Plastik des medialen patellofemorale Ligaments

Wer braucht sie wann?

Die Patellaluxation ist eine Verletzung, die sich meist auf Grundlage (teils komplexer) weichteiliger oder ossärer Pathologien der unteren Extremität ereignet. Häufig sind Kombinationsdeformitäten zu finden, die eine Instabilität begünstigen. Die erfolgreiche Therapie erfordert die Kenntnis der vorliegenden Pathologien und deren Einfluss auf Tracking und Stabilität der Patella. Dieser Beitrag soll eine entsprechende Vorgehensweise, mit einem an eine Klassifikation angelehnten Therapiealgorithmus vorstellen.

Das mediale patellofemorale Ligament (MPFL) ist der Hauptstabilisator der Patella in strecknahen Beugegraden und antagonisiert passiv einen Großteil der lateralisierenden Kraftvektoren, die auf die Patella wirken [6]. Da das Ligament in ca. 90 % aller Patellaluxationen zerrissen ist, war die MPFL-Plastik lange Synonym für die operative Stabilisation der Kniescheibe, ungeachtet der zugrundeliegenden Pathologien der unteren Extremität [6]. Demzufolge verlor die operative Therapie an Popularität, begründet durch ähnlich hohe Relaxationsraten nach konservativer vs. operativer Therapie von 67–71 % im langfristigen postoperativen Verlauf [22].

Es ist heute zunehmend bekannt, dass neben der Ruptur des MPFL eine Vielzahl möglicher Faktoren – wie Weichteilkontrakturen, Patella alta, pathologische TT-TG („tibial tiberosity to trochlear groove“)-Distanz, Genu valgum sowie Torsionsdeformitäten oder Trochleadysplasie – eine Instabilität der Patella be-

dingen können [12, 13]. Nicht selten liegt eine Kombination ursächlicher Pathologien vor, sodass ein singulärer Eingriff zur erfolgreichen Therapie selten zielführend ist [12].

Seit einiger Zeit gewinnt die multifaktorielle Genese der Patellainstabilität in der Literatur auch bezüglich der Therapie an Bedeutung [2, 12, 14].

Klassifikation der Patellainstabilität

Ziel einer Einteilung der Patellainstabilität muss neben einer sinnvollen Intra- und Interobserverreliabilität die klinische Relevanz mit therapeutischer Konsequenz sein. Frosch und Schmelting [12] unterscheiden in einer neuen Klassifikation 5 Haupttypen, abhängig von der vorliegenden Hauptpathologie (Abb. 1). Dabei sind diese in aufsteigender Relevanz geordnet, woraus sich eine therapeutische Priorisierung ableiten lässt [12]. Bei klinisch gleichem Einfluss zweier Pathologien erfolgt die Einteilung gemäß der höheren Stufe [11]. Die Klassifikation wird in unserer Klinik seit ca. 10 Jahren erfolgreich verwendet.

Grundvoraussetzung einer sinnvollen Klassifizierung ist die gründliche Diagnostik. Neben einem Röntgenbild in 2 Ebenen sollte das Kniegelenk zusätzlich in der Magnetresonanztomographie (MRT) abgebildet werden, um alle relevanten Pathologien des Kniegelenks sowie mögliche Knorpelläsionen, osteochondrale Flakes oder andere Begleitpathologien vollständig erfassen zu können, was maßgeblichen Einfluss auf die Therapie hat. Zudem können die Patellahöhe mittels ISR (Insall-Salvati-

Ratio) sowie die TT-TG-Distanz ermittelt werden, was eine ausreichende Darstellung des Kniegelenks nach distal erfordert.

Als erweiterte Standarddiagnostik ist ein Ganzbeinröntgen des betroffenen Beins im Stehen angezeigt, um Abweichungen der Beinachse in der Frontalebene unter Belastung objektivieren zu können.

Bei klinischem Verdacht auf Torsionsdeformitäten der unteren Extremität sollte ergänzend eine Torsions-CT (Computertomographie) bzw. -MRT erfolgen. Wir empfehlen die Messung der Torsionswinkel nach Waidelich et al. [29]. Maßgeblich hierfür ist die beidseitige Abbildung des proximalen und distalen Femurs sowie der proximalen und distalen Tibia [26].

