

Fakultät für Medizin der Technischen Universität München

Der Einfluss von anatomischen Risikofaktoren auf das Behandlungsergebnis nach
Rekonstruktion des medialen patellofemorale Ligaments.

Kathrin Watermann

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München
zur Erlangung des akademischen Grades einer Doktorin der Medizin genehmigten Dissertation.

Vorsitzende/-r: Prof. Dr. Marcus Makowski

Prüfende/-r der Dissertation:

1. apl. Prof. Dr. Stephan Vogt
2. Prof. Dr. Sebastian Siebenlist

Die Dissertation wurde am 14.12.2021 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 12.07.2022 angenommen.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie
Klinikum rechts der Isar
Leiter: Univ.-Prof. Dr. A. Imhoff

**Der Einfluss von anatomischen Risikofaktoren auf das Behandlungsergebnis
nach Rekonstruktion des medialen patellofemorale Ligaments**

Kathrin Watermann

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität
München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Medizin

genehmigten Dissertation.

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG.....	5
1.1 Die Anatomie des patellofemorales Gelenks und seine Biomechanik.....	6
1.1.1 Faktoren der Instabilität des patellofemorales Gelenks.....	7
1.1.1.1 Statische Stabilisatoren (Knochengeometrie).....	7
1.1.1.2 Aktive Stabilisatoren (Muskulatur).....	8
1.1.1.3 Passive Stabilisatoren (Bänder und Kapsel).....	8
1.1.2 Die Interaktion der Stabilisatoren.....	9
1.2 Risikofaktoren für die patellofemorale Instabilität.....	10
1.2.1 Trochleadysplasie.....	10
1.2.2 Lateralisierung der Tuberositas tibiae.....	11
1.2.3 Patellahochstand.....	12
1.2.4 Femoraler Torsionsfehler und Achsenabweichungen.....	12
1.3 Behandlungsmethoden der patellofemorales Instabilität.....	13
1.3.1 Medialisierung der Tuberositas tibiae.....	14
1.3.2 Distalisierung des M. vastus medialis obliquus.....	15
1.3.3 Lateral Release.....	15
1.3.4 Trochleoplastik.....	16
1.3.5 Raffung des medialen patellofemorales Komplexes.....	16
1.3.6 MPFL-Plastik.....	17
1.3.7 Operative Modifikation der MPFL-Plastik.....	18
1.4 Fragestellung, Hypothesen und Ziele der vorliegenden Studie.....	19
2. MATERIAL UND METHODEN.....	20
2.1 Patientenkollektiv.....	20
2.1.1 Indikation zur Operationstechnik und Nachbehandlung.....	20
2.1.2 Ein- und Ausschlusskriterien.....	21
2.1.3 Patientenzahl, Geschlechts- und Altersverteilung.....	21
2.1.4 Untersuchungszeitraum.....	22
2.1.5 Risikofaktoren.....	22
2.1.6 Die Operationstechnik.....	23
2.2 Klinische Untersuchung.....	25
2.2.1 Klinische Untersuchung und Funktionstests am Kniegelenk.....	25
2.2.2 Scores	29
2.2.2.1 Lysholm-Score.....	29
2.2.2.2 Tegner-Score.....	29
2.3 Radiologische Untersuchung.....	30
2.3.1 Nativradiologie.....	30
2.3.2 MRT-Diagnostik.....	32
2.4 Statistische Auswertung der Ergebnisse.....	35
3. ERGEBNISSE.....	36
3.1. Klinische Untersuchung und Funktionstests am Kniegelenk.....	36
3.2. Radiologische Analyse der anatomischen Risikofaktoren.....	39
3.3. Präoperative und postoperative subjektive Outcome-Score.....	41
3.4. Korrelation zwischen den Outcomeparametern und den anatomischen Risikofaktoren.....	42

4. DISKUSSION	45
4.1. Der Einfluss von anatomischen Risikofaktoren auf die patellofemorale Stabilität.....	45
4.2. Der Einfluss von anatomischen Risikofaktoren auf die MPFL-Rekonstruktion.....	47
4.3. Der Stellenwert der isolierten und kombinierten MPFL Rekonstruktion in der patellofemorale Instabilität.....	49
4.4. Schlussfolgerung.....	53
5. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	54
6. LITERATURVERZEICHNIS	55
7. ANHANG	67

1. Einleitung

Die patellofemorale Instabilität ist ein schwerwiegendes Problem bei jungen und aktiven Patienten (Schneider 2016). Diese Pathologie wird durch die Parameter Bandfunktion, knöchernen Führung und Neuromuskulatur beeinflusst (Arendt 2002, Drez 2001, Farahmand 1998a, Senavongse 2005). Nichtoperative Behandlungsstrategien sind oft unzureichend (Camanho 2009, Larsen 1982). Deshalb wurden chirurgische Verfahren eingeführt, um diesen Patienten eine Teilnahme an sportlichen Aktivitäten zu ermöglichen.

Biomechanische Studien zeigten, dass das mediale patellofemorale Band (MPFL) eine Schlüsselrolle bei der Eindämmung der lateralen Patellaverlagerung spielt und für 50-60% der Stabilität verantwortlich ist (Amis 1993, Conlan 1993, Hautamaa 1998). Folglich entwickelte sich die Rekonstruktion des MPFL zum Goldstandard-Verfahren und zeigte als isolierte operative Intervention zufriedenstellende Ergebnisse (Ahmad 2009, Drez 2001, Christiansen 2008, Nomura 2000a, Nomura 2003, Schöttle 2009, Siebold 2010). Es gab jedoch Bedenken hinsichtlich anderer begleitender, meist knöcherner patellofemoraler Anomalien, die durch dieses Verfahren nicht mitbehandelt werden (Longo 2016, Schneider 2016, Tompkins 2015, Yeung 2016). Wiederkehrende Patellaluxationen nach der MPFL-Rekonstruktion wurden häufig durch diese nicht behandelten anatomischen Risikofaktoren erklärt und umfassen Rotations- und Achsfehlstellungen, die Trochleadysplasie, die Lateralisierung der Tuberositas tibiae, sowie die Patella alta (Longo 2016, Tompkins 2015). In diesem Zusammenhang wurden in den letzten Jahren häufiger kombinierte Verfahren durchgeführt (Longo 2016). Zusätzliche operative Verfahren sind jedoch mit einer erhöhten Morbidität verbunden und es lässt sich in der Literatur kein absoluter Hinweis finden, ab wann solche Verfahren angewendet werden sollten (Longo 2016, Schneider 2016, Tompkins 2015).

1.1 Die Anatomie des patellofemorales Gelenks und seine Biomechanik

Das Kniegelenk ist das komplexeste und am stärksten belastete Gelenk des menschlichen Körpers. Durch seinen anatomischen Aufbau ermöglicht es sowohl große Beweglichkeit als auch hohe Stabilität. Es ist aber auch das Gelenk, das am häufigsten von Verletzungen betroffen ist. Dies erklärt sich zum einen durch die relativ geringe Weichteildeckung und zum anderen durch die inkongruente Passform der miteinander artikulierenden Gelenkkörper und durch die langen Hebelarme, die das Kniegelenk verbinden (Grifka 2009). Es setzt sich aus mehreren Teilgelenken zusammen, dem medialen und lateralen Femorotibialgelenk und dem Femoropatellargelenk. Diese drei Teilgelenke umgibt eine gemeinsame große Gelenkkapsel.

Funktionell gesehen ist das Kniegelenk ein Drehscharniergelenk. Bei Flexion drehen die Femurkondylen zum einen auf dem Tibiaplateau, zum anderen rollen sie nach hinten ab, wodurch die Kontaktfläche der beiden Gelenkkörper bei zunehmender Flexion stetig abnimmt. Der dritte Gelenkpartner, die Patella, wandert bei Beugung des Knies circa 6 cm in ihrem Gleitlager, der Trochleagrube, nach kaudal (Schünke 2011).

Die Patella ist das größte Sesambein des menschlichen Körpers und befindet sich zwischen der Sehne des M. quadrizeps femoris und dem Lig. patellae. Sie hat die Funktion eines Hypomochlions, also einer Vergrößerung des muskulären Hebelarms der Oberschenkelmuskulatur. Durch die Patella werden die Kräfte des M. quadriceps femoris zentriert und über das Lig. patellae auf die Tuberositas tibiae übertragen. Ihre Rückfläche, die Facies articularis patellae, ist in eine mediale und laterale Facette aufgeteilt, die durch einen vertikalen First getrennt werden. Die Patellarückfläche ist mit dickem Knorpel überzogen, der die starke mechanische Belastung des Femoropatellargelenks dämpft (Grifka 2009).

1.1.1 Faktoren der Instabilität des patellofemorales Gelenks

Die Stabilität des patellofemorales Gelenks setzt sich aus drei Faktoren zusammen. Sie wird bestimmt durch die statischen Faktoren (Knochengeometrie), die passiven Faktoren (Bänder und Kapsel) und die aktiven Faktoren (Muskeln) (Conlan 1993, Senavongse 2005).

1.1.1.1 Statische Stabilisatoren (Knochengeometrie)

Zu den statischen Faktoren zählt die Gelenkgeometrie, vor allem die Morphologie der Trochlea und die Femurachse (Amis 2007). Bei der Trochlea stellt besonders die laterale Facette eine Barriere gegenüber dem ständig lateralisierenden Quadrizepsvektor dar. Die Knieposition ist für das Ausmaß der stabilisierenden Wirkung der Trochlea entscheidend. In voller Extension hat die Trochlea nur einen geringen Einfluss auf die Patellaführung, da sich hier die Patella proximal des trochlearen Gleitlagers befindet. Mit zunehmender Flexion, circa ab 20 °, gleitet die Patella in der Trochlea und wird dadurch zusätzlich gegen die Lateralisierung stabilisiert. Wenn bei einer Trochleadysplasie eine zu flache oder sogar konvexe Trochleaform vorliegt, fehlt die laterale Barriere und damit ein suffizientes Gleitlager. Deshalb wird eine zu geringe Trochleatiefe als Risikofaktor einer Instabilität gewertet (Dejour 1994, Maldague 1989).

Hinsichtlich der Achsgeometrie haben der Antetorsionswinkel des Femurs und eine valgische Achsabweichung des Kniegelenkes einen entscheidenden Einfluss auf die Stabilität des patellofemorales Gelenks. Bei einer erhöhten Antetorsion des Schenkelhalses bzw. vermehrter Innenrotation des Femurs oder auch bei valgischer Achsabweichung im Kniegelenk kommt es zu einer Medialisierung der Trochlea bzw. indirekter Lateralisierung der Patella. Somit liegt die Patella zwar im Zentrum der mechanischen Achse, aber auf Höhe des Kniegelenks lateral der Trochlea (Feller 2007, Post 2002). Auch diese anatomischen Gegebenheiten gelten somit als Risikofaktoren einer Patellainstabilität.

1.1.1.2 Aktive Stabilisatoren (Muskulatur)

Zu den aktiven Stabilisatoren zählt der M. quadriceps femoris, insbesondere der M. vastus medialis obliquus (VMO), der einer Lateralisation der Patella entgegenwirkt. Denn anatomisch ist die Patella durch den Quadrizeps-Winkel (Q-Winkel) zur Instabilität nach lateral prädisponiert. Dieser Winkel wird aus dem Gesamtvektor des M. quadriceps und dem Vektor der Patellasehne gebildet. Durch ihn kann man vor allem den auf das patellofemorale Gelenk ausgeübten Valgus-Moment bestimmen. Der Q-Winkel sollte nicht größer als 20° sein, je größer er ist, umso stärker ist die lateralisierende Kraft (Fulkerson 1990).

Der Ursprung des VMO befindet sich am Septum musculare mediale und er inseriert in das mediale Retinakulum, beziehungsweise an der medialen Patella-Facette (Colvin 2008, Farahmand 1998a). Er steht dort in enger anatomischer Beziehung zum medialen patellofemorale Ligament (MPFL) (Farahmand 1998a).

Es wird mittlerweile jedoch diskutiert, wie bedeutend der Anteil des VMO an der Stabilisation der Patella wirklich ist. Erst ab einer Flexion von 60° kann man beobachten, dass der VMO-Vektor eine stabilisierende Wirkung in der Transversalebene zeigt, die bei 90° am größten ist. In dieser Position befindet sich die Patella jedoch schon in der Notch und ist auch bei vorliegender Trochleadysplasie nicht mehr luxationsgefährdet (Ahmed 2000, Farahmand 1998b).

1.1.1.3 Passive Stabilisatoren

Von wesentlicher Bedeutung für die patellofemorale Stabilität sind die medialen passiven Stabilisatoren, insbesondere das MPFL (Amis 1993, Senavongse 2003). Da in voller Extension und leichtgradiger Flexion die Trochlea als stabilisierende Komponente fehlt, ist das MPFL in diesen Kniepositionen die wesentliche Struktur, die der Lateralisierung der Patella entgegenwirkt (Senavongse 2005, Smirk 2003).

Aber auch in höheren Flexionsgraden wirkt das MPFL weiterhin einer Lateralisierung der Patella entgegen.

Das MPFL verläuft fächerförmig vom medialen Epicondylus beziehungsweise vom Tuberculum adductorium zur medialen Patellafacette (Kang 2010, Nomura 2005, Smirk 2003).

Bei erstmaligen Patellaluxationen ist das MPFL zu 90%iger Wahrscheinlichkeit pathologisch verändert, wie klinische und radiologische Studien zeigten (Sallay 1996). Deswegen sieht man eine Verletzung oder Insuffizienz des MPFL als wesentliche Pathomorphologie für eine Patellaluxation an, ohne die eine Luxation fast unmöglich erscheint (Nomura 2005, Sallay 1996). Außerdem konnte bei chronischen bzw. rezidivierenden Luxationen eine Dysplasie des MPFL festgestellt werden (Nomura 1996). Ursächlich dafür wird eine Trochleadysplasie angesehen, bei der sich das MPFL nicht richtig entwickeln kann, da durch die proximolateralisierte Position der Patella das MPFL dauerhaft unter Zug steht (Bereiter 1994).

Die lateralen patellofemorale Band- und Kapselstrukturen sind für die Stabilität des patellofemorale Gelenks weniger bedeutsam. Sie leisten nur einen Anteil von 10% gegen die Lateralisierung der Patella (Desio 1998). Früher sah man ein zu straff gespanntes laterales Retinakulum als Grund für eine Patellalateralisierung an. Aufgrund biomechanischer Studien wird heutzutage jedoch davon ausgegangen, dass das laterale Retinakulum als letzte Barriere gegen die Lateralisierung dient, wenn die medialen Strukturen insuffizient sind. Somit würde eine Durchtrennung zu einer weiteren Verminderung der Stabilität führen (Desio 1998).

1.1.2 Die Interaktion der Stabilisatoren

Der Einfluss der unterschiedlichen Faktoren ist vom Flexionsgrad des Kniegelenks abhängig. Bei Flexionsgraden bis 20° wird die Stabilität hauptsächlich durch die passiven Faktoren (MPFL) bestimmt und ab 20°-60° vermehrt von den statischen Faktoren (Trochlea). Erst ab einem Flexionsgrad von 60° werden die aktiven

Stabilisatoren (VMO) bedeutsam, wenn sich die Patella in der distalen Trochlea befindet (Senavongse 2005).

1.2 Risikofaktoren für die patellofemorale Instabilität

1.2.1 Die Trochleadysplasie

Ein bedeutsamer Risikofaktor für eine patellofemorale Instabilität stellt die Trochleadysplasie dar. Mit einer Häufigkeit von 85-96% zeigt sie sich bei lateralen Patellaluxationen (Arendt 2002, Dejour 1994, Palmu 2008).

Die Dysplasie verhindert bei Beugung des Kniegelenkes ein regelrechtes Eintreten der Patella in den Sulcus und drückt sie so nach lateral und proximal (Schmeling 2010).

Eine Trochleadysplasie ist vorhanden, wenn der Trochleasulcuswinkel größer als 145° ist, beziehungsweise die Trochlea eine geringe bis fehlende Konkavität aufweist (Dejour 1990, Reynaud 1998). Eine Klassifikation zur Einteilung des Schweregrades der Dysplasie wurde von Dejour et al. entwickelt. Als Typ A wird eine Trochleadysplasie bezeichnet, die einen Sulcuswinkel von über 145° aufweist und somit abgeflacht ist. Wenn sich das Trochleagleitlager komplett flach darstellt, handelt es sich um einen Dysplasie Typ B. Zeigt sich eine asymmetrische Kondylenmorphologie, bei der die laterale Kondyle konvex ist und sich die mediale Kondyle hypoplastisch darstellt, wird dies als Typ C definiert. Als Typ D wird eine Trochleadysplasie bezeichnet, die eine asymmetrische Trochleafacette mit prominenter Knochenausziehung nach frontal in der sagittalen Ebene aufweist (Dejour 2007, Reynaud 1998).

Bei einer Trochleadysplasie ändern sich die Kinematiken des Kniegelenks soweit, dass es zu einer verminderten Stabilität, einem erhöhten Kontaktdruck und einer geringeren Kontaktfläche kommt (Dejour 2007, Senavongse 2005, van Haver 2015). Der Grad der Trochleadysplasie kann mithilfe axialer MRT-Aufnahmen und streng seitlichen Röntgen-Bildern objektiviert werden.

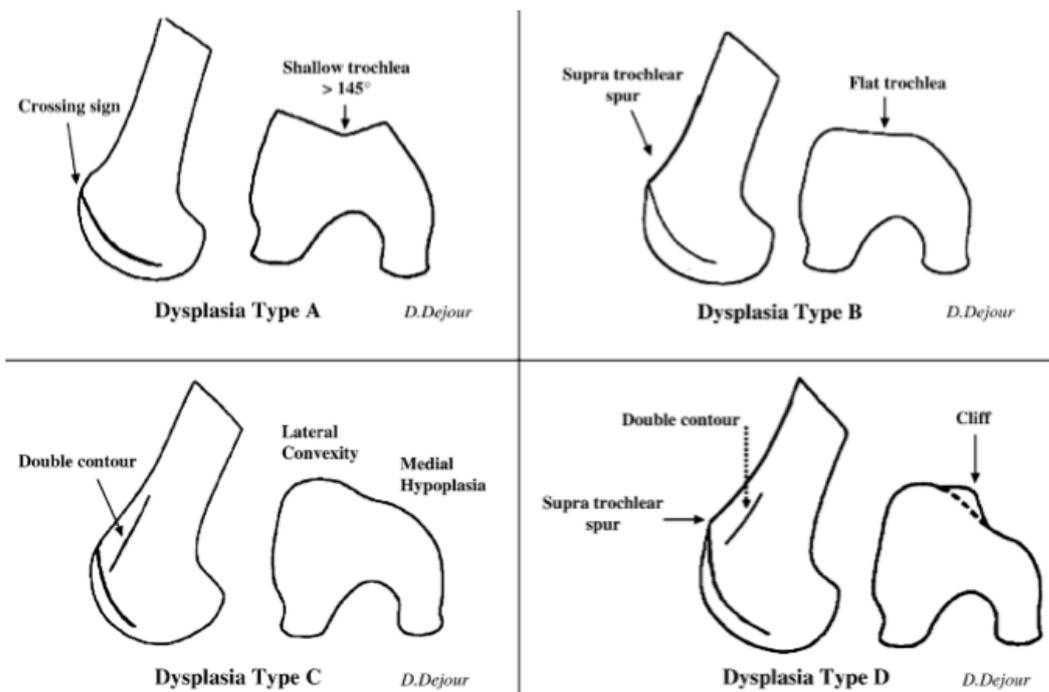


Abb.1: Einteilung der Trochleadysplasie in die Typen A-D nach Dejour [Dejour 2010]

1.2.2 Lateralisierung der Tuberositas tibiae

Zu den Risikofaktoren für eine patellofemorale Instabilität wird ebenso eine Lateralisierung der Tuberositas tibiae gezählt, die durch den TTTG- und den TTPCL-Abstand im MRT quantifiziert werden kann. Da die Lage der Tuberositas tibiae wesentlich den muskulären Kraftvektor, der auf die Patella einwirkt, beeinflusst, steht der TTTG für eine vermehrte Lateralisierungstendenz der Patella. Je weiter lateral die Tuberositas tibiae positioniert ist, desto stärker ist die Kraft auf die Patella, die diese während der Flexion nach lateral zieht (Diederichs 2010).

