563904.
- Stephen, Joanna M.; Lumpaopong, Punyawan; Dodds, Alexander L.; Williams, Andy; Amis, Andrew A. (2015): The effect of tibial tuberosity medialization and lateralization on patellofemoral joint kinematics, contact mechanics, and stability. In: *The American journal of sports medicine* 43 (1), S. 186–194. DOI: 10.1177/0363546514554553.
- Tavernier, T.; Dejour, D. (2001): Imagerie du genou. Quel examen choisir? In: *Journal de radiologie* 82 (3 Pt 2), 387-405; 407-8.
- Tecklenburg, K.; Dejour, D.; Hoser, C.; Fink, C. (2006): Bony and cartilaginous anatomy of the patellofemoral joint. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA* 14 (3), S. 235–240. DOI: 10.1007/s00167-005-0683-0.
- Teitge, R. A.; Faerber, W. W.; Des Madryl, P.; Matelic, T. M. (1996): Stress radiographs of the patellofemoral joint. In: *The Journal of Bone & Joint Surgery* 78 (2), S. 193–203.
- Trillat, A.; Dejour, H.; Couette, A. (1964): DIAGNOSTIC ET TRAITEMENT DES SUBLUXATIONS R'ECIDIVANTES DE LA ROTULE. In: *Revue de chirurgie orthopedique et reparatrice de l'appareil moteur* 50, S. 813–824.
- van Haver, Annemieke; Roo, Karel de; Beule, Matthieu de; Labey, Luc; Baets, Patrick de; Dejour, David et al. (2015): The effect of trochlear dysplasia on patellofemoral biomechanics. A cadaveric study with simulated trochlear deformities. In: *The American journal of sports medicine* 43 (6), S. 1354–1361. DOI: 10.1177/0363546515572143.

Ward, Samuel R.; Powers, Christopher M. (2004): The influence of patella alta on patellofemoral joint stress during normal and fast walking. In: *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)* 19 (10), S. 1040–1047. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2004.07.009.

Ward, Samuel R.; Terk, Michael R.; Powers, Christopher M. (2007): Patella alta. Association with patellofemoral alignment and changes in contact area during weight-bearing. In: *The Journal of Bone & Joint Surgery* 89 (8), S. 1749–1755. DOI: 10.2106/JBJS.F.00508.

Waterman, Brian R.; Belmont, Philip J., JR; Owens, Brett D. (2012): Patellar dislocation in the United States. Role of sex, age, race, and athletic participation. In: *The journal of knee surgery* 25 (1), S. 51–57.

Wirth, T. (2011): Patellaluxationen. In: *Der Unfallchirurg* 114 (5), S. 388–395. DOI: 10.1007/s00113-011-1968-z.

Danksagung

Zunächst möchte ich mich bei Herrn Priv.-Doz. Dr. med. Wolfgang Nebelung für die Überlassung des Themas bedanken und dafür, dass er mir die Möglichkeit gegeben hat, diese Studie in seiner Klinik durchzuführen. Dann danke ich Herrn Priv.-Doz. Dr. med. Thilo Patzer, meinem Doktorvater, für die unkomplizierte Betreuung während der gesamten Promotionszeit. Weiter möchte ich mich ganz herzlich bei Frau Dr. med. Christine Krauß und Herrn Dr. med. Arne J. Venjakob für die intensive Betreuung und Unterstützung während der Datenauswertung und während des Verfassens und des Veröffentlichens meines Papers bedanken.

Natürlich danke ich auf diesem Wege auch allen Patienten, die bei dieser Studie mitgemacht haben und die es mir durch ihre Teilnahme ermöglicht haben, die Literatur zum Thema „Patellainstabilität“ um ein kleines Stück zu erweitern.

Mein Dank gilt auch Herrn Dr. Carlos J. Pestana PhD, der mir geduldig die Grundlagen des wissenschaftlichen Schreibens vermittelt hat und mir immer eine große Hilfe und Unterstützung bei allen Fragen zur englischen Sprache war.

Und schließlich danke ich von ganzem Herzen meiner Frau Christina und meinen Eltern Hanne und Peter für ihre unendliche und unbezahlbare Unterstützung, für all die Entbehrungen während der gesamten Promotionszeit, für den festen Glauben an mich und für das tiefe Vertrauen in mich und dafür, dass sie einfach immer für mich da sind, auf mich aufpassen und mir den Rücken freihalten – di cuore mille grazie per tutto !!!