Begriff der Patellainstabilität

Zum Zeitpunkt der Luxation ist entscheidend, ob es sich um eine einmalige (traumatische) Luxation mit direktem Anprall der Kniescheibe oder um eine instabile Situation handelt. Das ist dahingehend wichtig, als dass auch die erstmalige Luxation Erstmanifestation einer patellofemorale Instabilität sein kann. Der Begriff der Instabilität muss dabei genau definiert sein und kann rezidivierende (Sub-)Luxationen bzw. eine hohe Relaxationswahrscheinlichkeit oder aber die subjektive Angst des Patienten vor einer Relaxation bedeuten [10]. Balcarek et al. [2] haben mit dem PISS („patella instability severity score“) ein klinisch relevantes Instrument entwickelt, das contributing Faktoren berücksichtigt und die Entscheidung über die folgende The-

Typ 1

- Instabilität
- Kein Maltracking

Typ 2

- Instabilität
- Kein Maltracking

Typ 3

- Instabilität
- Maltracking

Typ 3a

Weichteilkontraktur/
insuffiziente Muskulatur

Typ 3b

Patella alta

Typ 3c

pathologische
TT-TG-Distanz

Typ 3d

Genu valgum

Typ 3e

Torsionsdeformität

Typ 4

- Instabilität
- Verlust des Patellatrackings

schwere
Trochleadysplasie

Typ 5

- Keine Instabilität
- Maltracking

d. h. pathologische
Kniebasislinie

Abb. 1 ▲ Klassifikation der patellofemorale Instabilität nach Frosch und Schmeling. (Aus [12])

rapie (operativ vs. konservativ) erleichtern soll. Entsprechend vorliegenden Pathologien (Alter, TT-TG-Distanz, Patellahöhe, Instabilität der Gegenseite, Patellatilt und Trochleadysplasie) ergibt sich ein Punktwert. Ab ≥ 4 Punkten gilt die

Kniescheibe als instabil mit einem 5-fach erhöhten Risiko einer Reluxation [2].

Ist der regelhafte Lauf der Kniescheibe gestört, spricht man von einem Maltracking, das sowohl im distalen als auch im proximalen Verlauf der Patella auftreten kann [11]. Dies kann sowohl in Ver-

bindung mit einer Instabilität als auch isoliert ohne Instabilität auftreten [11]. Prinzipiell kann ein Maltracking zwar die Instabilität begünstigen, sollte jedoch sowohl hinsichtlich der Genese als auch der Therapie eigens betrachtet werden [11].

Traumatische Patellaluxation – Typ 1

Die traumatische Patellaluxation ist in der Regel selten. Im eigenen Kollektiv (seit 2010) macht sie ca. 2,5 % aller Patellaluxationen aus. Voraussetzung ist ein adäquates Trauma – wie ein direktes Anpralltrauma der Kniescheibe – ohne das Vorliegen weiterer Risikofaktoren [11]. Aufgrund der demzufolge geringen Reluxationstendenz gilt dieser Typ nicht als instabil und kann daher konservativ behandelt werden [11]. Die Ausnahme bilden Fälle dislozierter osteochondraler Flake-Frakturen, die einer sofortigen Therapie zur Refixation des Flakes bedürfen (Abb. 2). Dennoch gibt es Hinweise, dass auch dieser Typ von der Stabilisierung mittels MPFL profitieren könnte, um progredienten Knorpelschäden entweder im Sinne einer Induktion der Knorpeldegeneration durch das initiale Trauma [24] oder einer persistierenden asymptomatischen Instabilität entgegenzuwirken.

Patellofemorale Instabilität ohne Maltracking

Findet sich eine instabile Kniescheibe mit Reluxationstendenz (PISS ≥ 4) bei jedoch regelrechtem Lauf der Kniescheibe, liegt Typ 2 vor [2, 12]. In der Regel ist das MPFL zerrissen (Abb. 3), die Patella bedarf einer operativen Stabilisierung [1]. Die MPFL-Plastik mittels autologer Gracilis- oder Semitendinosus-Sehne ist hierbei am ehesten Erfolg versprechend und alternativen weichteiligen Operationen deutlich überlegen [3, 17]. Zu Beginn muss vor Indikationsstellung unbedingt ein Maltracking ausgeschlossen werden, da die MPFL-Plastik lediglich die Instabilität der Kniescheibe zu kompensieren vermag [11, 28]; das Patellatracking jedoch bleibt weitgehend unbeeinflusst [28].