Den TTTG-Abstand beeinflussen jedoch durchaus noch weitere Faktoren. Eine Distanzerhöhung des TTTG kann auch in Verbindung mit einer vermehrten Außenrotation der Tibia auftreten (Muneta 1994). Außerdem ist der TTTG bei einer medialisierten Trochleagleitrinne vergrößert. Diese kann bei einer stärkeren femoralen Antetorsion oder bei einer Trochleadysplasie auftreten. Der tiefste Punkt der Trochlea ist hier nach medial verschoben (Balcarek 2010, Pfirrmann 2000).

Auch eine Valgusdeformität führt zu einem vergrößerten TTTG-Abstand (Schmeling 2010).

Das Messen des TTTG-Abstandes ist bei einer pathologischen Kniegeometrie daher oftmals schwierig. Um die laterale Position der Tuberositas tibiae unabhängig zu bewerten, wurde folgerichtig eine neue Messung von Seitlinger et al. beschrieben, die sich nicht auf den Trochleasulcus bezieht, sondern auf das hintere Kreuzband. In dieser Messung wird der TTPCL-Abstand („tibial tuberosity posterior cruciate ligament“) berechnet (Daynes 2016). Der TTPCL-Abstand ist eine alternative Methode zur Bestimmung der Lage der Tuberositas tibiae und besitzt eine höhere Reproduzierbarkeit (Seitlinger 2012).

1.2.3 Der Patellahochstand

Ein weiterer anatomischer Risikofaktor für eine erhöhte Instabilität des patellofemorales Gelenks ist ein Patellahochstand, eine sogenannte Patella alta (Dejour 1994). Die Patella liegt hierbei im Verhältnis zur Trochlea femoris weiter proximal. Dadurch artikuliert sie nur mit den flacheren Anteilen der proximalen Trochleagrube und ist somit weniger knöchern stabilisiert (Ward 2007).

Die Patellahöhe kann man auf einer seitlichen Röntgenaufnahme des Kniegelenks anhand des Caton-Deschamps-Index bestimmen (Caton 1982).

Es gibt noch weitere Methoden, um die Patellahöhe zu bestimmen, wie zum Beispiel den Insall-Salvati-Index und den Blackburne-Peel-Index (Phillips 2010).

1.2.4 Femoraler Torsionsfehler und Achsenabweichungen

Auch eine Torsionsabweichung des Femurs prädisponiert zur Patellaluxation (Lee 1994). Eine femorale Torsion ist die Verdrehung des Femurs zwischen seinem proximalen und distalen Ende. Der Winkel zwischen der horizontalen Ebene der

hinteren Kondylen und der Achse des Schenkelhalses wird als Antetorsionswinkel bezeichnet (Billing 1954).

Physiologisch ist beim Erwachsenen ein Wert von circa 12° . Das bedeutet, dass der Schenkelhals des Femurs gegenüber den Kondylen nach vorne verdreht ist. Es kommt somit zu einer physiologischen Innenrotation des Kniegelenks bei der Laufbewegung. Bei vergrößertem Antetorsionswinkel kommt es zu einer vermehrten Innenrotation des Kniegelenks bei der Laufbewegung und somit zu einem dynamisch erhöhten TTTG-Abstand bzw. zur Lateralisationstendenz der Patella (Schaller 2015).

Die Beinachse bzw. der Kniegelenkwinkel spielen ebenfalls eine wichtige Rolle im Rahmen der patellofemorale Stabilität und können anatomisch sowie mechanisch ermittelt werden. Die mechanischen Achsen von Femur und Tibia werden durch eine Ganzbeinaufnahme im a.-p. Strahlengang bestimmt. Der Grad der Fehlstellung bzw. der Kniegelenkwinkel ergibt sich aus dem Winkel zwischen mechanischer Femur- und Tibiaachse. Physiologisch ist ein neutraler bzw. leicht varischer Winkel ($0-1^\circ$). Besteht ein valgischer Winkel $> 2^\circ$ spricht man von einem manifesten Genu valgum und nimmt eine Auswirkung auf die Stabilität des patellofemorale Gelenkes an. Diese Auswirkung wird durch eine mediale Abweichung der Trochlea und laterale Abweichung der Tuberositas tibiae erklärt (Wirth 2005a).

1.3. Behandlungsmethoden der patellofemorale Instabilität

Bei einer Erstluxation der Patella kann primär eine konservative Therapie begonnen werden. Diese beinhaltet eine Kühlung und Ruhigstellung des Kniegelenks sowie Schmerztherapie und anschließende Physiotherapie (AWMF Leitlinie Nr.033/013). Man muss jedoch beachten, dass durch eine alleinige konservative Therapie eine anatomische Ursache der Luxation, wie z.B. eine Trochleadysplasie nicht beseitigt werden kann. In der Literatur wird eine Reluxationsrate nach erstmaliger Patellaluxation von bis zu 86% angegeben (Arendt 2002, Camanho 2009, Cofield 1977, Hawkins 1986, Maenpaa 1997, Spritzer 1997).

Deswegen tendiert man heutzutage zur operativen Versorgung von Patellaluxationen. So kann man neuerlichen Luxationen mit wahrscheinlich größerer Sicherheit vorbeugen und möglicherweise eine frühe Knorpeldegeneration durch erneute Luxationen verhindern (Hassenpflug 2005).

Ziel der operativen Therapie ist es, die patellofemorale Stabilität wiederherzustellen und die Physiologie und damit die Kinematik positiv zu verändern.

1.3.1 Die Medialisierung der Tuberositas tibiae

Eine Möglichkeit zur operativen Versorgung stellt die Medialisierung der Tuberositas tibiae dar. Es wird eine koronare Osteotomie der Tuberositas tibiae durchgeführt und diese anschließend nach medial, meist um circa 10-15mm, versetzt. An neuer Position wird sie mittels Schrauben fixiert (Hauser 1938, Roux 1888).

Hierbei wird die Zugrichtung des M. quadriceps verändert. Man möchte durch ein Realignement des Extensorenzuges eine Verringerung des Q-Winkels erreichen, sodass die Patella bei Kontraktion des Muskels in die Trochlea zurückgleitet und somit die Patellalateralisierung, beziehungsweise die Luxationstendenz, verringert wird. Da die Quadrizepsvektoren extensionsnah -also im Bereich wo viele Luxationen passieren- keine signifikante Patella Stabilisierung ermöglichen, ist in der Regel durch diese Maßnahme keine ausreichende Stabilisation im patellofemoralem Gelenk möglich (Aglietti 1994, Brown 1984).

Daher ist es entscheidend diesen Eingriff nur bei streng ausgewählten Patienten mit erhöhtem TTTG oder TTPCL und darauf zurückzuführender Instabilität der Patella durchzuführen. Diese Vorgabe wurde und wird nicht immer beachtet, sodass in der Literatur zum Teil nur eine Erfolgsquote von 65% hinsichtlich der Patellastabilisierung angegeben wird (Cohen 2003, Moller 1989, Nonweiler 1994).

1.3.2 Die Distalisierung des M. vastus medialis

Ein weiteres Operationsverfahren ist die Distalisierung des M. vastus medialis. Hierbei wird die Sehne des Muskels und der proximale Anteil des Ligamentum patellae dargestellt. Der Muskel wird am Ansatz der Patella abgetrennt und der dadurch entstandene Lappen wird mindestens 1 cm nach lateral gezogen, distalisiert und vernäht. Somit wird die Patella medialisiert und einer Luxation vorgebeugt. Oft wird diese Operation mit einem lateralen Release oder einer medialen Raffung kombiniert (Insall 1976, Insall 1983).

Da die Quadrizepsvektoren die Stabilität der Patella jedoch wie beschrieben erst ab 60° Kniebeugung beeinflussen ist eine ausreichende Stabilität oft nicht zu erreichen (Fondren 1985, Koskinen 1998, Radlo 1997).

1.3.3 Das laterale Release

Das *lateral release* ist eine Operationsmethode, bei der das laterale Retinakulum durchtrennt wird. Der Eingriff kann offen oder arthroskopisch durchgeführt werden. Das *lateral release* soll verhindern, dass das laterale Retinakulum einen zu hohen Zug aufbringt und damit lateralisierend auf die Patella wirkt. Jedoch hat das *lateral release* oft nur einen sehr geringen Einfluss auf die Stabilität der Patella (Betz 1988). Man hat sogar beobachtet, dass es in einem bereits instabilen Gelenk nach dieser Methode zum einen zu einer zusätzlichen medialen (Hughston 1988, Nonweiler 1994), zum anderen zu einer vermehrten lateralen Instabilität wegen einer abgeschwächten oder fehlenden lateralen Begrenzung kommen kann (Christoforakis 2006, Fithian 2004, Merican 2009). Außerdem wird angenommen, dass sich durch das *lateral release* der mediale patellofemorale Druck erhöht (Nomura 2005).

1.3.4 Die Trochleoplastik

Heutzutage wird eine Trochleoplastik vor allem bei einer Trochleadysplasie vom Typ C und D angeraten (Ryzek 2015).

Ziel der Trochleoplastik ist es, den Sulcus anatomischer zu gestalten, ihn aber zur Patella kongruent zu erhalten.

Bei der Technik nach Bereiter und Gautier wird eine Knorpel-Knochen-Schuppe in der Trochlea schrittweise abgehoben und eine subchondrale Gleitrinne geformt.

Daraufhin wird der abgehobene Knorpel an die veränderte Trochlea angepasst und an den Femurkondylen refixiert (Bereiter 1994).

Da die Trochleoplastik einen Knorpel Eingriff beinhaltet und deshalb ein hohes Risiko für folgende arthrotische Veränderungen darstellt, muss die Indikation zu diesem Verfahren äußerst streng gestellt werden (Petersen 2012). Er sollte nur angewendet werden, wenn durch andere Verfahren eine ausreichende Herstellung der Stabilität unwahrscheinlich ist.

1.3.5 Raffung des medialen patellofemoralen Komplexes

Um die medialen Faktoren der Patellastabilität wiederherzustellen, gibt es sowohl offene als auch arthroskopische Verfahren.

Bei der offenen Raffung des medialen patellofemoralen Komplexes wird ein Hautschnitt medial der Patella durchgeführt. Nachdem bis auf das mediale Retinakulum präpariert wurde, wird dieses einschließlich des M. vastus medialis abgetrennt. Anschließend wird alles auf der Patella vernäht und somit gerafft (Scuderi 1988).

Dadurch soll eine Umlenkung der Zugrichtung erreicht werden. Aus biomechanischer Sicht wird die Patella durch dieses Verfahren aber oftmals proximalisiert und nicht ausreichend medial stabilisiert. Dadurch kommt es zu einem erhöhten patellofemoralen Anpressdruck bei einer Flexion über 60°, was Schmerzen verursachen kann. Außerdem kann auch hier der Faserverlauf des M. vastus

medialis nicht verändert und die Stabilität erst ab 60° Flexion beeinflusst werden (Fondren 1985, Koskinen 1998).

Die erste arthroskopische Technik im Sinne einer Raffung bei akuter Patelladislokation wurde 1986 durch Yamamoto beschrieben (Yamamoto 1986). Bei der arthroskopischen Operationsmethode wird der Weichteilkomplex am Oberpol der Patella nach einer Stichinzision medial parapatellar mit einer Punktionskanüle durchstoßen. In dieser befindet sich ein zu einer Schlinge geformter resorbierbarer monofiler Faden. Jenseits der Rissstelle des medialen Retinakulums wird die Fadenschlinge aus dem Gelenk gezogen. Dieser Vorgang wird circa drei- bis fünfmal wiederholt. Die Fadenenden werden über einen kleinen Hautschnitt parapatellar an die Hautoberfläche gebracht. Dadurch entsteht eine U-Naht. Abschließend kontrolliert man unter arthroskopischer Sicht die Nahtspannung und verknotet die Fäden in Strecknähe (Rillmann 1999).

Die knöchernen patella- und femurnahen Avulsionen bzw. Rupturen können so allerdings nur schwer oder gar nicht erfasst werden. Ein weiterer Nachteil ist zudem, dass bei dieser Technik die resultierenden oder begünstigenden Pathomorphologien der Instabilität nicht berücksichtigt und behoben werden (Ahmad 2000, Halbrecht 2001, Haspl 2002, Rillmann 1999, Sallay 1996, Schäfer 1993).

1.3.6 Die MPFL-Plastik

Das MPFL gilt als primärer Stabilisator gegenüber der Lateralisation der Patella und ist bei einer Patellaluxation nahezu immer beschädigt (Amis 1993, Buckens 2010).

Eine relativ neue Methode der chirurgischen Therapie der Patellaluxation ist die Rekonstruktion dieses Ligaments. Verschiedene Techniken sind hierzu beschrieben worden (Nomura 2000a, Panagopoulos 2008, Smirk 2003).

Die MPFL-Plastik ist vor allem bei der rezidivierenden Luxation indiziert. Diese Operationstechnik kann sogar dann angewandt werden, wenn in vielen Fällen bereits aufgrund der rezidivierenden Luxationen ein Knorpelschaden vorhanden ist. Dieser wäre eine relative Kontraindikation für andere Verfahren, wie z.B. eine Trochleoplastik (Schöttle 2005a, Schöttle 2005b, Schöttle 2008a).

Außerdem muss die MPFL-Rekonstruktion oft als zusätzlich stabilisierendes Verfahren angewendet werden. Das MPFL ist zum Beispiel bei einer ausgeprägten Trochleadysplasie, welche mit einer medialen Hypoplasie einhergeht, insuffizient ausgebildet. Führt man nun zur Korrektur z. B. eine Trochleaplastik durch, sollte man häufig auch das insuffiziente MPFL rekonstruieren (Buckens 2010).

Zur Rekonstruktion des MPFLs wird häufig, auch in unserer Studie, als Transplantat die Gracilis-bzw. Semitendinosussehne verwendet. Diese Operationstechnik wird unter „Material und Methoden“ beschrieben.

Die Rekonstruktion des Bandes muss, in Anbetracht dessen, dass das MPFL weder an der Patella noch am Femur einen isometrischen Punkt besitzt, anatomisch erfolgen. Die Gefahr einer nicht anatomischen Rekonstruktion besteht in einer unphysiologischen Biomechanik, erhöhtem medialen patellofemoralem Drücken und der daraus resultierenden konstanten Fehlbelastung des Gelenks (Amis 1993, Smirk 2003, Steensen 2004).

Zwischenzeitlich konnte in einigen klinischen und biomechanischen Studien der therapeutische Vorteil der MPFL-Rekonstruktion gegenüber den bisher durchgeführten Eingriffen am Streckapparat bei niedriger Trochleadysplasie sowie normalem TTTG-Abstand gezeigt werden (Deie 2005, Drez 2001, Ellera 2004, Nomura 2000b).

1.3.7 Operative Modifikationen der MPFL-Plastik

Obwohl die oben genannte MPFL-Plastik unter Verwendung der Gracilis- bzw. Semitendinosus-Sehne gute Erfolge zeigt, publizieren einige Studien eine Komplikationsrate von bis zu 26% (Bollier 2011, Parikh 2013, Shah 2012).

Komplikationen treten vor allem bei Patienten auf, deren Skelett sich noch in der Wachstumsphase befindet. Zum Einen besteht ein höheres Frakturrisiko der Patella, da der patellare Knochentunnel in eine kleine Patella eingebracht werden muss. Zum anderen kann es durch die femorale Insertionsstelle zur Verletzung der femoralen Wachstumsfuge kommen (Fulkerson 2013, Goyal 2013).

In der Studie von Nemitz et al. wird daher eine Technik zur anatomischen Rekonstruktion des MPFL beschrieben, bei der ein flacher Teil der ipsilateralen Quadrizepssehnen als Transplantat verwendet wird. Bei dieser Operationstechnik wird ein flächiger Anteil der medialen Quadrizepssehne von proximal bis distal zur Patellaspitze präpariert, wird dann nach unten umgeschlagen und um 90° nach medial gelegt und femoral fixiert.

Mit dieser Technik kann ohne einen patellaren Knochentunnel und ohne ein femorales Bohrloch die Patella stabilisiert werden. Deswegen wird diese Operationstechnik vor allem bei Kindern mit offenen Wachstumsfugen verwendet (Nelitz 2014a).

1.4 Fragestellung, Hypothesen und Ziele der vorliegenden Studie

Die Rekonstruktion des MPFL entwickelte sich bei der operativen Versorgung der Patellainstabilität zum Goldstandard-Verfahren und zeigte als isolierte operative Intervention zufriedenstellende Ergebnisse (Ahmad 2009, Drez 2001, Christiansen 2008, Nomura 2000a, Nomura 2003, Schöttle 2009, Siebold 2010). Ob die isolierte MPFL-Rekonstruktion ohne Zusatzeingriffe auch bei Patienten mit patellofemorale Instabilität und Vorliegen von anatomischen Risikofaktoren ein überlegender Behandlungsansatz sein kann ist jedoch unklar.

In der vorliegenden Studie wurden daher Patienten nach isolierter MPFL-Rekonstruktion retrospektiv auf zusätzliche, anatomische patellofemorale Risikofaktoren untersucht, um mögliche Korrelationen mit den objektiven und subjektiven Ergebnissen zu finden. Mit dieser Studie soll geklärt werden, ob die Behandlung eines reinen weichteiligen Einflussfaktors (MPFL) bei patellofemorale Instabilität ausreicht, um gute klinische Ergebnisse zu erzielen oder ob andere anatomische Risikofaktoren die Ergebnisse negativ beeinflussen und ab welcher Ausprägung diese mitbehandelt werden sollten.

Hypothesen

Anatomische Risikofaktoren mit bestimmter Ausprägung haben keinen negativen Einfluss auf das Behandlungsergebnis nach isolierter Rekonstruktion des medialen patellofemorales Ligaments.

Die isolierte MPFL-Plastik ist ein suffizientes Verfahren zur Behandlung der multifaktoriellen patellofemorales Instabilität.

2. Material und Methoden

2.1 Patientenkollektiv

2.1.1 Indikation zur Operationstechnik und Nachbehandlung

Die Rekonstruktion des MPFL in der Technik nach Schöttle und Weiler wurde bei Patienten mit patellofemorales Instabilität und rezidivierenden Patellaluxationen durchgeführt (Schneider 2016). Alle Patienten wurden einem standardisierten Rehabilitationsprogramm unterzogen. Dazu gehörten eine zweiwöchige Teilbelastung mit Limitation des Bewegungsumfangs auf Flexion/Extension: 60°-0°-0°, sowie das Tragen einer Knieorthese für sechs Wochen und ein Muskelkrafttraining.

2.1.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Einschlusskriterien:

In die vorliegende Studie wurden alle Patienten aufgenommen, die in der sportorthopädischen Abteilung der Hessing Klinik Augsburg mittels isolierter MPFL-Rekonstruktion in *Aperture*-Technik von Juli 2012 bis Oktober 2015 versorgt wurden.

Ausschlusskriterien:

- Voroperationen im Kniegelenk
- Vorbestehende Bandinstabilität
- Meniskus-/Knorpelschäden
- Systemische Erkrankungen
- Zusatzeingriffe am betreffenden Kniegelenk

Die Zahl der ablehnenden, im Verlauf nicht mehr erreichbaren sowie aus anderen Gründen nicht an der Studie teilnehmenden Patienten wurde erfasst.

2.1.3 Patientengut, Geschlechts- und Altersverteilung

Im Zeitraum vom 17.07.2012 bis zum 19.11.2015 wurden 119 Patienten in der Hessing Klinik Augsburg mit einer MPFL-Rekonstruktion in *Aperture*-Technik versorgt. Von den ursprünglichen 119 Patienten konnten 52 Patienten (52/119 = 44%) in die retrospektive klinische Studie mit einer minimalen Nachbeobachtungszeit von 24 Monaten (24-36 Monate) eingeschlossen werden. Davon waren 29 Teilnehmer (29/52 = 56%) Männer und 23 Teilnehmer (23/52 = 44%) Frauen. Das ergibt ein Geschlechterverhältnis von 1,3:1.

Die 67 Patienten, die nicht in die Studie eingeschlossen wurden, zeigten entweder einen der oben genannten Ausschlusskriterien oder lehnten die Teilnahme aus verschiedenen, persönlichen Gründen ab.

Das Durchschnittsalter lag geschlechtsunabhängig bei $26 \pm 4,2$ Jahren zum Zeitpunkt der Operation. Das Alter reichte von 16 bis 71 Jahren.

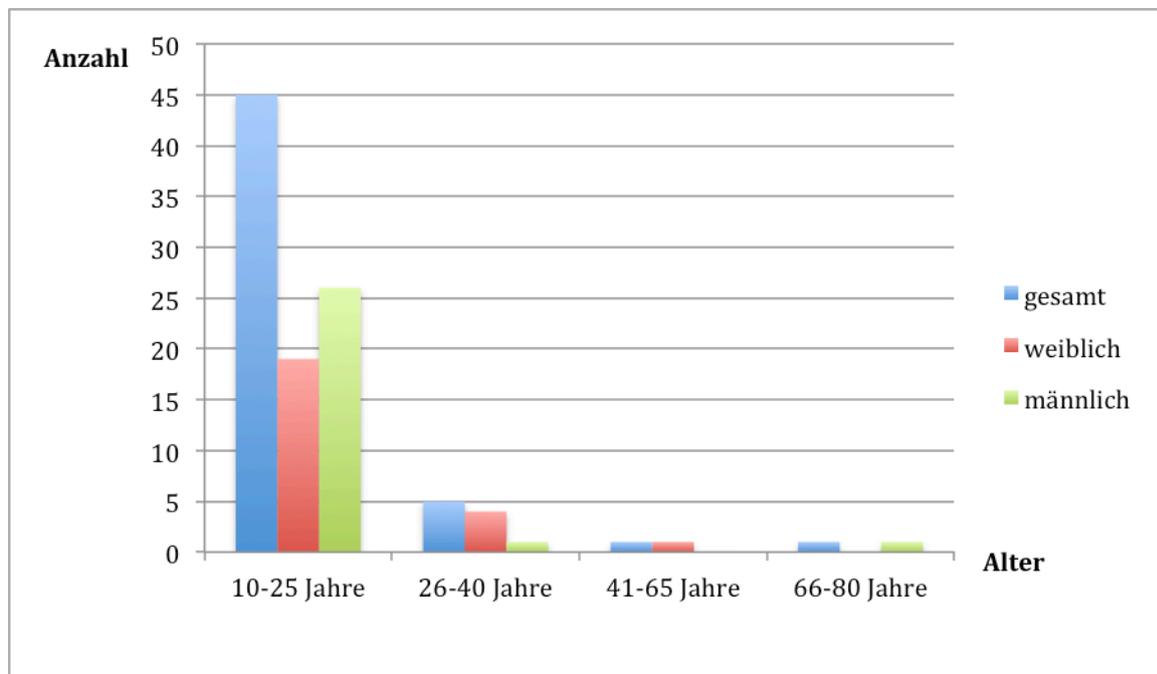


Diagramm 1: Geschlechts- und Altersverteilung

2.1.4 Untersuchungszeitraum

Der Nachuntersuchungszeitraum wurde auf 24-36 Monate postoperativ festgelegt. Präoperative und radiologische Daten wurden aus den Patientenakten entnommen.

2.1.5 Risikofaktoren

Als relevant für diese Erhebung wurden folgende anatomische Risikofaktoren gewertet:

- die Trochleadysplasie nach Dejour
- die Patella alta/baja nach dem Caton-Deschamps-Index

- die Tuberositaslateralisierung durch den TTTG- und TTPCL-Abstand
- der mechanische Kniegelenkwinkel
- die femorale Antetorsion

2.1.6 Die Operationstechnik

In der orthopädischen Abteilung, in der unsere Studie durchgeführt wurde, erfolgte die Rekonstruktion des MPFL nach der *double-bundle* Technik von Schöttle et al. mit *aperture* Fixation unter Verwendung eines M. Gracilis-Sehnen-Autografts.

Die Sehnenentnahme erfolgt über einen Zugang medial der Tuberositas tibiae. Dabei wird zunächst die Sehne des M. gracilis an seiner Insertion am Pes anserinus aufgesucht, vom Knochen abgesetzt und mithilfe eines Sehnenstrippers entnommen. Diese wird anschließend präpariert und deren beide freie Enden armiert.

Nach einem circa 2 cm langen Hautschnitt entlang des proximalen medialen Patelladrittels werden nun an der anatomischen MPFL-Insertionsstelle an der Patella zwei Bohrkanäle angefertigt, den ersten in die proximomediale Ecke der Patella und den zweiten 15-20 mm distal davon. Daraufhin wird die anatomische Schicht des MPFL zwischen der zweiten und dritten Schicht des medialen patellofemorales Komplexes bis zum femoralen Insertionsbereich präpariert und somit ein Tunnel für das Transplantat geschaffen. Schließlich unterfährt man den präparierten Tunnel mit einem Overhold. Zur Darstellung der femoralen Insertionsstelle distal des Tuberculum adductorium und superoposterior des medialen Epicondylus femoris wird die Haut in 30° Knieflexion über der Overholdspitze inzidiert. Mittels des Overholds wird nun eine Fadenschlinge zwischen den zuvor präparierten Schichten nach patellar durchgezogen.

Als nächstes wird ein Zieldraht mit Öse im Bereich der femoralen Insertionsstelle unter Bildwandlerkontrolle im streng seitlichen Röntgenstrahl positioniert und mit einem Bohrer bis zur Gegenkortikalis überbohrt (Schöttle 2008b).

Der Insertionspunkt liegt zum einen anterior der Verlängerung der posterioren Kortikalis, zum anderen befindet er sich zwischen zwei Senkrechten auf die Kortikalisverlängerung: Die erste verläuft durch den Hinterrand des medialen

Femurkondylus, die zweite durch den hintersten Punkt der Blumensaat-Linie (Schöttle 2007).

Zur patellaren Fixation werden nun die Transplantatenden in die Bohrlöcher an der Patella eingebracht und mittels bioresorbierbarer Schrauben fixiert. Dadurch entsteht eine 2-Bündel-Konstruktion. Mit Hilfe des vorgelegten Fadens zieht man die Transplantatschlinge durch die zweite Schicht des medialen patellofemorales Komplexes zur femoralen Insertion. Dort wird das Transplantat in 30° Knieflexion in das Bohrloch eingezogen und mittels bioresorbierbarer Interferenzschraube ohne Spannung fixiert. Dabei muss darauf geachtet werden, dass die laterale Patellafacette und der laterale Femurkondylenrand unter Vorspannung auf einer Ebene liegen. Abschließend wird das Knie hinsichtlich des Bewegungsumfanges und der Patellalateralisation überprüft (Schöttle 2008b).



Abb.2: Patellare Bohrdrahtplatzierung (Eigentum der Hessing Klinik Augsburg, 2018)



Abb.3: Fixierung mit „Swive-Lock“-Anker (Eigentum der Hessing Klinik Augsburg, 2018)



Abb.4a) Femorale Fixation

(Eigentum der Hessing Klinik Augsburg, 2018)

b) Schematische Darstellung

des Operationsergebnisses

(Schöttle 2008b)

2.2 Klinische Untersuchung

2.2.1 Klinische Untersuchung und Funktionstests am Kniegelenk

Die Patienten wurden von einer Doktorandin unter Aufsicht eines Facharztes für Orthopädie und Unfallchirurgie am operierten Kniegelenk untersucht.

Als erstes wurden die Patienten bezüglich eines Schmerz- bzw. Instabilitätsgefühls im Kniegelenk befragt.

Daraufhin folgte die Inspektion, Palpation und Funktionsprüfung des betroffenen Kniegelenks.

Funktionell wurde der Bewegungsumfang im Kniegelenk nach der Neutral-Null-Methode bestimmt, der retropatellare Anpressschmerz getestet, der laterale Apprehension-Test untersucht und die femorale Antetorsion ausgemessen.

Inspektion:

Bei der Inspektion wurden allgemeine Entzündungszeichen wie Rötung und Schwellung dokumentiert. Des Weiteren wurden Atrophiezeichen der Muskulatur überprüft und die durch die MPFL-Rekonstruktion entstandenen Narben beurteilt.

Palpation:

Bei der Palpation wurden weitere Entzündungszeichen wie ein Erguss oder eine Überwärmung untersucht. Außerdem wurde eine Druckschmerzhaftigkeit am bzw. im patellofemorale Gelenk und im Verlauf des rekonstruierten MPFL dokumentiert.

Funktionstests:

Bewegungsumfang:

Der Bewegungsumfang des Kniegelenks hinsichtlich Flexion und Extension wurde nach der Neutral-Null-Methode bestimmt. Dazu befindet sich der Patient in Rückenlage. Das Kniegelenk wird nun vom Patienten maximal gebeugt und der entsprechende Winkel mit einem Goniometer vom Untersucher gemessen, der bei Flexion physiologisch zwischen 120° und 150° liegen sollte. Ebenso wird der Winkel in entspannter Lage des Kniegelenks bestimmt. Durch aktive Streckung Gelenk wird als letztes der Winkel in Extensionsstellung gemessen, der zwischen 0° und 10° als physiologisch zu werten ist (Wirth 2005b).

Retropatellarer Anpressschmerz:

Der retropatellare Anpressschmerz, auch Zohlen-Zeichen genannt, wird ebenfalls in Rückenlage des Patienten getestet. Das zu testende Kniegelenk liegt entspannt. Der Untersucher fixiert mit seinem Daumen und Zeigefinger die Patella an ihrem Oberrand und kaudalisiert sie. Er bittet den Patienten, seinen M. quadriceps femoris, den für die Kniestreckung zuständigen Muskel, vorsichtig anzuspannen. Dabei kann es nun zu einem retropatellaren Anpressschmerz (Zohlen-Zeichen positiv) kommen, z.B. bei Knorpelläsionen oder patellofemorale Drucküberlastung (Wirth 2005b).



Abb.5: Das Zohlen-Zeichen (Pförringer 2005)

Lateraler Apprehension-Test:

Bei der Untersuchung der Verschieblichkeit der Patella nach lateral, auch „Apprehension“-Zeichen genannt, liegt der Patient in Rückenlage mit entspannter Quadrizepsmuskulatur und Extension im Kniegelenk. Der Untersucher versucht mit seinem Zeigefinger und Daumen die Patella nach lateral zu drücken. Dieser Test wird in 0° , 30° und 60° Knieflexion durchgeführt. Verspürt der Patient dabei eine Luxationsangst und/oder spannt reflektorisch die Muskulatur an, fällt der Test positiv aus. Da die patellofemorale Stabilität je nach Flexionsgrad von verschiedenen Faktoren bestimmt wird, kann man durch den Test auf die vorliegende Pathomorphologie schließen. Ein positiver Test zwischen 0° und 30° spricht eher für eine Insuffizienz der passiven Stabilisatoren, ein positiver Test zwischen 30° und 90° kann auch durch statische Komponenten wie Trochleadysplasie, Valgusfehlstellung und Femurinnenrotation beeinflusst werden (Berrsche 2015).

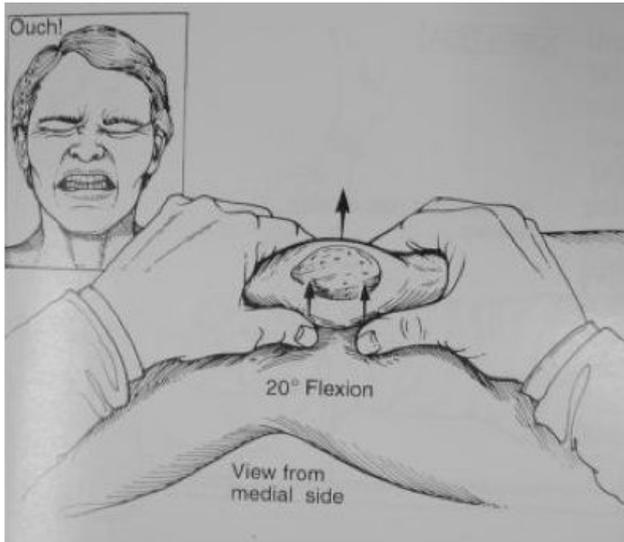


Abb. 6: Apprehension-Zeichen (Tanner 2003)

Femorale Antetorsion:

Die Femorale Antetorsion wurde klinisch in Bauchlage des Patienten bestimmt. Das Hüftgelenk befindet sich in Extension, das Kniegelenk in 90° Flexion.

Nun wird der Trochanter major getastet, in welcher Innendrehstellung des Beines er am prominentesten an der Femuraußenseite zum Vorschein kommt. Die Innendrehung des Beines wird mit einem Goniometer bestimmt, das den Winkel zwischen der Vertikalen und des nach außen abweichenden Unterschenkels misst, der wie ein Zeiger fungiert. Die Innendrehung entspricht dann anhaltsmäßig der femoralen Antetorsion (Netter 1940).

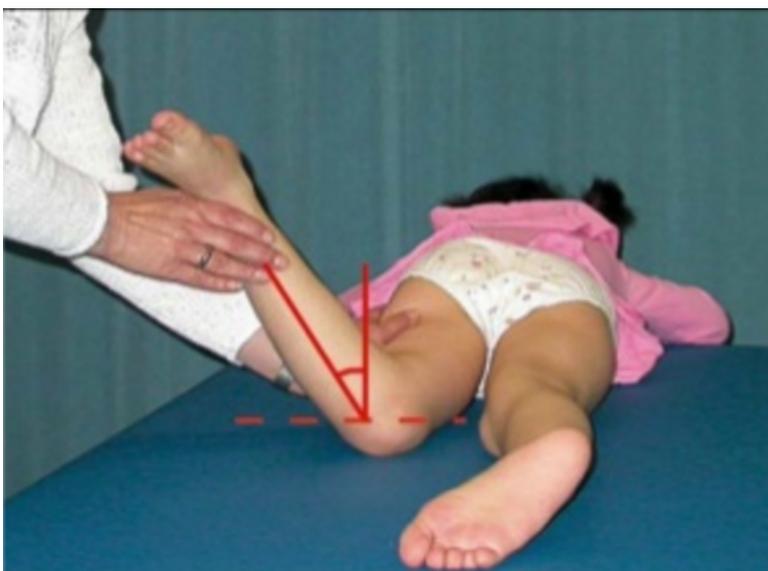


Abb. 7: Klinische Bestimmung der femoralen Antetorsion (Westhoff 2007)

2.2.2 Scores

Zusätzlich zur klinischen Untersuchung wurden den Patienten zwei Fragebögen ausgehändigt, welche sie retrospektiv hinsichtlich der prä- und postoperativen Situation am Kniegelenk ausfüllen sollten. Diese bestanden aus subjektiven Scores, dem Lysholm- und dem Tegner-Score, welche zur weiteren Beurteilung der Kniefunktion herangezogen wurden.

2.2.2.1 Lysholm-Score

Beim Lysholm & Gillquist „Score“ handelt es sich um einen acht Fragen umfassenden Dokumentationsbogen zur Beurteilung der Funktionalität des Kniegelenks, bei welchem maximal 100 Punkte zu erreichen sind. Hier werden verschiedene Aspekte, die bei patellofemorale Instabilität zu werten sind, berücksichtigt und unterschiedlich schwer gewichtet. Er umfasst die Kategorien Hinken, Belastung, Blockierung, Instabilität, Schmerzen, Schwellung, Treppensteigen und Hocken (siehe Anhang 1) (Tegner 1985).

2.2.2.2 Tegner-Score

Der Tegner-Score stellt einen Aktivitäts-Score dar, mit dem sich das Aktivitätslevel der Patienten untersuchen lässt (Tegner 1985). Die Skala ist in elf Stufen unterteilt und reicht von 0 bis maximal 10 Punkten. Der Score beinhaltet sportliche und berufliche Belastungsniveaus. Zur besseren Verwertbarkeit wurde hier auf eine deutsche Version zurückgegriffen (siehe Anhang 2) (Wirth 2013).

Bei der beruflichen Belastung reicht die Skala von arbeitsunfähig bis hin zu schwerer körperlicher Arbeit. Die sportlichen Aktivitäten bewegen sich in einem Bereich von

eingeschränktem Gehen bis hin zu Wettkampfsport auf nationalem bzw. internationalem Niveau. Ein niedriges Ergebnis bedeutet also ein niedriges Aktivitätsniveau.

Die Patienten sollten jeweils ein Level bestimmen, auf dem sie sich prä- bzw. postoperativ befinden.

2.3 Radiologische Untersuchung

Zur radiologischen Analyse der Pathologien der betreffenden unteren Extremität wurden die präoperativen radiologischen Daten aus den Patientenakten verwendet. In der patellofemorale Bildgebung wurde auf das konventionelle Röntgen sowie die Magnetresonanztomographie (MRT) zurückgegriffen.

2.3.1 Nativradiologie

Es wurden einfache Röntgenaufnahmen des Kniegelenks im direkt seitlichen und axialen (Merchant-Aufnahme, 45°) Strahlengang sowie a.p.-Röntgenaufnahmen entlang der Beinachse (Ganzbeinaufnahme) analysiert. Anhand dieser wurde die Patellahöhe nach dem Caton-Deschamps-Index, die trochleare Dysplasie nach Dejour et al. und die Beinachse bestimmt (Grifka 2009, Schünke 2011).