Patellofemorale Instabilität und Maltracking

In ca. 2,6 % aller Fälle wird die Patella durch postoperative Narben, laterale Kontrakturen nach „lateral release“ oder muskuläre Dysbalancen in ihrem Laufpa-

Trauma Berufskrankh 2017 · 19 (Suppl 3):S297–S303
<https://doi.org/10.1007/s10039-017-0318-y>
 © Springer Medizin Verlag GmbH 2017

J. Frings · R. Akoto · G. Müller · K. H. Frosch

Plastik des medialen patellofemoralen Ligaments. Wer braucht sie wann?

Zusammenfassung

Die Therapie der Patellainstabilität bedarf einer genauen Vorgehensweise im Hinblick auf Klassifikation, Diagnostik und Therapieplanung. Ein undifferenziertes Vorgehen resultiert häufig in persistierender Instabilität und ausbleibendem Therapieerfolg. Es sind verschiedene Ursachen und Therapieansätze der patellofemoralen Instabilität bekannt, das mediale patellofemorale Ligament (MPFL) galt lange als Synonym für die operative Therapie. Heute existieren Behandlungsalgorithmen und Systeme, welche die zugrunde liegenden Pathologien berücksichtigen und Erfolg versprechende Ergebnisse erlauben. Maßgeblich ist hier die Unterscheidung zwischen Patellainstabilität und -maltracking,

die jeweils separat zu betrachten sind. Entsprechend der vorliegenden Hauptpathologie kann ein adäquater Algorithmus verfolgt und niedrige Reluxationsraten erreicht werden. Dieser Beitrag beleuchtet den Einfluss verschiedener Pathologien und die Möglichkeiten der operativen Stabilisierung des patellofemoralen Gelenks. Es wird dabei auf die jeweiligen Subtypen eingegangen, und die entsprechenden Optionen werden erläutert.

Schlüsselwörter

Patella · Instabilität · Maltracking · Osteotomie · Knie

Ligamentoplasty of the medial patellofemoral ligament. Who needs it and when?

Abstract

Treatment of patellar instability is demanding and requires an exact approach with respect to classification, diagnostics and treatment planning. An undifferentiated approach often results in persisting instability, persistent pain and low patient satisfaction. A variety of causes and treatment approaches for patellofemoral instability are known. For a long time the medial patellofemoral ligament (MPFL) was synonymous with the operative treatment. Nowadays, there are treatment algorithms and systems that take the underlying pathology into consideration and enable promising results. Moreover the differentiation between patellar instability

and patellar maltracking is crucial and each should be considered separately. An appropriate algorithm can be followed depending on the main pathology present and lower reluxation rates can be achieved. This article illustrates the influence of various pathologies and the possibilities for operative stabilization of the patellofemoral joint. The various subtypes are discussed and the appropriate options are explained.

Keywords

Patella · Instability · Maltracking · Osteotomy · Knee

teralisiert (Typ 3a; [11, 16]). Der M. vastus medialis obliquus (VMO) hat in strecknaher Beugung bis zu 30 % Anteil an der Stabilisierung der Patella und kann damit auch bei defizitärer Funktion erheblich zur mediolateralen Destabilisierung beitragen [25]. Solche Dysbalancen können initial durch physiotherapeutisch angeleitete Kräftigungsübungen ausgeglichen werden. Narbige Kontrakturen des lateralen Retinakulums hingegen sollten durch ein laterales Narbenrelease – im Sinne einer Z-Plastik – in Kombination mit einer MPFL-Plastik gelöst werden [12].

Am deutlichsten wird das Patellatracking durch ossäre Deformitäten beeinflusst [12, 15, 19]. Das sog. Maltracking begünstigt die patellofemorale Instabilität, muss therapeutisch jedoch, wie oben beschrieben, gesonderte Aufmerksamkeit erhalten [28].

Durch eine proximalisierte Stellung der Patella (Patella alta) taucht diese erst spät in die ossäre Führung der Trochlea ein und ist dementsprechend instabil [2]. Per Definition ist dies ab einem ISR von $>1,2$ der Fall, wobei zwischen der Messung in der MRT und in der CT

Abb. 2 ◀ Traumatische Patellaluxation. a Am Patellafirst zeigt sich ein osteochondrales Dissekant (Pfeil), das sich b im lateralen Kompartiment als freier Gelenkkörper wiederfindet (Stern)

Abb. 3 ▲ Magnetresonanztomographie eines Kniegelenks nach Patellaluxation. Das mediale patellofemorale Ligament (MPFL) ist zerrissen (Pfeil). Die Patella zeigt einen vermehrten lateralen Tilt