Patellahöhe

Für die Bestimmung der Patellahöhe wurden streng seitliche Aufnahmen verwendet. Die Patellahöhe wurde anhand des Caton-Deschamps-Index bestimmt, der sich wie folgt berechnet:

Caton-Deschamps-Index = AT/PA

Die Strecke vom distalen Pol der Patellagelenkfläche bis zur vorderen oberen Tibiagrenze wird im oben genannten als AT, die Länge der Patellagelenkfläche als PA bezeichnet (Abbildung 9). Bei einem Index-Wert zwischen 0,6 und 1,2, wurde eine Patella norma diagnostiziert. Ab Werten gleich oder größer 1,2 lag eine Patella alta vor. Bei Werten unter 0,6 wurde eine Patella baja angenommen (Caton 2010).

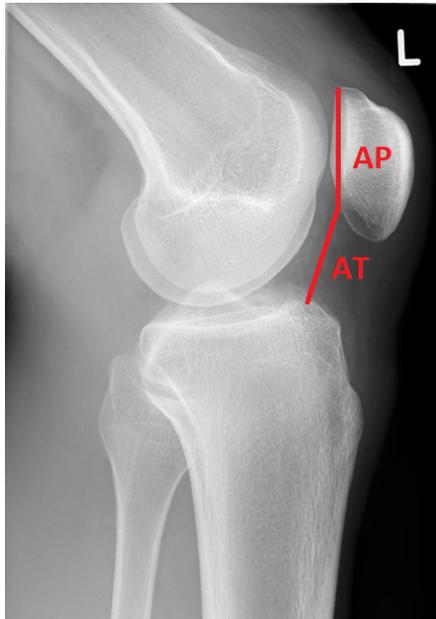


Abb.8: Patellahöhenindex nach Caton und Deschamps (Eigentum Hessing Klinik, 2020)

Beinachse

Die mechanische Achse von Femur und Tibia wurden durch eine Ganzbeinaufnahme im a.-p. Strahlengang bestimmt. Die mechanische Achse des Femurs misst man mit einer Linie vom Mittelpunkt des Femurkopfes bis zum Mittelpunkt des Kniegelenkes. Die mechanische Achse der Tibia mit einer zweiten Linie vom Mittelpunkt des Kniegelenkes bis zu der distalen Tibiagelenkfläche. Der Grad der Fehlstellung bzw. der Kniegelenkwinkel ergibt sich aus dem Winkel zwischen mechanischer Femur- und Tibiaachse. Physiologisch ist ein neutraler bzw. leicht varischer Winkel (0-1°). Besteht ein valgischer Winkel $> 2^\circ$ spricht man von einem manifestem Genu valgum (Wirth 2005a).

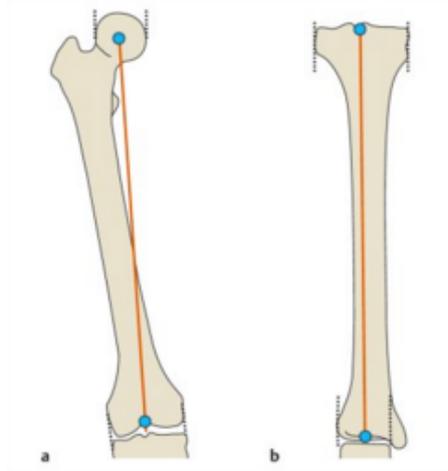


Abb. 9: mechanische Achsen der unteren Extremität **a.** Femur **b.** Tibia (Waldt 2011)

2.3.2 MRT-Diagnostik

Als weitere radiologische Bildgebung wurden präoperativ angefertigte MRT-Bilder des Kniegelenkes analysiert. Diese wurden zur Verifizierung der trochlearen Dysplasie, zur Bestimmung des TTTG- und TTPCL-Abstandes und zur Analyse der Rupturlokalisierung des MPFL verwendet.

Trochleare Dysplasie

Für die Verifizierung der Trochleadysplasie wurden axiale MRT-Aufnahmen herangezogen. Bei den Bildern wurde der am weitesten proximal gelegen kraniokaudale Schnitt verwendet, auf dem der Knorpel die gesamte Trochleabreite bedeckt. Die Klassifizierung erfolgte nach dem System von D.Dejour (Dejour 2007, Reynaud 1998).

Eine Trochleadysplasie Grad A zeigt sich in dieser Klassifikation, wenn die Trochlea im MRT mit einem Sulcuswinkel von $>145^\circ$ abgeflacht, aber trotzdem noch symmetrisch und konkav ist.

Ein Grad B liegt vor, wenn die Gelenkfläche flach oder konvex ist.

Eine Dysplasie Grad C ist durch eine asymmetrische, lateral konvexe und medial hypoplastische Trochleafläche gekennzeichnet.

Grad D zeigt eine asymmetrische Trochlea mit einem Vorsprung (Dejour 2010, Lippacher 2012).

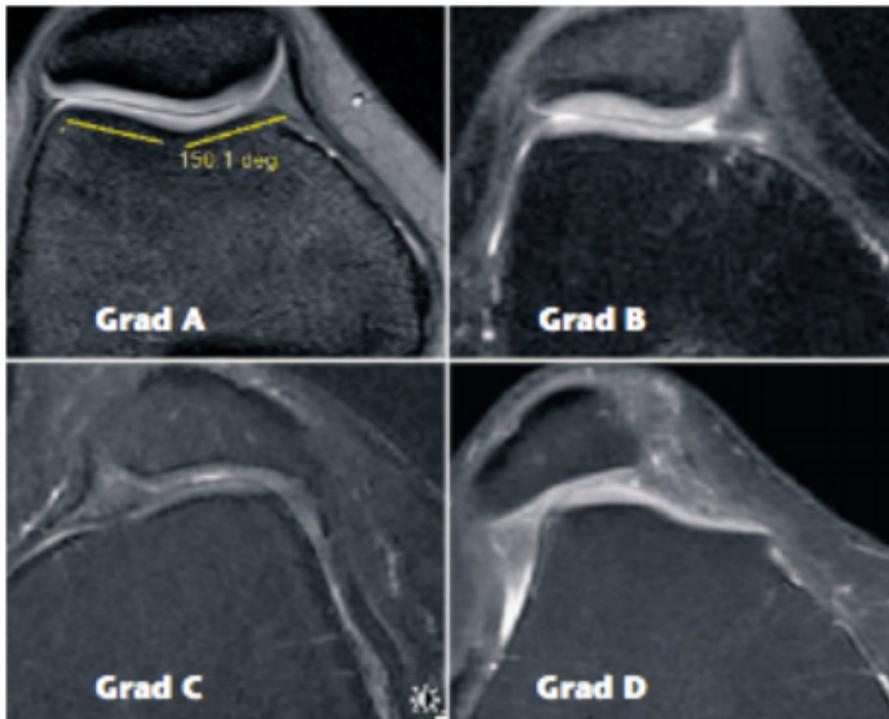


Abb.10: Trochleadysplasien in axialen MRT-Schnittbildern (von Engelhardt 2015)

TTTG und TTPCL

Mithilfe axialer Schnittbilder wurde der „tuberositas tibiae-trochlear groove“-Abstand (TTTG-Abstand) gemessen. Der TTTG-Abstand zeigt das Ausmaß der lateralen Deviation der Tuberositas tibiae. Zur Messung wurden zwei axiale übereinanderprojizierte Schichten verwendet. Die erste Schicht wurde als der Bereich definiert, in dem die Trochlea zum ersten Mal komplett mit Knorpel bedeckt ist. Die zweite Schicht zeigte den am weitesten kranial gelegenen Punkt der Tuberositas tibiae, an dem das Ligamentum patellae inseriert. Der Abstand zwischen dem tiefsten Trochleapunkt und dem Tuberositaszentrum wird in Referenz zur posterioren Kondylenlinie, also einer Tangente zu beiden Femurkondylen,

gemessen, indem jeweils eine Senkrechte durch den tiefsten Punkt der Trochlea und das Zentrum des Patellasehnenansatzes gezogen wird. Der Abstand dieser beiden Linien wurde dokumentiert. Normalwerte des TTTG liegen zwischen 12-15mm. Dejour, Walch et al. bestimmten in ihrer Studie 1994 einen Grenzwert für den TTTG-Abstand von 20 mm. Abstände ≥ 20 mm wurden als pathologisch klassifiziert (Dejour 1994).

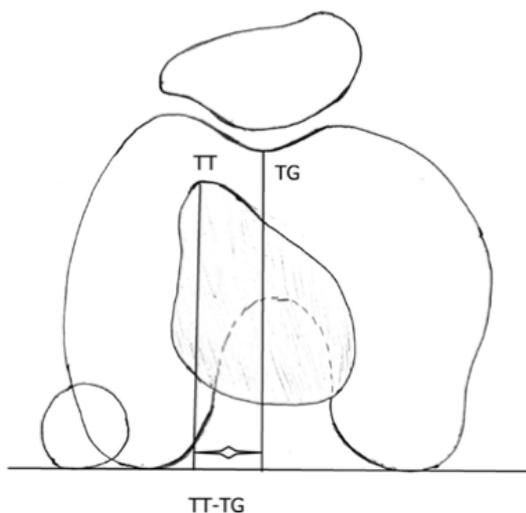


Abb.11: Bestimmung des TTTG-Abstandes (Henrikus 2013)

Des Weiteren wurde der TTPCL-, der „tibial tuberosity-posterior cruciate ligament“-Abstand bestimmt, um die laterale Position der Tuberositas tibiae unabhängig von der „trochlea groove“ zu bewerten. Auch hier wurden zwei übereinanderprojizierte axiale Schnittbilder verwendet. Als Referenzlinie wurde ebenso eine Linie tangential zu den posterioren Kondylen gezogen. Als TT-Punkt wurde wie beim TTTG-Abstand der höchste Punkt der Tuberositas tibiae bestimmt, an dem das Ligament inseriert. Der PCL-Punkt wurde definiert als Punkt am medialer Rand des hinteren Kreuzbandes im distalsten Schnitt, auf dem das Band noch eindeutig zu identifizieren ist. Der Abstand zwischen den zwei Senkrechten, die von TT-Punkt und PCL-Punkt zur Referenzlinie gezogen werden, stellt den TTPCL-Abstand dar. Werte ≥ 24 mm gelten als pathologisch (Daynes 2016).

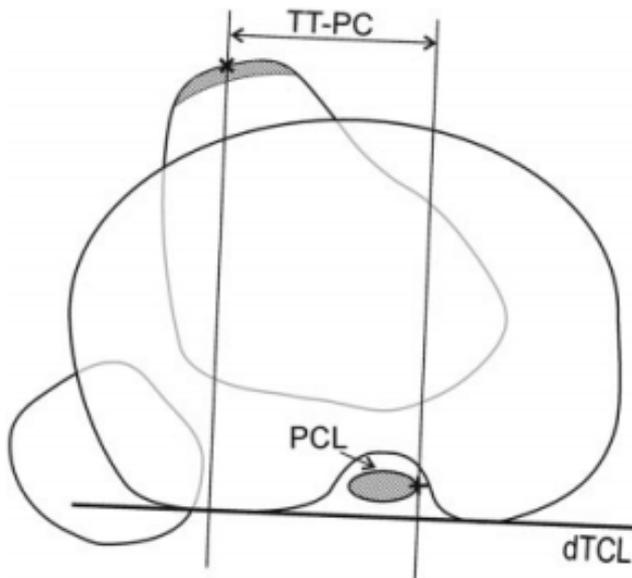


Abb. 12: Bestimmung des TTPCL-Abstandes (Daynes 2016)

Rupturlokalisierung MPFL

Mit Hilfe axialer Schnittbilder des Kniegelenks wurde zuletzt die Rupturlokalisierung des MPFL bestimmt. Es wurde untersucht, ob das MPFL femoral, interligamentär oder patellar rupturiert war.

2.4. Statistische Auswertung der Ergebnisse

Die Patienten der Studie wurden nach isolierter MPFL-Rekonstruktion retrospektiv auf zusätzliche patellofemorale Risikofaktoren untersucht.

Die Analyse wurde mit einem Standard-Statistik-Softwarepaket (JMP Version 12, SAS Institute, Cary, NC) durchgeführt. Die Daten waren nicht normalverteilt (getestet mit Shapiro-Wilk, $p < 0,05$). Die Daten werden als mittlere Standardabweichung dargestellt. Der Fisher's exact -Test, Wilcoxon's -Test, Kruskal-Wallis' -Test mit Steel-Dwass Korrektur und der paired Wilcoxon's sign-Test wurden verwendet, um die statistische Signifikanz zu beweisen. Es wurde eine Korrelation zwischen den Risikofaktoren (Trochleadysplasie, Patella alta, TTTG, TTPCL, Beinachse und

femorale Antetorsion) und den postoperativen Ergebniswerten (Tegner und Lysholm) durchgeführt. Um die Korrelation (lineare Abhängigkeit) zwischen diesen Variablen zu messen, verwendeten wir den Pearson-Korrelationskoeffizienten für normalverteilte Daten und den Spearman-Rho-Koeffizienten für nicht normalverteilte Daten. Es wurde ein Signifikanzniveau von 0,05 gewählt.

3. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse vorgestellt, die durch die Daten der Nachuntersuchung und einer statistischen Analyse ermittelt wurden. Zunächst werden isoliert die Ergebnisse der klinischen Untersuchung dargestellt. Daraufhin folgen die Ergebnisse der subjektiven Scores und der radiologischen Untersuchungen. Zuletzt werden die Korrelationen zwischen den Outcome-Parametern und den anatomischen Risikofaktoren dargelegt.

3.1 Klinische Untersuchung und Funktionstests am Kniegelenk

Postoperatives Instabilitäts- und Schmerzgefühl

Sechs Patienten (12%) berichteten über ein Instabilitätsgefühl im operierten Kniegelenk und 46 Patienten (88%) über ein stabiles Gelenk. Gelegentliche Schmerzen im Kniegelenk verspürten 13 der untersuchten Patienten (25%), 39 Patienten (75%) hatten keine Schmerzen mehr.

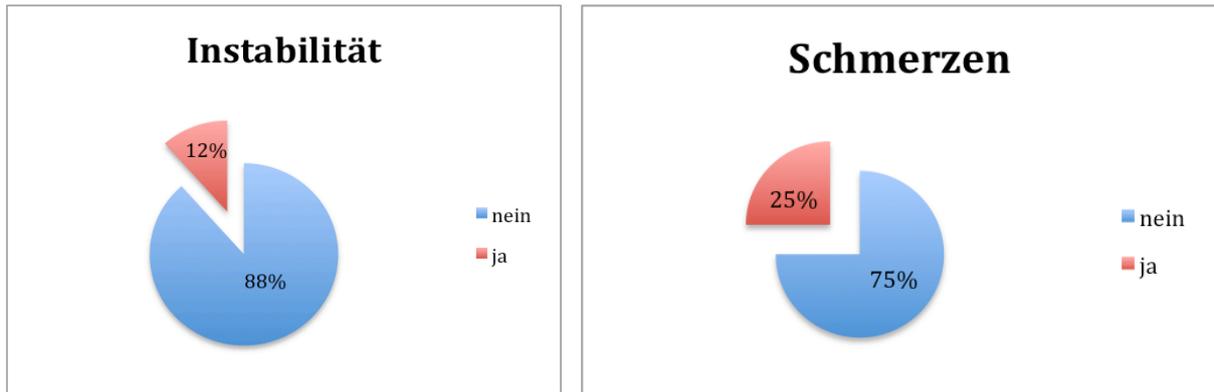


Diagramm 2 u. 3: Verteilung Instabilität und Schmerzen

Postoperative Inspektion und Palpation

Alle Patienten präsentierten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung ein Kniegelenk ohne Entzündungszeichen mit reizlosen Narbenverhältnissen. Es zeigten sich weder abnorme Fehlstellungen noch ein atrophischer Muskelstatus. Auch palpatorisch fanden sich keine Auffälligkeiten.

Lediglich ein Patient musste aufgrund von Wundheilungsproblemen ohne Infektion an der Stelle der Femurfixierung operiert werden.

Postoperativer Bewegungsumfang: ROM, F/E in Winkel-Grad (°):

Die Flexion des Kniegelenks war bei keinem der Patienten stark eingeschränkt. Der maximale Flexionsgrad lag bei 155° und der minimale bei 110°. Im Mittel ergab sich ein Flexionsgrad von 137,6°. Der physiologische Winkel bei Flexion sollte zwischen 120° bis 150° liegen. Nur zwei Patienten zeigten einen leicht eingeschränkten Flexionsgrad von 115° bzw. 110°.

Physiologisch sollte die Extension zwischen 0° und 10° liegen, das wurde bei allen Patienten festgestellt.

Postoperativer retropatellarer Anpressschmerz:

Zwei Patienten (4%) gaben ein positives Zohlenzeichen oder einen retropatellaren Anpressschmerz an. 50 Patienten (96%) ein negatives Zohlen-Zeichen, d.h. sie hatten keinen retropatellaren Anpressschmerz.

Postoperativer Lateraler Apprehension-Test:

Bei 49 Patienten (94%) war die laterale Apprehension sowohl in 0°, in 30° als auch in 60° negativ. Bei insgesamt 3 Patienten (6%) war der Test positiv.

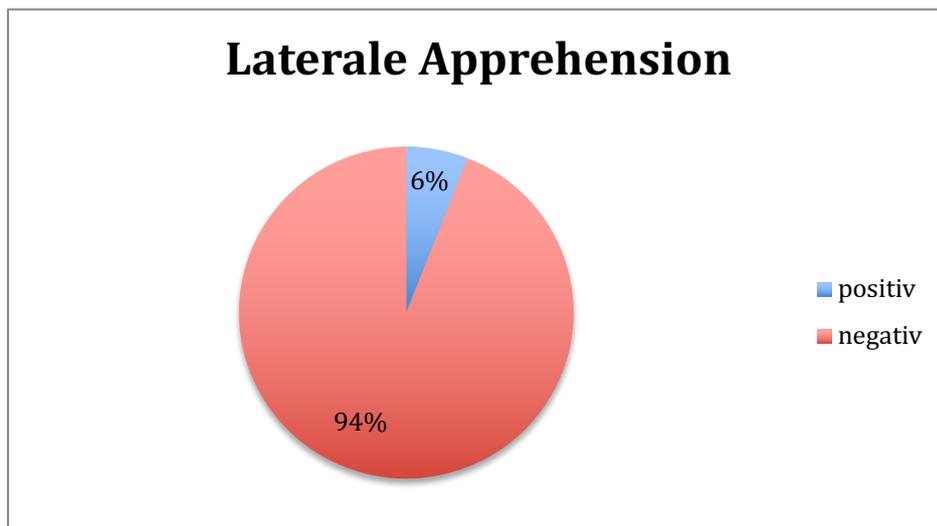


Diagramm 4: Verteilung laterale Apprehension

Femorale Antetorsion:

Bei der Messung der femoralen Antetorsion fand sich ein Maximalwert von 45° und ein Minimalwert von 15°. Im Mittel lag sie bei 24,4° ± 5,9. 12 Patienten (23%) wiesen eine femorale Antetorsion > 20° auf, 40 Patienten (77%) eine femorale Antetorsion < 20°.

3.2 Radiologische Analyse der anatomischen Risikofaktoren

Patellahöhe:

Der Caton-Deschamps-Index betrug durchschnittlich $1,2 \pm 0,20$. Der niedrigste Index-Wert wurde mit 0,87, der größte mit 1,59 festgestellt. Ab Werten $\geq 1,2$ ist eine Patella alta definiert. 24 Patienten (46%) wiesen eine Patella alta auf. Allerdings zeigten nur 6 Patienten einen Wert von mehr als 1,5.

Trochleadysplasie:

Bei 47 der Patienten (90%) wurde eine trochleare Dysplasie gefunden und nach Dejour et al. wie folgt klassifiziert:

20 Patienten (38,5%) Typ A,

16 Patienten (30,8%) Typ B,

11 Patienten (21,2%) Typ C.

Eine trochleare Dysplasie von Typ D wurde in der Studiengruppe nicht gefunden

Beinachse:

Im Mittel betrug die valgische Achsabweichung $1,1 \pm 1,7^\circ$.

Bei 15 Patienten (29%) wurde eine valgische Achsabweichung $> 2^\circ$ gemessen, was als manifeste Fehlstellung definiert wurde, bei 37 Patienten (71%) eine valgische Achsabweichung $< 2^\circ$.

TTTG und TTPCL:

Der TTTG-Abstand betrug im Mittel $13,1 \pm 4,4$ mm. Der größte Abstand wurde mit 21,8 mm gemessen, der geringste mit 6,1 mm. Bei 5 Patienten wurde ein TTTG-Abstand über 20 mm festgestellt.

Der TTPCL-Abstand betrug im Mittel $26,5 \pm 5,1$ mm. Hier wurde als größter Abstand ein Wert von 38,5 mm und als geringster Abstand ein Wert von 14,1 mm festgestellt. Bei 34 Patienten wurde ein TTPCL-Abstand über 24 mm gemessen.

Rupturlokalisierung des MPFL:

Bei der Ermittlung der Rupturlokalisierung des MPFL zeigte sich, dass bei 39 Patienten (75%) das Ligament femoral rupturierte. Bei sieben Patienten (13%) befand sich die Rupturstelle interligamentär und bei sechs Patienten (12%) patellar.

Patienten (n)	52	
weiblich (%)	44	
Alter (MW, STD)	$26 \pm 4,2$	
Beinachse (valgus, °, MW, STD)	$1,1 \pm 1,7$	
Fem. Antetorsion (°, MW, STD)	$24,4 \pm 5,9$	
TTTG (mm, MW, STD)	$13,1 \pm 4,4$	
TTPCL (mm, MW, STD)	$26,5 \pm 5,1$	
Patella height (CD, MW, STD)	$1,2 \pm 0,2$	
postoperative Instabilität (subjektiv, %)	11,5	
postoperative Instabilität (objektiv, %)	5,8	
Tegner Score präoperativ (MW, STD)	$4 \pm 1,9$	P < 0.0001“
Tegner Score postoperativ (MW, STD)	$5,6 \pm 1,9$	
Lysholm Score präoperativ (MW, STD)	$57,3 \pm 19,9$	P < 0.0001“
Lysholm Score postoperativ (MW, STD)	$85,9 \pm 17,2$	

Tab.1: alle erfassten Patientendaten

“paired Wilcoxon Sign Test

MW = Mittelwert

STD = Standardabweichung

3.3 Präoperative und postoperative subjektive Outcome-Scores

Tegner-Aktivitäts-Score:

Der Mittelwert des präoperativen Tegner-Scores betrug $4 \pm 1,9$ Punkte. Ein maximaler Wert von 9 Punkten wurde angegeben und als Minimum ein Wert von 0 Punkten.

Postoperativ betrug der Mittelwert des Tegner-Scores $5,6 \pm 1,9$ Punkte. Hier lag der Maximalwert bei 10, das Minimum an Punkten betrug 2.

Sechs Patienten konnten über keine Veränderung berichten. Für acht Patienten verschlechterte sich der Wert des Scores in der postoperativen Situation.

Insgesamt zeigte sich jedoch eine signifikante Verbesserung im Vergleich zum präoperativen Tegner-Score ($p < 0,0001$).

Lysholm-Score:

Bei diesem Score lag der präoperative Mittelwert bei $57,2 \pm 19,9$ Punkten.

Maximalwerte wurden hier bis 91 Punkte erreicht.

Postoperativ ergab sich beim Lysholm-Score ein Mittelwert von $85,9 \pm 17,2$ Punkten.

Hier betrug der maximale Wert 100 Punkte. Bei fünf Patienten verschlechterte sich der Wert des Scores postoperativ.

Insgesamt zeigte sich jedoch auch bei diesem Score eine signifikante Verbesserung im Vergleich zu den präoperativen Werten ($p < 0,0001$).

3.4 Korrelationen zwischen den Outcome-Parametern und den anatomischen Risikofaktoren

Bei 90 Prozent der Patienten wurde eine trochleare Dysplasie gefunden und nach Dejour et al. wie folgt klassifiziert: 38,5% Typ A (= I), 30,8% Typ B (= II), 21,2 % Typ C (= III). Eine trochleare Dysplasie vom Typ D (= IV) wurde in der Studiengruppe nicht gefunden. Der Grad der trochlearen Dysplasie hatte keinen negativen Einfluss auf die Ergebnisse. Bei allen Arten der trochlearen Dysplasie konnte ein signifikanter Anstieg der prä- bis postoperativen Lysholm-Ergebnisse von $59 \pm 15,1$ auf $85,2 \pm 19$ Punkte im Typ A ($p=0,01$), von $58,1 \pm 24$ auf $84,1 \pm 20$ Punkte im Typ B ($p=0,01$) und von $50,3 \pm 25$ auf $91,1 \pm 12$ im Typ C ($p=0,004$) festgestellt werden (Diagramm 5).

Der Caton-Deschamps Index beträgt durchschnittlich $1,2 \pm 0,20$. Sechsendvierzig Prozent der Patienten hatten eine Patella alta. Allerdings zeigten nur sechs Patienten einen Wert von mehr als 1,5. Ein statistisch signifikanter Unterschied in den Ergebnissen des Lysholm-Scores wurde für beide Gruppen gefunden: Für die Gruppe mit Werten größer als 1,2 ergaben sich präoperativ $61,6 \pm 16$ und postoperativ $84,2 \pm 22$ Punkte ($p=0,01$) und für die Patienten mit Werten kleiner als 1,2 ergaben sich präoperativ $53,5 \pm 22$ und postoperativ $87,4 \pm 11$ Punkte ($p=0,001$). Zwischen den beiden Gruppen wurde keine statistische Signifikanz gefunden. (Tabelle 2).

Bezogen auf den TTTG und TTPCL Abstand betragen die Durchschnittswerte $13,1 \pm 4,4\text{mm}$ und $26,5 \pm 5,1\text{mm}$. Alle Patienten hatten signifikant höhere Tegner- und Lysholm-Werte postoperativ. Es gab keine Unterschiede zwischen Patienten mit Werten größer als 20 mm bzw. 24 mm und Patienten mit niedrigeren TTTG- und TTPCL-Werten.

Ebenso gab es keine signifikanten Unterschiede in den Tegner- und Lysholm-Werten zwischen Patienten mit erhöhter Oberschenkelantetorsion bzw. Valgusdeformität und Patienten mit normaler Oberschenkelantetorsion bzw. keiner Valgusdeformität. Alle diese Patienten zeigten jedoch signifikant bessere Tegner- und Lysholm-Werte nach der MPFL-Rekonstruktion als in der präoperativen Situation (Tabelle 2).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass kein signifikanter Zusammenhang zwischen den oben genannten Risikofaktoren (Trochlea-Dysplasie, Patella alta, TT-TG, TT-PCL, Beinachse, Oberschenkelantetorsion) und den postoperativen Ergebniswerten (Tegner, Lysholm) gefunden wurde. Eine detaillierte Darstellung gibt Tabelle 2.

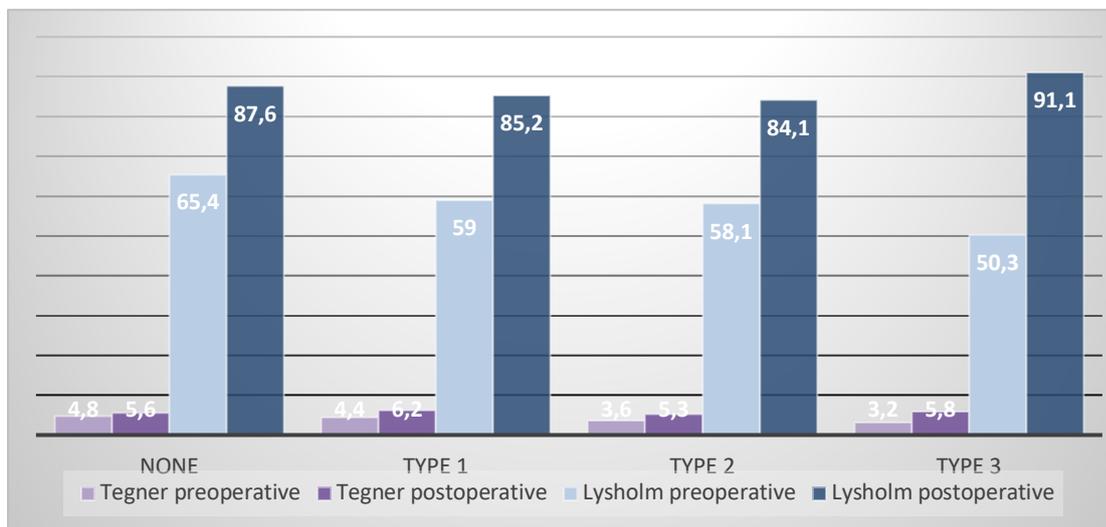


Diagramm 5: Ergebnisse nach MPFL-Rekonstruktion geordnet nach dem Grad der Trochleadysplasie (Mittelwert) (Blanke 2020)

	Instabilität (subjektiv, %)	Instabilität (objektiv, %)	Tegner (prä- OP)	Tegner (post- OP)	p- Value Tegner prä vs. post“	Lysholm (prä-OP)	Lysholm (post- OP)	p-Value Lysholm prä vs. post”
TTTG								
>20mm (n=5)	40	20	3,2 ± 1,9	4,6 ± 2,5	0.37	40,2 ±15	75±24,6	0.016
<20mm (n=47)	8,5	6,4	4,1 ± 1,9	5,7 ± 1,8	0.001	59,1± 19,6	87±16,1	0.001
p-Value TTPCL			0.60°	0.40°		0.04°	0.15°	
>24 (n=34)	11,7	5,9	3,9±2	6±1,9	0.001	57±22,5	87,3±17	0.001
<24 (n=18)	11,1	5,5	4,3±2	4,8±2	0.02	57,7±14	83,3±19	0.001
p-Value Trochlea- dysplasie			0.34°	0.98°		0.34°	0.43°	
Keine (n=5)	0	0	4,8±2,6	5,6±2,3	0.63	65,4±14, 3	87,6±6,2	0.03
Type A=I (n=20)	15	10	4,4±1,6	6,2±1,9	0.006	59±15,1	85,2±19, 4	0.01
Type B=II (n=16)	0	0	3,6±2,2	5,3±2	0.05	58,1±24, 3	84,1±20	0.01
Type C=III (n=11)	27,3	18,2	3,2±1,4	5,8±1,6	0.008	50,3±25, 1	91,1±12, 2	0.004
p-Value Beinachse			0.32**	0.17**		0.44**	0.46**	
>2° valgus (n=15)	0	0	4,3±2,3	5,7±1,2	0.04	65,4±18, 1	87,9±18, 5	0.01
<2° valgus (n=37)	16,2	8,1	3,8±1,7	5,6±2,2	0.001	54±19,9	85,1±16, 8	0.01
p-Value Patella- höhe			0.93*	0.95*		0.18*	0.35*	
CD >1,2 (n=24)	8,3	4,2	4,3±1,7	6±2,1	0.01	61,6±16, 2	84,2±22, 2	0.01
CD <1,2 (n=28)	14,3	7,1	3,6±2	5,4±1,7	0.001	53,5±22, 3	87,4±11, 6	0.001
p-Value Fem. AT			0.94**	0.03**		0.51**	0.21**	
>20° (n=12)	8,3	8,3	4,8±1,9	5,5±1,6	0.001	62,3±19, 9	84,4±17, 2	0.0001
<20° (n=40)	12,5	7,5	3,7±1,8	5,7±2	0.01	55,8±20	86,3±17, 4	0.001
p-Value			0.15**	0.22**		0.71**	0.77**	

Tab. 2: wichtige Ergebnisse geordnet nach Risikofaktoren

Abkürzungen: TT=tibialtubercle, TG=trochleagroove,
PCL= posterior cruciate ligament, Fem. AT= femorale Antetorsion

* Fisher Exact Test

° Wilcoxon Test

** Kruskal-Wallis-Test mit Steel-Dwass Korrektur

“ paired Wilcoxon Sign Test

4. Diskussion

4.1 Der Einfluss von anatomischen Risikofaktoren auf die patellofemorale Stabilität

Ein bedeutsamer Risikofaktor für eine patellofemorale Instabilität stellt die Trochleadysplasie dar. Mit einer Häufigkeit von 85-96% zeigt sie sich bei lateralen Patellaluxationen (Arendt 2002, Dejour 1994, Palmu 2008). Die Biomechanik des Kniegelenks, das Kontaktareal, der Kontaktdruck und die Stabilität der Patella werden deutlich vom Grad der Trochleadysplasie beeinflusst (van Haver 2015). Mehrere biomechanische Studien verdeutlichen den Einfluss der trochlearen Dysplasie, die eine vermehrte Instabilität in einer dysplastischen Situation aufweisen (Maldague 1989, Senavongse 2005). Balcarek et al. führten 2010 eine Studie zur geschlechtsabhängigen Prävalenz der Trochleadysplasie bei Patellaluxation durch. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass bei Patienten mit Patellaluxation ein höherer Sulcus-Winkel, größere Trochlea-Asymmetrie und eine kleinere Sulcus-Tiefe vorliegen (Balcarek 2010).

In unserer Studie wiesen 47 der Patienten (90%) eine trochleare Dysplasie auf, davon 20 Patienten (38,5%) eine Dysplasie Typ A, 16 Patienten (30,8%) einen Typ B, 11 Patienten (21,2%) einen Typ C. Diese Ergebnisse passen zu den Daten in der aktuellen Literatur (Arendt 2002, Dejour 1994, Palmu 2008). Eine trochleare Dysplasie von Typ D wurde in unserer Studiengruppe nicht gefunden. Dies ist damit zu erklären, dass Patienten mit einer derartig ausgeprägten Trochleadysplasie nicht mittels isolierter MPFL-Plastik therapiert wurden.

Zu den Risikofaktoren wird ebenso die Lateralisierungstendenz der Tuberositas tibiae gezählt, die durch den TTTG- und den TTPCL-Abstand wiedergegeben werden kann. Den TTTG-Abstand werten viele Autoren als bedeutenden Faktor in der Diagnostik des Patellofemoralgelenks (Oestern 2011, Dejour 1994, Pandit 2011, Schöttle 2006a). Da die Lage der Tuberositas tibiae wesentlich den muskulären Kraftvektor, der auf die Patella einwirkt, beeinflusst, steht der TTTG für eine vermehrte Lateralisierungstendenz der Patella. Je weiter lateral die Tuberositas

tibiae positioniert ist, desto stärker ist die Kraft auf die Patella, die diese während der Flexion nach lateral zieht (Muneta 1994).

Den Grenzwert von 20 mm überschritten 56% der von Dejour et al. untersuchten Patienten mit patellofemorale Instabilität und nur 3,5% ihrer Kontrollgruppe. In dieser asymptomatischen Kontrollgruppe lag der mittlere Normalwert des TTTG-Abstandes bei $12,7 \pm 3,4$ mm (Dejour 1994).

Auch in jüngeren Studien war der TTTG-Abstand bei Patienten mit patellofemorale Instabilität signifikant größer als bei Patienten der Kontrollgruppen (Balcarek 2011, Pennock 2014).

In unserer Studie wurde bei 34 Patienten (65%) ein TTPCL-Abstand über 24 mm gemessen. Einen TTTG-Wert über 20mm zeigten hingegen nur 5 Patienten (10%). Dies unterstreicht die diagnostische Wichtigkeit der TTPCL-Messung und bestätigt zudem, dass der Risikofaktor einer Lateralisierung der Tuberositas tibiae in einem Großteil der Patienten mit patellofemorale Instabilität vorliegt.

Ein weiterer anatomischer Risikofaktor für eine erhöhte Instabilität des patellofemorale Gelenks ist der Patellahochstand, die sogenannte Patella alta (Ahmed 2000, Arendt 2002, Colvin 2008, Dejour 1994, Schünke 2011). Das Vorliegen einer Patella alta korreliert in einigen Studien signifikant mit einer patellofemorale Instabilität (Atkin 2000, Caton 1990, Geenen 1989, Larsen 1982, Leung 1996, Runow 1983, Simmons 1992). In der Studie von Neyret et al. wurde eine Patella alta in 48% der Fälle bei Patienten mit Instabilität gefunden, in der Kontrollgruppe nur in 12% (Neyret 2002). In weiteren Studien findet sich ein Patellahochstand bei Patienten mit einer Patellofemorale Instabilität in circa 24% der Fälle (Dejour 1994, Singermann 1994, Ward 2007). Häufigkeit und Inzidenz variieren jedoch wie man sieht in den verschiedenen Studien (Colvin 2008, Schünke 2011). In unserer Studie wiesen 24 Patienten (46%) eine Patella alta ($CD > 1,2$) auf, was somit ebenfalls konform zur gängigen Literatur ist (Neyret 2002).

Auch eine Torsionsabweichung des Femurs prädisponiert zur Patellaluxation. Eine vermehrte Antetorsion des Femurs führt zu einer Medialisierung der Trochlea, welche sich in einer Erhöhung des TTTG-Abstandes zeigt (Hinterwimmer 2012).

Der Zusammenhang zwischen patellofemorale Instabilität und Torsionsfehlstellungen des Femurs wurde 1977 erstmals beschrieben (Weber 1977). In unserer Studie wiesen 12 Patienten (23%) eine femorale Antetorsion $> 20^\circ$ auf. Weiterhin ist auch auf den Risikofaktor Achsenfehlstellung hinzuweisen. Hierzu zählt

das Genu valgum mit Verstärkung des nach lateral gerichteten Zugvektors (Frosch 2016, Mcwalter 2007). Sichere Grenzwerte für eine patellofemorale Instabilität sind nicht bekannt (Hinterwimmer 2012). In unserer Studie wurden bei 15 Patienten (29%) eine Achsabweichung $> 2^\circ$ gemessen, was wir als manifeste valgische Fehlstellung definierten.

Wie all diese Zahlen verdeutlichen, kommt es ohne das Vorhandensein von bestimmten anatomischen Risikofaktoren nicht zu einer Instabilität im patellofemoralem Gelenk. Zudem zeigt sich, dass die Häufigkeiten der anatomischen Risikofaktoren im Patientengut der vorliegenden Studie vergleichbar sind mit denen in der aktuellen Literatur und somit die Untersuchung des Einflusses der Risikofaktoren auf das postoperative Ergebnis nach isolierter MPFL-Plastik als repräsentativ angesehen werden kann.