Abb. 4 ◀ a–c) Ganzbeinröntgen im Stehen einer Patientin mit valgischer Beinachse von 6,8°, pathologisch vergrößerter TT-TG („tibial tiberosity to trochlear groove“-)Distanz und rezidivierenden Patellaluxationen. Die Korrektur erfolgte mittels medial schließender distaler Femurosteotomie, medialisierender Osteotomie der Tuberositas tibiae und MPFL (mediales patellofemorales Ligament)-Plastik. d, e) Postoperativ zeigt sich eine rezentrierte Patella bei gerader Beinachse

Messdifferenzen von bis zu 0,2 auftreten können [30]. Die Distalisierung der Tuberositas tibiae in Kombination mit einer MPFL-Plastik führt hier zu guten klinischen Ergebnissen [11, 18]. Ein $ISR \geq 1,5$ ist mit hohen Relaxationsraten assoziiert und sollte aus unserer Sicht zur Tuberositasdistalisierung führen [11].

Einen großen Einfluss auf das Patellatracking hat die TT-TG-Distanz, die physiologischerweise bei 10–15 mm liegt [23, 27]. Eine TT-TG-Distanz von

≥ 16 mm gilt bereits als Risikofaktor für rezidivierende Luxationen der Patella (Typ 3c) [2], ab ≥ 20 mm ist das natürliche Tracking (Lauf) der Kniescheibe meist deutlich sichtbar beeinflusst und erfordert meist die chirurgische Normalisierung der TT-TG-Distanz [5, 28]. Das intraoperative Ausmaß der Medialisierung sollte sich dabei einerseits an den individuellen Normwerten orientieren, zusätzlich kann die Normalisierung des Trackings simultan unter arthrosko-

pischer Sicht kontrolliert werden [11]. Eine Überkorrektur der TT-TG-Distanz auf neutrale oder sogar negative Werte führt im mittel- bis langfristigen Verlauf zu erheblichen retropatellaren Knorpelschäden [20] und ist zu vermeiden [11, 27]. Auch wenn dies trivial erscheint, ist die Voraussetzung eine genaue präoperative Messung der TT-TG-Distanz in der MRT.

Achsdeformitäten – Genu valgum

Achsdeformitäten der unteren Extremität – insbesondere valgische Deformitäten – beeinflussen das Patellatracking sowie den Patellatilt deutlich (Typ 3d) [12, 19]. Ein Grenzwert, ab dem die Korrektur der Beinachse erfolgen sollte, existiert bis heute nicht. Zudem kann die patellofemorale Instabilität durch valgische Deformitäten häufig nur durch kombinierte Eingriffe mit Tuberositasmedialisierung und MPFL-Plastik erfolgreich behandelt werden (Abb. 4; [11]). Des Weiteren konnten Studien zeigen, dass valgische Deformitäten ab 3° mit einem 2,5-fach erhöhten Risiko der femorotibialen Arthrose einhergehen [9, 12]. Vor diesem Hintergrund sehen wir die Indikation zur distalen varisierenden Femurosteotomie (DFO) ab einem Wert von 5° valgischer Beinachse, verbunden mit einem klinischen Maltracking der Patella [11]. Die Planung des operativen Eingriffs muss sich grundsätzlich an den Regeln der

Abb. 5 ◀ a–c Junge Patientin mit einer femoralen Torsionsdeformität von 48,7° Innentorsion links und rezidivierenden Patellaluxationen. d Die Patella steht chronisch subluxiert. e Es erfolgt eine distale Femuraußentorsionsosteotomie mit Medialisierung der Tuberositas tibiae und MPFL (mediales patellofemorales Ligament)-Plastik. f Postoperativ zeigt sich eine deutliche Rezentrierung der Patella gerader Beinachse

Osteotomie orientieren. Tibiale Deformitäten können gleichermaßen für eine Achsdeformität verantwortlich sein.

Torsionsdeformitäten

Abweichungen der femoralen oder tibialen Torsion werden häufig übersehen, da es einer dezidierten klinischen Untersuchung sowie einer ausführlichen Diagnostik bedarf, um sie zu erkennen. Häufig handelt es sich um junge Patienten mit hohem Leidensdruck, die zu großen Teilen schon (mehrfach) voroperiert sind [11]. Mit 12 % haben solche Deformitäten einen maßgeblichen Anteil an der Genese patellofemoraler Instabilitäten [7].