4.2 Der Einfluss von anatomischen Risikofaktoren auf die MPFL-Rekonstruktion

In wenigen Studien wurde bisher der Einfluss von den genannten Risikofaktoren auf die MPFL-Rekonstruktion untersucht. Wagner et al. untersuchte in seiner prospektiven Studie 2012, ob es ausreicht, nur auf ligamentäre (MPFL) Einflussfaktoren bei patellofemoraler Instabilität einzugehen, um gute klinische und radiologische Ergebnisse zu erzielen oder ob andere Risikofaktoren die Ergebnisse negativ beeinflussen. 80% der Patienten gaben gute und sehr gute Ergebnisse bei der Beurteilung ihrer eigenen postoperativen Ergebnisse an. Bei 98% der Patienten wurde eine Trochleadysplasie gefunden. Der Grad der Trochleadysplasie nach Dejour beeinflusste das Ergebnis. Bei geringen Dysplasie-Typen A und B kam es zu einem signifikanten Anstieg der postoperativen Kujala-Werte. Bei einer höhergradigen Dysplasie wie Typ C war jedoch ein nicht signifikanter Trend bei den Kujala-Werten zu verzeichnen.

Ebenso wurde in dieser Studie der Einfluss eines Patellahochstandes auf das

postoperative Ergebnis untersucht. 58 Prozent der Patienten wiesen eine Patella alta auf, jedoch nur vier Patienten zeigten einen Index-Wert von mehr als 1,5. Beide Gruppen zeigten nach der MPFL-Rekonstruktion einen signifikanten Anstieg in den postoperativen Ergebnissen des Kujala-Scores und es wurde keine statistische Signifikanz zwischen den beiden Gruppen gefunden. Auch Patienten mit TTTG-Werten von mehr als 20 mm zeigten keinen signifikanten Unterschied in den postoperativen Scores im Vergleich zu den Patienten mit einem TTTG-Abstand von 15-20mm.

Wagner et al. kamen insgesamt zu dem Ergebnis, dass eine höhergradige Trochleadysplasie der wichtigste Risikofaktor für ein reduziertes Ergebnis nach MPFL-Plastik zu sein scheint (Wagner 2013).

Auch Kita et al. haben im Rahmen einer Fall-Kontroll-Studie von 42 Patienten einen relevanten Einfluss der hochgradigen Trochleadysplasie auf die Relaxationsraten nach MPFL-Plastik festgestellt (Kita 2015). Schöttle et al. gaben ebenfalls Hinweise auf die alleinige Abhängigkeit der postoperativen Ergebnisse nach MPFL-Plastik von dem Risikofaktor Trochleadysplasie, obwohl hier keine statistische Signifikanz gezeigt werden konnte (Schöttle 2006b). Möglicherweise ist die nicht gezeigte Signifikanz jedoch in dieser Studie durch die geringe Fallzahl zu erklären. Auch biomechanische Studien verdeutlichen den großen Einfluss der trochlearen Dysplasie auf die patellofemorale Instabilität, die in dysplastischen Situationen signifikant ansteigt (Maldague 1989, Senavongse 2005).

In vorliegender Studie berichteten achtundachtzig Prozent der Patienten über gute und zufriedenstellende Ergebnisse bei der Beurteilung ihres eigenen postoperativen Ergebnisses.

90% unserer Patienten wiesen eine Trochleadysplasie auf. Bei allen vorliegenden Typen der trochlearen Dysplasie konnte trotzdem ein signifikanter Anstieg der postoperativen Lysholm-Ergebnisse festgestellt werden. Die klinischen Ergebnisse nach der isolierten MPFL-Rekonstruktion zeigten sich somit unabhängig vom Vorliegen einer Trochleadysplasie. Einschränkend muss jedoch angemerkt werden, dass Patienten mit trochlearer Dysplasie Typ D in unserer Patientenpopulation nicht vorhanden waren.

Sechsvierzig Prozent der Patienten unserer Studie hatten eine Patella alta. Zwischen den Patientengruppen mit und ohne Patella alta wurde keine statistische Signifikanz gefunden (Tabelle II). Beide Gruppen zeigten signifikant erhöhte

postoperative Scores nach isolierter MPFL-Plastik. Auch erhöhte TTTG- und TTPCL-Werte hatten keinen negativen Einfluss auf die postoperativen Outcome-Scores. Alle Patienten hatten postoperativ signifikant höhere Tegner- und Lysholm-Werte. Es gab somit keine Unterschiede zwischen Patienten mit TTTG- bzw. TTPCL-Werten größer als 20 mm bzw. 24 mm und Patienten mit niedrigeren TTTG- und TTPCL-Werten. Ebenso gab es keine signifikanten Unterschiede in den Tegner- und Lysholm-Werten zwischen Patienten mit erhöhter Oberschenkelantetorsion bzw. Valgusdeformität und Patienten mit normaler Oberschenkelantetorsion bzw. keiner Valgusdeformität. Alle diese Patienten zeigten signifikant bessere Tegner- und Lysholm-Werte nach isolierter MPFL-Rekonstruktion.

Insgesamt konnte somit in vorliegender Studie kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Vorliegen anatomischer Risikofaktoren (Trochlea-Dysplasie, Patella alta, TTTG, TTPCL, Beinachse, Oberschenkelantetorsion) und den postoperativen Ergebnissen (Tegner, Lysholm) nach isolierter MPFL-Plastik gefunden werden.

4.3 Der Stellenwert der isolierten und kombinierten MPFL Rekonstruktion in der patellofemorale Instabilität

Mehrere Studien haben gezeigt, dass in 90% der Fälle einer Patellaluxation MPFL-Läsionen in unterschiedlichem Ausmaß und Lokalisation im MRT zu finden sind (Elias 2002, Nomura 2002, Sanders 2001). Daher wurde die MPFL-Rekonstruktion nicht nur zum therapeutischen Goldstandard, sondern es wurden auch verschiedene Rekonstruktionsmethoden für das MPFL in Bezug auf Fixationstechniken und Transplantatauswahl für chronische patellofemorale Instabilitäten mit sehr hohen Erfolgsraten entwickelt (Ahmad 2009, Drez 2001, Christiansen 2008, Jacobi 2012, Nomura 2003, Nomura 2006, Noyes 2006, Schöttle 2009, Schöttle 2010, Siebold 2010, Steensen 2005). Das Outcome nach MPFL-Rekonstruktion wird anhand der Patientenzufriedenheit, klinischer Scores sowie der Häufigkeit von Reluxationen und

anderer Komplikationen gemessen. In einem systematischen Review haben Tompkins et al. diese postoperativen Parameter anhand von 24 Studien mit 824 behandelten Patienten analysiert. Die ermittelte Reluxationsquote in den Studien nach isolierter MPFL-Rekonstruktion betrug in dem analysierten Kollektiv lediglich 1% (Tompkins 2015).

In der Studie von Wagner et al., bei der 50 Patienten mit chronischer patellofemorale Instabilität eine MPFL-Plastik erhalten haben, gaben 80% gute und sehr gute Ergebnisse bei der Beurteilung ihres eigenen postoperativen Ergebnisses an. Eine Redislokation fand sich bei nur 2% der Fälle (Wagner 2013).

Auch Mackay et al. kamen in ihrem systematischen Review zu dem Ergebnis, dass speziell die MPFL-Rekonstruktion eine erfolgreiche Operationsmethode zur Behandlung der Patellainstabilität darstellt. Sie konnten eine sehr geringe Reluxationsrate von 2,44 % und eine signifikante Steigerung des Kujala-Scores von präoperativ 51,6 Punkten auf 87,77 Punkte ermitteln (Mackay 2014).

In der vorliegenden Studie berichteten 88% der Patienten über gute und zufriedenstellende Ergebnisse bei der Beurteilung ihres eigenen postoperativen Ergebnisses. Nur in 2% kam es zu einer wiederkehrenden Dislokation. Diese Daten bestätigen somit die Ergebnisse in der aktuellen Literatur.

Es gibt jedoch immer noch Patienten, bei denen die isolierte MPFL-Plastik nicht die gewünschten Ergebnisse erzielt. Grund dieser teilweise deutlich differenten Ergebnisse scheint eine zusätzliche Begleitpathologie zu sein, welche sich durch Einschränkung der statischen und aktiven Stabilisatoren auszeichnen kann. Eine Korrektur des gesamten patellofemorale Alignments durch eine MPFL-Rekonstruktion ist nämlich nicht uneingeschränkt möglich. Studien konnten zeigen, dass eine MPFL-Rekonstruktion hauptsächlich Einfluss auf den patellaren Tilt, die patellofemorale Kongruenz und auf eine Stabilisation der Patella gegen eine laterale Translation hat (Damasena 2017).

Zur Korrektur des gesamten Alignments sind somit oftmals andere operative Eingriffe notwendig. Damasena et al. untersuchten in ihrer Studie den synergistischen Einfluss der MPFL-Plastik als Kombinationstherapie mit einer knöchernen Alignmentkorrektur. Die Durchführung von distalen Alignmentkorrekturen mittels einer Osteotomie der Tuberositas tibiae oder Trochleoplastik führten zu guten

Ergebnissen, jedoch ohne gleichzeitige MPFL-Plastik zu schlechteren Ergebnissen als mit zusätzlicher MPFL-Plastik (Damasena 2017).

Die Trochleadysplasie scheint der wichtigste knöcherne Risikofaktor für eine persistierende patellofemorale Instabilität nach MPFL-Plastik zu sein. Eine Metaanalyse mit mehr als 25 Studien zum isolierten MPFL-Ersatz ergab, dass bei 32 % anhaltende Instabilitätsbeschwerden bestanden, die auf nicht adressierte Trochleadysplasien zurückzuführen waren (Shan 2012). Fallserien mit Patienten mit hochgradigen Trochleadysplasien, bei denen neben einer Trochleaplastik routinemäßig in gleicher Sitzung eine MPFL-Plastik erfolgte, zeigten mit 95 bzw. 96 Punkten die bislang besten Ergebnisse im postoperativen Kujala-Score. In diesen Fallserien zeigten sich keine erneuten Luxationen (Blønd 2014, Nelitz 2013). In der vorliegenden Studie konnte ein Zusammenhang zwischen schlechtem klinischem Ergebnis und trochlearer Dysplasie (Typ A-C) allgemein nicht bestätigt werden. Alle Patienten mit Trochlea-Dysplasie Typ A-C zeigten eine signifikante Verbesserung des klinischen Ergebnisses nach der MPFL-Rekonstruktion. Allerdings waren Patienten mit trochlearer Dysplasie Typ D in der Patientenpopulation der vorliegenden Studie nicht verfügbar. Daher könnte eine schwere Manifestation der trochlearen Dysplasie (Typ D) die Ergebnisse nach einer singulären MPFL-Rekonstruktion beeinflussen. In solchen Fällen ist gegebenenfalls eine additive Trochleaplastik in Betracht zu ziehen.

Die Höhe der Patella ist ein bewiesener Risikofaktor für die patellofemorale Instabilität (Ahmed 2000, Arendt 2002, Colvin 2008, Schünke 2011), während die Häufigkeit und Inzidenz in den verschiedenen Studien variieren (Colvin 2008, Schünke 2011). Aus einer Studie, in der 23% von 240 Fällen mit einer Kombination von MPFL-Rekonstruktion und Tuberositas-Versatz versorgt wurden, wird von einer Relaxationsrate von 4,6% nach 41 Monaten berichtet (Enderlein 2014). In unserer Studie hatten 46% der Patienten eine Patella alta (CD >1,2). In den meisten Fällen handelte es sich um moderate Abweichungen vom Normalwert, sodass nur 12 % einen Index von mehr als 1,5 hatten. Dies könnte ein Grund dafür sein, dass ein Einfluss dieses Risikofaktors auf das postoperative Ergebnis nicht nachgewiesen werden konnte.

Der pathologische Schwellenwert des TTTG beträgt 20 mm und des TTPCL 24 mm (Amis 2007, Farahmand 1998b, Senavongse 2003, Smirk 2003). Einige Studien legen nahe, die Schienbeinhöcker an dieser Schwelle zu verlagern (Dejour 1994,

Maldague 1989). In der Studie von Christiansen et al. zeigten sich nach Kombinationseingriff durch eine Rekonstruktion des MPFL und einen Tuberositasversatz verbesserte postoperative Werte für den Kujala-Score (Christiansen 2008). In der vorliegenden Studie fanden wir eine nicht signifikante Tendenz, dass ein TTTG > 20 mm das funktionelle Ergebnis (Tegner-Score) nach isolierter MPFL-Rekonstruktion reduzieren könnte. Es gab jedoch keinen Unterschied bei Patienten mit normalen und erhöhten TTPCL-Werten. Daher sollte die additive Medialisierung der Schienbeinhöcker bei leichtem Anstieg der TTTG- und TTPCL-Werte in Frage gestellt werden. Darüber hinaus ist zu bemerken, dass eine Überkorrektur zu medialer Instabilität und Knorpelüberlastung führen kann (Longo 2016, Maldague 1989). Ebenso ist noch unklar, ab wann eine Valgusabweichung der Beinachse und die erhöhte femorale Antetorsion bei Patienten korrigiert werden sollte. Beide anatomischen Messungen sind verifizierte Risikofaktoren für die patellofemorale Instabilität [Arendt 2002, Longo 2016, Schünke 2011]. In der vorliegenden Studie gab es jedoch keine Korrelation mit dem klinischen Ergebnis nach der MPFL-Rekonstruktion und was durch die leichte bis moderate Manifestation dieser Risikofaktoren in unserer Patientenpopulation erklärt werden könnte. Es bleibt somit festzuhalten, dass derzeit keine eindeutigen Grenzwerte für anatomische Risikofaktoren bestehen, die als relevant für eine Entscheidung zwischen isolierter und kombinierter MPFL-Plastik anzusehen sind (Tompkins 2015). Die Vermutung der vorliegenden Studie ist jedoch, dass höhergradige Ausprägungen von Risikofaktoren und dabei insbesondere Trochleadysplasien Typ D einen solchen Grenzwert darstellen könnten und eine additive Korrektur ab diesem Punkt sinnvoll wäre. Geringgradige Risikofaktoren können im Gegensatz dazu wahrscheinlich mit einer isolierten MPFL-Plastik suffizient therapiert werden. Diese Vermutung wird in der Literatur zum Teil bereits geteilt und es hat sich die hochgradige Trochleadysplasie als der wohl relevanteste Parameter etabliert (Nelitz 2014b). Aufgrund der indifferenten Datenlage ist von größter Bedeutung, eine genaue Analyse der Instabilität und eine differenzierte Indikationsstellung für eine isolierte MPFL-Plastik oder eine Kombinationsbehandlung mit z.B. zusätzlichem Tuberositas-Versatz oder Trochleoplastik durchzuführen (Kita 2015). Die isolierte MPFL-Plastik kann bei mild bzw. mittelgradig ausgeprägten Risikofaktoren sehr gute Ergebnisse erzielen und weist als kleinerer Eingriff eine geringe Morbidität auf. In Kombination mit weiteren Operationstechniken kann sie unter Berücksichtigung der vermehrten

Morbidität sicherlich ebenso gut angewendet werden und zeigt besonders bei größerer Ausprägung der Risikofaktoren in der Literatur gute bis sehr gute Ergebnisse (Blønd 2014, Christiansen 2008, Damasena 2017, Enderlein 2014, Nelitz 2013).

4.4 Schlussfolgerung

Die wissenschaftlichen Daten aus der gegenwärtigen Literatur, sowie unsere Studienergebnisse lassen erkennen, dass bei einer patellofemorale Instabilität annähernd immer anatomische Risikofaktoren vorliegen. Es bleibt jedoch festzuhalten, dass für die einzelnen Pathologien derzeit keine definitiven Grenzwerte existieren, nach denen entschieden werden kann, ob eine alleinige MPFL-Plastik zu guten postoperativen Ergebnissen führt oder ob kombinierte Operationsverfahren durchgeführt werden sollten, die diese zusätzlichen Risikofaktoren mitbehandeln. In vorliegender Studie beeinflusste kein anatomischer Risikofaktor die klinischen Ergebnisse nach isolierter MPFL-Rekonstruktion signifikant. Allerdings waren Patienten mit schweren Manifestationen von Risikofaktoren in dieser Population selten. Hochgradige Formen der Risikofaktoren, insbesondere eine Trochleadysplasie Typ D, könnten daher Einfluss auf die MPFL-Rekonstruktion und somit das postoperative Ergebnis nehmen.

Milde bzw. mittelgradige Formen der Risikofaktoren scheinen das Operationsergebnis nach alleiniger MPFL-Plastik jedoch nicht zu beeinflussen. Es bleibt somit festzuhalten, dass die isolierte MPFL-Plastik als ein sicheres und effektives Verfahren bei Patienten mit patellofemorale Instabilität und Vorliegen von leichten bis mittleren anatomischen Risikofaktoren angesehen werden kann.

5. Abbildungsverzeichnis:

- Abbildung 1: Einteilung der Trochleadysplasie in die Typen A-D nach Dejour (S.10)
- Abbildung 2: Patellare Bohrdrahtplatzierung (S.23)
- Abbildung 3: Fixierung mit "Swive-Lock"-Anker (S.23)
- Abbildung 4a: Femorale Fixation (S.24)
- Abbildung 4b: Schematische Darstellung des Operationsergebnisses (S.24)
- Abbildung 5: Das Zohlen-Zeichen (S.26)
- Abbildung 6: Apprehension-Zeichen (S.27)
- Abbildung 7: Klinische Bestimmung der femoralen Antetorsion (S.28)
- Abbildung 8: Patellahöhenindex nach Caton und Deschamps (S.30)
- Abbildung 9: mechanische Achsen der unteren Extremität a. Femur b. Tibia (S.31)
- Abbildung 10: Trochleadysplasien in axialen MRT-Schnittbildern (S.32)
- Abbildung 11: Bestimmung des TTTG-Abstandes (S.33)
- Abbildung 12: Bestimmung des TTPCL-Abstandes (S.34)
- Diagramm 1: Geschlechts-und Altersverteilung (S.21)
- Diagramm 2 und 3: Verteilung Instabilität und Schmerzen (S.36)
- Diagramm 4: Verteilung laterale Apprehension (S. 38)
- Diagramm 5: Ergebnisse nach MPFL-Rekonstruktion geordnet nach dem Grad der Trochleadysplasie (Mittelwert) (S.43)

6. Literaturverzeichnis:

(Aglietti 1994) Aglietti, P., Buzzi, R., De Biase, P. and Giron, F., Surgical treatment of recurrent dislocation of the patella. Clin Orthop Relat Res., 1994: p. 8-17

(Ahmad 2000) Ahmad, C.S., Stein, B.E., Matuz, D. and Henry, J.H., Immediate surgical repair of the medial patellar stabilizers for acute patellar dislocation. A review of eight cases. Am J Sports Med., 2000. 28: p. 804-810

(Ahmad 2009) Ahmad, C.S., G.D. Brown, and B.E. Shubin Stein, The docking technique for medial patellofemoral ligament reconstruction: surgical technique and clinical outcome. Am J Sports Med, 2009. 37(10): p. 2021-2027

(Ahmed 2000) Ahmed, A.M. and Ducan, N.A., Correlation of patellar tracking pattern with trochlear and retropatellar surface topographies. J Biomech Eng, 2000. 122: p. 652-660

(Amis 1993) Amis, A.A., et al., Anatomy and biomechanics of the medial patellofemoral ligament. Knee, 2003. 10(3): p. 215-220

(Amis 2007) Amis, A.A, Current concepts on anatomy and biomechanics of patellar stability. Sports Med Arthrosc, 2007. 15: p. 48-56

(Arendt 2002) Arendt, E.A., D.C. Fithian, and E. Cohen, Current concepts of lateral patella dislocation. Clin Sports Med, 2002. 21(3): p. 499-519

(Atkin 2000) Atkin, D.M., Fithian, D.C., Marangi, K.S., Stone, M.L., Dobson, B.E., Mendelsohn, C., Characteristics of patients with primary acute lateral patellar dislocation and their recovery within the first 6 months of injury. Am J Sports Med., 2000. 28(4): p. 472-479

(AWMF Leitlinie Nr.033/013) AWMF, Leitlinien. Nr.033/013

(Balcarek 2010) Balcarek, P., Jung, K., Ammon, J., Walde, T.A., Frosch, S., Schüttrumpf, J.P., Stürmer, K.M., Frosch, K.H., Anatomy of Lateral Patellar Instability: Trochlear Dysplasia and Tibial Tubercle-Trochlear Groove Distance Is More Pronounced in Women Who Dislocate the Patella. Am J Sports Med, 2010. 38: p. 2320–2327

(Balcarek 2011) Balcarek, P., Jung, K., Frosch, K.H., Sturmer, K.M., Value of the tibial tuberosity-trochlear groove distance in patellar instability in the young athlete. Am J Sports Med., 2011. 39(8): p. 1756-1761

(Bereiter 1994) Bereiter, H., Die Trochleoplastik als chirurgische Therapie der rezidivierenden Patellaluxation bei Trochleadysplasie des Femurs. Arthroskopie, 1994. 7: p. 281- 286

(Berrsche 2015) Berrsche, G., Schmitt, H., Die klinische Untersuchung des Kniegelenks. Dtsch Z Sportmed., 2015. 66: p. 64-70

(Betz 1988) Betz, R.R., Magill, J.T. 3rd., Lonergan, R.P., The percutaneous lateral retinacular release. *Am J Sports Med*, 1987. 15: p. 477-482

(Billing 1954) Billing, L., Roentgen examination of the proximal femur end in children and adolescents; a standardized technique also suitable for determination of the collum-, anteversion-, and epiphyseal angles; a study of slipped epiphysis and coxa plana. *Acta Radiol Suppl*, 1954. 110: p. 1–80

(Blanke 2020) Blanke, F. et al., Isolated Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction Can Be an Effective Procedure in Patellofemoral Instability with Risk Factors. *J Knee Surg*, 2020. 33: p. 992-997

(Blønd 2014) Blønd, L., Haugegaard, M., Combined arthroscopic deepening trochleoplasty and reconstruction of the medial patellofemoral ligament for patients with recurrent patella dislocation and trochlear dysplasia. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.*, 2014. 22: p. 2484–90

(Bollier 2011) Bollier, M., Fulkerson, J., Cosgarea, A., Tanaka, M., Technical failure of medial patellofemoral ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 2011. 27: p. 1153-1159

(Brown 1984) Brown, D.E., Alexander, A.H. and Lichtman, D.M., The Elmslie-Trillat procedure: evaluation in patellar dislocation and subluxation. *Am J Sports Med.*, 1984. 12: p. 104-109

(Buckens 2010) Buckens, C.F.M., Saris, D.B.F., Reconstruction of the Medial Patellofemoral Ligament for Treatment of Patellofemoral Instability: A Systematic Review. *Am J Sports Med*, 2010. 38: p. 181–188

(Camanho 2009) Camanho, G.L., et al., Conservative versus surgical treatment for repair of the medial patellofemoral ligament in acute dislocations of the patella. *Arthroscopy*, 2009. 25(6): p. 620-625

(Caton 1982) Caton, J., Deschamps, G., Chambat, P., Lerat, J.L., Dejour, H., Patella infera. Apropos of 128 cases. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*, 1982. 68(5): p. 317-325

(Caton 1990) Caton, J., Mironneau, A., Walch, G., Levigne, C., Michel, C., Idiopathic high patella in adolescents. Apropos of 61 surgical cases. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.*, 1990. 76: p. 253-260

(Caton 2010) Caton, J.H., Dejour, D., Tibial tubercle osteotomy in patello-femoral instability and in patellar height abnormality. *Int Orthop*, 2010. 34: p. 305–309

(Christiansen 2008) Christiansen, S.E., et al., Reconstruction of the medial patellofemoral ligament with gracilis tendon autograft in transverse patellar drill holes. *Arthroscopy*, 2008. 24(1): p. 82-87

(Christoforakis 2006) Christoforakis, J., Bull, A.M., Strachan, R.K., Shymkiw, R., Senavongse, W. and Amis, A.A., Effects of lateral retinacular release on the lateral stability of the patella. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.*, 2006. 14: p. 273-277

(Cofield 1977) Cofield, R.H. and Bryan, R.S., Acute dislocation of the patella: results of conservative treatment. *J Trauma*, 1977. 17: p. 526-531

(Cohen 2003) Cohen, Z.A., Henry, J.H., McCarthy, D.M., Mow, V.C. and Ateshian, G.A., Computer simulations of patellofemoral joint surgery. Patient-specific models for tuberosity transfer. *Am J Sports Med.*, 2003. 31: p. 87-98

(Colvin 2008) Colvin, A.C., West, R. V., Patellar instability. *J Bone Joint Surg Am*, 2008. 90: p. 2751-2762

(Conlan 1993) Conlan, T., W.P. Garth, Jr., and J.E. Lemons, Evaluation of the medial soft-tissue restraints of the extensor mechanism of the knee. *J Bone Joint Surg Am*, 1993. 75(5): p. 682-693

(Damasena 2017) Damasena, I., Blythe, M., Wysocki, D. et al., Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction Combined With Distal Realignment for Recurrent Dislocations of the Patella. *Am J Sports Med.*, 2017. 45: p. 369–76

(Daynes 2016) Daynes, J., Hinckel, B.B., Farr, J., Tibial Tuberosity-Posterior Cruciate Ligament Distance. *J Knee Surg* 2016. 29: p. 471-477

(Deie 2005) Deie, M., Ochi, M., Sumen, Y., Adachi, N., Kobayashi, K. and Yasumoto, M., A long-term follow-up study after medial patellofemoral ligament reconstruction using the transferred semitendinosus tendon for patellar dislocation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.*, 2005. 13: p. 522-528

(Dejour 1990) Dejour, H., Walch, G., Neyret, P., Adeleine, P., La dysplasie de la trochlée fémorale. *Rev Chir Orthop*, 1990. 76: p. 45–54

(Dejour 1994) Dejour, H., Walch G., Nove-Josserand, L. et al., Factors of patellar instability: an anatomic radiographic study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1994. 2: p. 19-26

(Dejour 2007) Dejour, D., Le Coultre, B., Osteotomies in patello-femoral instabilities. *Sports Med Arthrosc*, 2007.15: p. 39–46

(Dejour 2010) Dejour, D., Saggin, P., The sulcus deepening trochleoplasty - the Lyon's procedure. *Int Orthop*, 2010. 34: p. 311–316

(Desio 1998) Desio, S.M., Burks, R.T., Bachus, K.N, Soft tissue restraints to lateral patellar translation in the human knee. *Am J Sports Med*, 1998. 26: p. 59-65

(Diederichs 2010) Diederichs, G., Issever, A.S., Scheffler, S., MR imaging of patellar instability: injury patterns and assessment of risk factors. *Radiographics*, 2010. 30 (4): p. 961-981

(Drez 2001) Drez, D., Jr., T.B. Edwards, and C.S. Williams, Results of medial patellofemoral ligament reconstruction in the treatment of patellar dislocation. *Arthroscopy*, 2001. 17(3): p. 298-306

(Elias 2002) Elias, D.A., White, L.M., Fithian, D.C., Acute lateral patellar dislocation at MR imaging: injury patterns of medial patellar soft- tissue restraints and osteochondral injuries of the inferomedial patella. *Radiology*, 2002. 225: p. 736–743

(Ellera 2004) Ellera Gomes, J.L., Stigler Marczyk, L.R., Cesar de Cesar, P. and Jungblut, C.F., Medial patellofemoral ligament reconstruction with semitendinosus autograft for chronic patellar instability: a follow-up study. *Arthroscopy*, 2004. 20: p. 147-151

(Enderlein 2014) Enderlein, D., Nielsen, T., Christiansen, S. E., Fauno, P., Lind, M., Clinical outcome after reconstruction of the medial patellofemoral ligament in patients with recurrent patella instability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2014. 22 (10): p. 2458-2464.

(Farahmand 1998a) Farahmand, F., W. Senavongse, and A.A. Amis, Quantitative study of the quadriceps muscles and trochlear groove geometry related to instability of the patellofemoral joint. *J Orthop Res*, 1998. 16(1): p. 136-143

(Farahmand 1998b) Farahmand, F., Tahmasbi, M.N. and Amis, A.A., Lateral force-displacement behavior of the human patella and its variation with knee flexion – a biomechanical study in vitro. *J Biomech*, 1998. 31: p. 1147-1152

(Feller 2007) Feller, J.A., Amis, A.A., Andrish, J.T., Arendt, E.A., Erasmus, P.J. and Powers, C.M., Surgical biomechanics of the patellofemoral joint. *Arthroscopy*, 2007. 23: p. 542-553

(Fithian 2004) Fithian, D.C., Paxton, E.W., Post, W.R. and Panni, A.S., Lateral retinacular release: a survey of the International Patellofemoral Study Group. *Arthroscopy*, 2004. 20: p.463-468

(Fondren 1985) Fondren ,F.B., Goldner, J.L. and Bassett, F.H.3rd., Recurrent dislocation of the patella treated by the modified Roux-Goldthwait procedure. A prospective study of forty- seven knees. *J Bone Joint Surg Am.*, 1985. 67: p. 993-1005.

(Frosch 2016) Frosch, K.H., Schmeling, A., A new classification system of patellar instability and patellar maltracking. *ArchOrthopTraumaSurg.*, 2016. 136: p. 485–497

(Fulkerson 1990) Fulkerson, J.P. and Shea, K.P., Disorders of patellofemoral alignment. *J Bone Joint Surg Am*, 1990. 72: p. 1424-1429

(Fulkerson 2013) Fulkerson, J.P., Edgar, C., Medial quadriceps tendon-femoral ligament: Surgical anatomy and reconstruction technique to prevent patella instability. *Arthrosc Tech*, 2013.12: p. 125-128

(Geenen 1989) Geenen, E., Molenaers, G., Martens, M., Patella alta in patellofemoral instability. *Acta Orthop Belg.*, 1989. 55: p. 387-393

(Goyal 2013) Goyal, D., Medial patellofemoral ligament reconstruction: The superficial quad technique. *Am J Sports Med*, 2013. 41: p. 1022-1029

(Grifka 2009) Grifka, J., Dullien, S., Knie und Sport, Empfehlungen von Sportarten aus orthopädischer und sportwissenschaftlicher Sicht. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 2009: p. 1-12

(Halbrecht 2001) Halbrecht, J.L., Arthroscopic patella realignment: An all-inside technique. *Arthroscopy*, 2001.17: p. 940-945

(Haspl 2002) Haspl, M., Cicak, N., Klobucar, H. and Pecina, M., Fully arthroscopic stabilization of the patella. *Arthroscopy*, 2002. 18: E2

(Hassenpflug 2005) Hassenpflug J., In: Wirth, C.J., Zichner, L. (Hrsg), Patellofemorale Arthrose. Orthopädie und Orthopädische Chirurgie. Stuttgart, Georg Thieme Verlag, 2005: p. 337 – 342

(Hauser 1938) Hauser, E.D., Total tendon transplant for slipping patella: a new operation for dislocation of the patella.1938, *Clin Orthop Relat Res*, 2006. 452: p. 7–16

(Hautamaa 1998) Hautamaa, P.V., et al., Medial soft tissue restraints in lateral patellar instability and repair. *Clin Orthop Relat Res*, 1998(349): p. 174-182

(Hawkins 1986) Hawkins, R.J., Bell, R.H. and Anisette, G., Acute patellar dislocations. The natural history. *Am J Sports Med*, 1986. 14: p. 117-120

(Insall 1976) Insall, J., Falvo, K. A., Wise, D. W., Chondromalacia Patellae. A prospective study. *J Bone Joint Surg Am.*, 1976. 58(1): p. 1-8

(Henrikus 2013) Henrikus, W., Pylawka, T., Patellofemoral instability in skeletally immature athletes. *Instr Course Lect*, 2013. 62: p. 445-453

(Hinterwimmer 2012) Hinterwimmer, S., Rosenstiel, N., Linich, A., Waldt, S., Imhoff, A.B., Femorale Osteotomie bei patellofemoraler Instabilität, *Der Unfallchirurg*, 2012. 155: p. 410-416

(Hughston 1988) Hughston, J.C. and Deese, M., Medial subluxation of the patella as a complication of lateral retinacular release. *Am J Sports Med.*, 1988. 16: p. 383- 388

(Insall 1983) Insall, J. N., Aglietti, P., Tria, A. J.Jr., Patellar pain and incongruence. II: Clinical application. *Clin Orthop Relat Res.*, 1983. 176: p. 225-232.

(Jacobi 2012) Jacobi, M., Reischl, N., Bergmann, M., Bouaucha ,S., Djonov, V., Magnussen, R.A., Reconstruction of the medial patellofemorale ligament using the adductor magnus tendon: an anatomic study. *Arthroscopy*, 2012. 28: p. 105–109

(Kang 2010) Kang, H. J., Wang, F., Chen, B. C.; Su, Y. L., Zhang, Z. C., Yan, C. B., Functional bundles of the medial patellofemoral ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2010. 18(11): p. 1511-1516.

(Kita 2015) Kita, K., Tanaka, Y., Toritsuka, Y. et al., Factors Affecting the Outcomes of Double-Bundle Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction for Recurrent Patellar Dislocations Evaluated by Multivariate Analysis. *Am J Sports Med*, 2015. 43: p. 2988–2996

(Koskinen 1998) Koskinen, S.K., Rantanen, J.P., Nelimarkka, O.I. and Kujala, U.M., Effect of Elmslie- Trillat and Roux- Goldthwait procedures on patellofemoral relationships and symptoms in patients with patellar dislocations. *Am J Knee Surg.*, 1998. 11: p. 167-173.

(Larsen 1982) Larsen, E. and F. Lauridsen, Conservative treatment of patellar dislocations. Influence of evident factors on the tendency to redislocation and the therapeutic result. *Clin Orthop Relat Res*, 1982(171): p. 131-136

(Lee 1994) Lee, T.Q., Anzel, S.H., Bennett, K.A., et al, The influence of fixed rotational deformities of the femur on the patellofemoral contact pressures in human cadaver knees. *Clin Orthop Relat Res*, 1994. 302: p. 69–74

(Leung 1996) Leung, Y., Wai, Y., Leung, Y., Patella alta in southern China. A new method of measurement. *International Orthopaedics*, 1996. 20: p. 305-310

(Lippacher 2012) Lippacher, S., Dejour, D., Elsharkawi, M., Dornacher, D., Ring, C., Dreyhaupt, J., Reichel, H., Nelitz, M., Observer Agreement on the Dejour Trochlear Dysplasia Classification: A Comparison of True Lateral Radiographs and Axial Magnetic Resonance Images. *Am J Sports Med*, 2012. 40: p. 837–843

(Longo 2016) Longo, U.G., et al., Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction Combined With Bony Procedures for Patellar Instability: Current Indications, Outcomes, and Complications. *Arthroscopy*, 2016. 32(7): p. 1421-1427

(Mackay 2014) Mackay, N.D., Smith, N.A., Parsons, N. et al., Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction for Patellar Dislocation: A Systematic Review. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 2014. 2: 232596711454402

(Maenpaa 1997) Maenpaa, H. and Lehto, M.U., Patellar dislocation. The long-term results of nonoperative management in 100 patients. *Am J Sports Med*, 1997. 25: p. 213- 217

(Maldague 1989) Maldague, B., Malghem, J., Depth insufficiency of the proximal trochlear groove on lateral radiographs of the knee: Relation to patellar dislocation. *Radiology*, 1989. 170: p. 507-510

(Mcwalter 2007) Mcwalter, E.J., Cibere, J., Macintyre, N.J. et al., Relationship between varus-valgus alignment and patellar kinematics in individuals with knee osteoarthritis. *J Bone Joint Surg.*, 2007. 89: p. 2723–2731

(Merican 2009) Merican, A.M., Kondo, E. and Amis, A.A., The effect on patellofemoral joint stability of selective cutting of lateral retinacular and capsular structures. *J Biomech.*, 2009. 42: p. 291-296

(Moller 1989) Moller, B.N., Moller-Larsen, F. and Frich, L.H., Chondromalacia induced by patellar subluxation in the rabbit. *Acta Orthop Scand.*, 1989. 60: p.188-191

(Muneta 1994) Muneta, T., Yamamoto, H., Ishibashi, T., Asahina, S., Furuya, K., Computerized Tomographic Analysis of Tibial Tubercle Position in the Painful Female Patellofemoral Joint. *Am J Sports Med*, 1994. 22: p. 67–71

(Nelitz 2013) Nelitz, M., Dreyhaupt, J., Lippacher, S., Combined trochleoplasty and medial patellofemoral ligament reconstruction for recurrent patellar dislocations in severe trochlear dysplasia: a minimum 2-year follow-up study. *Am J Sports Med.*, 2013. 41: p. 1005–12

(Nelitz 2014a) Nelitz, M., Williams, S.R., Anatomic Reconstruction of the Medial Patellofemoral Ligament in Children and Adolescents Using a Pedicled Quadriceps Tendon Graft. *Arthroscopy Techniques*, 2014. Vol 3. No 2: p. 303-308

(Nelitz 2014b) Nelitz, M., Williams, R.S., Lippacher, S., Reichel, H., Dornacher, D., Analysis of failure and clinical outcome after unsuccessful medial patellofemoral ligament reconstruction in young patients. *Int Orthop.*, 2014. 38: p. 2265–2272

(Netter 1940) Netter, R.: Role de l'anteversion du col femoral dans la statique de la hanche normale et pathologique. Thèse pour le doctorat en médecine. *Med Dissertation*, Paris (Legrand, Amadee), 1940

(Neyret 2002) Neyret, P., Robinson, A.H., Le Coultre, B., Lapra, C., Chambat, P., Patellar tendon length – the factor in patellar instability? *Knee*, 2002. 9: p. 3-6

(Nomura 1996) Nomura, E., Classification of lesions of the medial patello-femoral ligament in patellar dislocation. *Int Orthop*. 1999. 23: p. 260-263

(Nomura 2000a) Nomura, E., Y. Horiuchi, and M. Kihara, Medial patellofemoral ligament restraint in lateral patellar translation and reconstruction. *Knee*, 2000. 7(2): p. 121-127

(Nomura 2000b) Nomura, E., Horiuchi, Y. and Kihara, M., A mid-term follow-up of medial patellofemoral ligament reconstruction using an artificial ligament for recurrent patellar dislocation. *Knee*, 2000. 7: p. 211-215

(Nomura 2002) Nomura, E., Horiuchi, Y., Inoue, M., Correlation of MR imaging findings and open exploration of medial patellofemoral ligament injuries in acute patellar dislocations. *Knee*, 2002. 9: p. 139–143

(Nomura 2003) Nomura, E. and M. Inoue, Surgical technique and rationale for medial patellofemoral ligament reconstruction for recurrent patellar dislocation. *Arthroscopy*, 2003. 19(5): p. E47

(Nomura 2005) Nomura, E.; Inoue, M.; Osada, N., Anatomical analysis of the medial patellofemoral ligament of the knee, especially the femoral attachment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2005. 13 (7): p. 510-515.

(Nomura 2006) Nomura, E., Inoue, M., Hybrid medial patellofemoral ligament reconstruction using the semitendinous tendon for recurrent patellar dislocation: minimum 3 years' follow-up. *Arthroscopy*, 2006. 22: p. 787–793

- (Nonweiler 1994) Nonweiler, D.E. and DeLee, J.C., The diagnosis and treatment of medial subluxation of the patella after lateral retinacular release. *Am J Sports Med.*, 1994. 22: p. 680-686.
- (Noyes 2006) Noyes, F.R., Albright, J.C., Reconstruction of the medial patellofemoral ligament with autologous quadriceps tendon. *Arthroscopy*, 2006. 22: p. 904–907
- (Oestern 2011) Oestern, S., Patella dislocation. *Unfallchirurg*, 2011. 114(4): p. 345-358
- (Palmu 2008) Palmu, S. Kallio, P.E., Donell, S.T., Helenius, I., Nietosvaara, Y., Acute patellar dislocation in children and adolescents: a randomized clinical trial. *J Bone Joint Surg Am*, 2008. 90 (3): p. 463-470
- (Panagopoulos 2008) Panagopoulos, A., van Niekerk, L., Triantafillopoulos I. K., MPFL reconstruction for recurrent patella dislocation: a new surgical technique and review of the literature. *Int J Sports Med.*, 2008. 29(5): p. 359-365
- (Pandit 2011) Pandit, S., Magnetic resonance imaging assessment of tibial tuberosity-trochlear groove distance: normal values for males and females. *International Orthopaedics*, 2011. 35(12): p. 1799-1803
- (Parikh 2013) Parikh, S.N., Nathan, S.T., Wall, E.J., Eismann, E.A., Complications of medial patellofemoral ligament reconstruction in young patients. *Am J Sports Med*, 2013. 41: p. 1030-1038
- (Pennock 2014) Pennock, A.T., Alam, M., Bastrom, T., Variation in tibial tubercle-trochlear groove measurement as a function of age, sex, size, and patellar instability. *Am.J. Sports Med.*, 2014. 42(2): p. 389-393
- (Petersen 2012) Petersen, W., Forkel, P., Achtnich, A., Chronische patellofemorale Instabilität. *Unfallchirurg*, 2012. 115: p. 397–409
- (Phillips 2010) Phillips, C., Silver, D., Schranz, P., Mandalia, V., The measurement of patellar height A REVIEW OF THE METHODS OF IMAGING. *Journal of Bone & Joint Surgery, British Volume*, 2010. 92 (8): p. 1045-1053
- (Pfirrmann 2000) Pfirrmann, C.W.A., Zanetti, M., Romero, J., Hodler, J., Femoral Trochlear Dysplasia: MR Findings. *Radiology* 2000. 216: p. 858–864
- (Pförringer 2005) Pförringer, W., Gorschewsky, O., Die Patella aus orthopädischer und sportmedizinischer Sicht, Schattauer-Verlag, 2005: p. 33
- (Post 2002) Post, W.R., Teitge, R. and Amis, A., Patellofemoral malalignment: looking beyond the viewbox. *Clin Sports Med*, 2002. 21: p. 521-546
- (Radlo 1997) Radlo, W. and Lorkowski, J., Congenital dislocation of the patella in children and adolescents. *Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol.*, 1997. 62: p. 331-335

- (Reynaud 1998) Reynaud, P., Dejour, D., Incarcération patellaire par impaction dans une fracture en- foncement du condyle latéral. A propos d'un cas. Rev Chir Orthop, 1998. 84: p. 752–755
- (Rillmann 1999) Rillmann, P., Fischer, A., Berbig, R., Holzach, P., Arthroscopic repair of the medial retinaculum after first time dislocation of the patella. Unfallchirurg, 1999. 102: p. 167-172
- (Roux 1888) Roux, C., Luxation habituelle de la rotule: traitement operatoire. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot, 1888. 8: p. 682–689
- (Runow 1983) Runow, A., The dislocating patella. Etiology and prognosis in relation to gene- ralized joint laxity and anatomy of the patellar articulation. Acta Orthopaedica Scandinavica Suppl., 1983. 201: p. 1-53
- (Ryzek 2015) Ryzek, D.F., Schöttle, P., Patellofemoral Dysfunction in Sports Trochleoplasty: Indications and Techniques. J Knee Surg, 2015. 28: p. 297–302
- (Sallay 1996) Sallay, P.I., Poggi, J., Speer, K.P., et al., Acute dislocation of the patella. A correlative pathoanatomic study. Am J Sports Med, 1996. 24: p. 52-60.
- (Sanders 2001) Sanders, T.G., Morrison, W.B., Singleton, B.A., Miller, M.D., Cornum, K.G., Medial patellofemoral ligament injury following acute transient dislocation of the patella: MR findings with surgical correlation in 14 patients. J Comput Assist Tomogr., 2001. 25: p. 957–962
- (Schäfer 1993) Schäfer, N., Lehmann, M. and Müller, W., Laterale Erstluxation der Patella. Arthroskopie, 1993. 6: p. 256- 259
- (Schaller 2015) Schaller, C., Kusche, H., Gutsfeld, P., Bühren, V., Differenzierte Behandlung der Patellaluxation im Adoleszentenalter. Trauma Berufskrankh, 2015. 17: p. 192–200
- (Schmeling 2010) Schmeling, A., Aktuelle Aspekte der patellofemorale Instabilität. SFA Arthroskopie Aktuell, 2010. 23: p. 1-27
- (Schneider 2016) Schneider, D.K., et al., Outcomes After Isolated Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction for the Treatment of Recurrent Lateral Patellar Dislocations: A Systematic Review and Meta-analysis. Am J Sports Med, 2016. 44(11): p. 2993-3005
- (Schöttle 2005a) Schöttle, P.B., Werner, C.M.L., Romero, J., Reconstruction of the medial patellofemoral ligament for painful patellar subluxation in distal torsional malalignment: a case report. Arch Orthop Trauma Surg., 2005. 125(9): p. 644-648
- (Schöttle 2005b) Schöttle, P.B., Fucentese, S.F., Romero, J., Clinical and radiological outcome of medial patellofemoral ligament reconstruction with a semitendinosus autograft for patella instability. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc., 2005. 13(7): p. 516-521

- (Schöttle 2006a) Schöttle, P. B., The tibial tuberosity-trochlear groove distance; a comparative study between CT and MRI scanning. *The Knee*, 2006. 13(1): p. 26-31
- (Schöttle 2006b) Schöttle, P.B., Scheffler, S.U., Schwarck, A., Weiler, A., Arthroscopic medial retinacular repair after patellar dislocation with and without underlying trochlear dysplasia: a preliminary report. *Arthroscopy*, 2006. 22: p. 1192–1198
- (Schöttle 2007) Schöttle, P.B., Schmeling, A., Rosenstiel, N., Weiler, A., Radiographic Landmarks for Femoral Tunnel Placement in Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med*, 2007. 35: p. 801–804
- (Schöttle 2008a) Schöttle, P.B., Romero, J., Schmeling, A., Weiler, A., Technical note: anatomical reconstruction of the medial patellofemoral ligament using a free gracilis autograft. *Arch Orthop Trauma Surg.*, 2008. 128(5): p. 479-484
- (Schöttle 2008b) Schöttle, P. B., Hensler, D., Imhoff, A. B., Die direkte anatomische Rekonstruktion des Lig. patellofemorale mediale in Double-bundle-Technik – „aperture fixation“. *Arthroskopie*, 2008b. 21(3): p. 192-195
- (Schöttle 2009) Schöttle, P., et al., Anatomical reconstruction of the medial patellofemoral ligament using a free gracilis autograft. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2009. 129(3): p. 305-309
- (Schöttle 2010) Schöttle, P.B., Hensler, D., Imhoff, A.B., Anatomical double- bundle MPFL reconstruction with an aperture fixation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.*, 2010. 18: p. 147–151
- (Schünke 2011) Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U., Voll, M., Wesker, K., Prometheus – Lernatlas der Anatomie – Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem, Thieme Verlag 2011, 3. Auflage: p. 440-453
- (Scuderi 1988) Scuderi, G., Cuomo, F., Scott, W. N., Lateral release and proximal realignment for patellar subluxation and dislocation. A long-term follow-up. *J Bone Joint Surg Am.*, 1988. 70(6): p. 856-861
- (Seitlinger 2012) Seitlinger, G., Scheurecker, G., Högler, R., Labey, L., Innocenti, B., Hofmann, S., Tibial Tubercle-Posterior Cruciate Ligament Distance: A New Measurement to Define the Position of the Tibial Tubercle in Patients With Patellar Dislocation. *Am J Sports Med* 2012. 40: p. 1119-1125
- (Senavongse 2003) Senavongse, W. Farahmand, F., Jones, J., Andersen, H., Bull, A.M. and Amis, A.A., Quantitative measurement of patellofemoral joint stability: force-displacement behavior of the human patella in vitro. *J Orthop Res*, 2003. 21: p. 780-786
- (Senavongse 2005) Senavongse, W. and A.A. Amis, The effects of articular, retinacular, or muscular deficiencies on patellofemoral joint stability: a biomechanical study in vitro. *J Bone Joint Surg Br*, 2005. 87(4): p. 577-582

(Shan 2012) Shah, J.N., Howard, J.S., Flanigan, D.C., Brophy, R.H., Carey, J.L., Lattermann, C., A systematic review of complications and failures associated with medial patellofemoral ligament reconstruction for recurrent patellar dislocation. *Am J Sports Med.*, 2012. 40: p. 1916–23

(Siebold 2010) Siebold, R., et al., Hamstring graft fixation in MPFL reconstruction at the patella using a transosseous suture technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2010. 18(11): p. 1542-1544

(Simmons 1992) Simmons, E., Cameron, J., Patella alta and recurrent dislocation of the patella. *Clin. Orthop. Relat. Res.*, 1992: p. 265-269

(Singer 1994) Singer, R., Davy, D.T., Goldberg, V.M., Effects of a patella alta and patella infera on patellofemoral contact forces, *J Biomech*, 1994. 27(8): p. 1059-1065

(Smirk 2003) Smirk, C. and Morris, H., The anatomy and reconstruction of the medial ligament. *Knee*, 2003. 10: p. 221-227

(Spritzer 1997) Spritzer, C.E., Courneya, D.L., Burk, D.L., Jr., Garrett, W.E. and Strong, J.A., Medial retinacular complex injury in acute patellar dislocation: MR findings and surgical implications. *AJR Am J Roentgenol*, 1997. 168: p. 117-122

(Steensen 2004) Steensen, R.N., Dopirak, R.M. and McDonald, W.G. 3rd., The anatomy and isometry of the medial patellofemoral ligament: implications for reconstruction. *Am J Sports Med.*, 2004. 32: p. 1509-1513.

(Steensen 2005) Steensen, R.N., Dopirak, R.M., Maurus, P.B., A simple technique for reconstruction of the medial patellofemoral ligament using a quadriceps tendon graft. *Arthroscopy*, 2005. 21: p. 365–370

(Tanner 2003) Tanner, S.M., Garth, W.P., Jr., Soileau, R. and Lemons, J.E., A modified test for patellar instability: the biomechanical basis. *Clin J Sport Med.*, 2003.13: p. 327-338

(Tegner 1985) Tegner, Y., Lysholm, J., Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clinical Orthopaedics*. 1985.198: p. 43-49

(Tompkins 2015) Tompkins, M.A. and E.A. Arendt, Patellar instability factors in isolated medial patellofemoral ligament reconstructions--what does the literature tell us? A systematic review. *Am J Sports Med*, 2015. 43(9): p. 2318-2327

(van Haver 2015) van Haver, A., Roo, K. de, Beule, M. de, Labey, L., Baets, P. de, Dejour, D., Claessens, T., Verdonk, P., The effect of trochlear dysplasia on patellofemoral biomechanics: a cadaveric study with simulated trochlear deformities. *Am J Sports Med*, 2015. 43: p. 1354–1361

(von Engelhardt 2015) von Engelhardt, L.V., Jerosch, J., Patellainstabilität bei Trochleadysplasie. *Diagnostik und Behandlungsmöglichkeiten*. OUP, 2015. 6: p. 308–314

(Wagner 2013) Wagner, D., Pfalzer, F., Hingelbaum, S., Huth, J., Mauch, F., Bauer, G., The influence of risk factors on clinical outcomes following anatomical medial patellofemoral ligament (MPFL) reconstruction using the gracilis tendon. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc.*, 2013. 21: p. 318–324

(Waldt 2011) Waldt, S., Eiber, M., Wörtler, K., Messverfahren und Klassifikation in der muskuloskelettalen Radiologie. 2011, 1. Auflage Thieme Verlagsgruppe, Stuttgart, New York, Delhi, Rio. p. 1-3

(Ward 2007) Ward, S.R., Terk, M.R., Powers, C.M., Patella Alta: Association with Patellofemoral Alignment and Changes in Contact Area During Weight-Bearing. *J Bone Joint Surg Am*, 2007. 89: p. 1749–1755

(Weber 1977) Weber, U., Zum Torsionsproblem des distalen Femurs (Eine tierexperimentelle Untersuchung). *Z Orthop Grenzgeb*, 1977. 115: p. 707–715

(Westhoff 2007) Westhoff, B., Jäger, M., Krauspe, R., Kindliche Beinachsen – was ist pathologisch?. *Der Orthopäde*, 2007. 36: p. 485-500

(Wirth 2005a) Carl Joachim Wirth, Ludwig Zichner, Dieter Kohn, Orthopädie und orthopädische Chirurgie – Knie. Georg Thieme Verlag, 2005: p. 379-381

(Wirth 2005b) Wirth, C.J., Zichner, L., Kohn, D., Orthopädie und orthopädische Chirurgie – das Standardwerk für Klinik und Praxis - Knie, Georg-Thieme Verlag, Stuttgart, 2005: p. 67-76

(Wirth 2013) Wirth, B., Meier, N., Koch, P.P., et al., Entwicklung und Evaluation einer deutschen Version der Tegner Aktivitätsskala zur Erfassung der Funktion nach einer Verletzung des vorderen Kreuzbandes. *Sportverletzung & Sportschaden*, 2013. 27: p. 21

(Yamamoto 1986) Yamamoto, R.K., Arthroscopic repair of the medial retinaculum and capsule in acute patellar dislocations. *Arthroscopy*, 1986. 2: p. 125-131

(Yeung 2016) Yeung, M., et al., Indications for Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *J Knee Surg*, 2016. 29(7): p. 543-554

7. Anhang:

Anhang 1

Tegner Lysholm Knee Scoring Scale



Lysholm Score (modifizierter Score nach Lyshom und Gillquist)

HINKEN	
• nein	5
• wenig oder zeitweise	3
• stark oder immer	1
BELASTUNG	
• Vollbelastung	5
• Gehstützen oder Stock	3
• Belastung nicht möglich	0
BLOCKIERUNG	
• keine Blockierung und kein Gefühl der Einklemmung	15
• Gefühl der Einklemmung aber keine Blockierung	10
• gelegentliche Blockierung	6
• häufige Blockierung	2
• blockiertes Gelenk bei Untersuchung	0
INSTABILITÄT	
• Niemals „giving way“ Phänomen	25
• „giving way“ selten während des Sports oder anderer schwerer Anstrengung	20
• „giving way“ häufig während des Sports oder anderer schwerer Anstrengung (oder unmöglich, daran teilzunehmen)	15
• „giving way“ gelegentlich während Tätigkeiten des Alltags	10
• „giving way“ oft während Tätigkeiten des Alltags	5
• „giving way“ bei jedem Schritt	0
SCHMERZEN	
• keine	25
• unregelmäßig and gering während schwerer Anstrengung	20
• deutlich/ausgeprägt während schwerer Anstrengung	15
• deutlich während oder nach dem Gehen von mehr als 2km	10
• deutlich während oder nach dem Gehen von weniger als 2km	5
• ständig	0

SCHWELLUNG

- | | |
|--------------------------------|----|
| • keine | 10 |
| • bei schwere Anstrengung | 6 |
| • bei gewöhnlicher Anstrengung | 2 |
| • ständig | 0 |

TREPPENSTEIGEN

- | | |
|----------------------------|----|
| • kein Problem | 10 |
| • ein wenig beeinträchtigt | 6 |
| • Schritt für Schritt | 2 |
| • nicht möglich | 0 |

HOCKEN

- | | |
|------------------------|---|
| • kein Problem | 5 |
| • wenig beeinträchtigt | 4 |
| • nicht über 90° | 2 |
| • nicht möglich | 0 |

GESAMTPUNKTEZAHL

Anhang 2

Tegner-Aktivitäts-Score



Tegner Activity Scale (TAS) (validierte deutsche Version (Wirth 2013))

Mit den nachfolgenden Fragen möchten wir untersuchen, wie gut Ihre alltags- und sportartspezifische Funktion ist.

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

Aktivitätsgrad	Tätigkeit	Wertung
Wettkampfsport – auf nationalem und internationalem Niveau	<ul style="list-style-type: none">Fußball, Ski alpin (auf nationalem oder internationalem Niveau)	10
Wettkampfsport	<ul style="list-style-type: none">Eishockey, Ringen, Turnen, Fußball, Ski alpin (auf regionalem Niveau)	9
Wettkampfsport	<ul style="list-style-type: none">Snowboard, Badminton, Squash, Leichtathletik (Sprungdisziplinen)	8
Wettkampfsport zz Freizeitsport	<ul style="list-style-type: none">Tennis, Leichtathletik, (Lauf- und Wurfdisziplinen), Geräteturnen, Handball, Basketball, Orientierungslauf, CrosslaufEishockey, Fußball, Ski alpin	7
Freizeitsport	<ul style="list-style-type: none">Badminton, Tennis, Squash, Basketball, Handball, Volleyball, Orientierungslauf, Crosslauf, Snowboard, Aerobic (high impact), Joggen (mindestens 5x die Woche)	6
Wettkampfsport Freizeitsport Arbeit	<ul style="list-style-type: none">Radfahren, Skilanglauf, EiskunstlaufTurnen, Gymnastik, In-line-skating, Klettern, Bergsteigen, Skitouren, Schneeschuhlaufen, Joggen auf unebenem Boden (mindestens 2x die Woche)Schwere körperliche Arbeit (Bauarbeit, Waldarbeit)	5
Freizeitsport Arbeit	<ul style="list-style-type: none">Skilanglauf, Radfahren, Tanzen, Aerobic (low impact), Bergwandern (abwärts), Joggen auf ebenem Boden (mind. 2x die Woche)Mittelschwere körperliche Arbeit (schwere Hausarbeit)	4
Wettkampf- und Freizeitsport Arbeit Gehen	<ul style="list-style-type: none">Schwimmen, Wandern, Walking, Kegeln, BowlingLeichte körperliche ArbeitQuerfeldein ist möglich	3

Arbeit Gehen	<ul style="list-style-type: none"> • Vorwiegend sitzende Tätigkeit • Auf unebenem Boden möglich 	2
Arbeit Gehen	<ul style="list-style-type: none"> • Sitzende Tätigkeit • Nur auf ebenem Boden möglich 	1
Arbeit Gehen	<ul style="list-style-type: none"> • Arbeitsunfähig oder berentet aufgrund von Knieproblemen • Nur eingeschränkt möglich 	0