Nach Waidelich et al. [29] beträgt die femorale Antetorsion $-24,1^\circ (\pm 17,4^\circ)$ und die tibiale Außentorsion $34,9^\circ (\pm 15,9^\circ)$. Abweichungen von 10° können bei rupturiertem MPFL bereits zu einer deutlichen Lateralisierung und Instabilität der Patella (Typ 3e) führen [12, 15]. Aufgrund des großen Einflusses von Femur- und Tibiatorsion auf das Patellatracking konnten einige klinische

Studien gute Ergebnisse durch detorquierende Osteotomien zeigen [7, 8, 21]. Auch hier sind häufig Kombinationen verschiedener pathologischer Faktoren verantwortlich für die patellofemorale Instabilität, die durch entsprechende Kombinationseingriffe adressiert werden sollten (▣ Abb. 5; [7, 11]).

Eine besondere Rolle spielen Torsionsdeformitäten, die mit einem Patellatracking, nicht jedoch mit einer Instabilität einhergehen und dem Typ 5 zuzuordnen sind (▣ Abb. 6). Häufig wird dies beim „inwardly-pointing knee“, seltener auch bei pathologisch abfallender Kniebasislinie beobachtet [7, 11]. Die Patienten klagten über einen ausgeprägten vorderen Knieschmerz, begleitet durch eine eher chronisch, höchstens in Subluxation stehende Patella; ein Luxationsereignis wird verneint [11]. In diesen Fällen ist die isolierte Torsionsosteotomie – ohne MPFL-Plastik – die zielführende Operation, um das Maltracking zu korrigieren [11].

Verlust des Patellatrackings – Typ 4

Typ 4 ist charakterisiert durch den vollständigen Verlust des Patellatrackings, verbunden mit einer ausgeprägten patellofemorale Instabilität [11]. Ursache ist die Trochleadysplasie, die nach Dejour et al. in verschiedenen Ausprägungen in bis zu 96 % aller Fälle patellofemorale Instabilität vorliegt [4, 13]. Die Trochleadysplasie ist charakterisiert durch eine hypoplastische mediale Kondyle sowie eine konsekutiv abgeflachte und medialisierte Rinne, was zur relativen Abflachung der lateralen Inklinations führt [11, 13]. Insbesondere Grad B und D nach Dejour sowie eine laterale Inklinations von $<10^\circ$ werden als Indikation zur Trochleaplastik aufgeführt [11]. Ziel der Trochleaplastik müssen daher die Vertiefung und Lateralisierung der Trochlearrinne sein, ohne den retropatellaren Druck zu erhöhen [11]. Die übermäßige chirurgische Erhöhung der lateralen Kondyle hingegen birgt eben diese Gefahr [13]. Komplementiert wird der Eingriff in der

Abb. 6 ▲ a Junge weibliche Patientin mit vorderen Knieschmerz, einer femoralen Innentorsion von -40° und einer tibialen Torsion von 50° . b Die Patella des linken Kniegelenks steht lateralisiert. c–e Es erfolgte eine femorotibiale detorquierende Doppelosteotomie. Die Patientin ist heute beschwerdefrei

Regel durch eine Stabilisierung der Patella mittels MPFL-Plastik in Verbindung mit einer häufig notwendigen lateralen Z-Plastik, um ein physiologisches Patella-tracking zu gewährleisten [11]. Dennoch muss die Kongruenz einer patellaren mit der trochleären Dysplasie in der Planung und Durchführung der Trochleaplastik – insbesondere im Hinblick auf das Ausmaß der Resektion – bedacht werden, um eine iatrogene Inkongruenz zu vermeiden und damit die Schmerzsymptomatik des Patienten zu verschlimmern.

Fazit für die Praxis

- Das Verständnis vorliegender Pathologien und die Planung der Therapieoptionen bedürfen einer gründlichen präoperativen Diagnostik.

- Die Verwendung einer Klassifikation erlaubt ein effektives standardisiertes Vorgehen.
- Patellainstabilität und -maltracking müssen unterschieden und jeweils gezielt adressiert werden.
- Torsionsdeformitäten erfordern eine Torsions-CT oder -MRT zur Vervollständigung der Diagnostik.
- Distale Femurosteotomien zur Korrektur von Achs- oder Torsionsdeformitäten sind komplex und häufig kombiniert mit zusätzlichen Operationstechniken.

Korrespondenzadresse

Dr. J. Frings
Chirurgisch-Traumatologisches Zentrum, Asklepios Klinik St. Georg
Lohmühlenstr. 5,
20099 Hamburg, Deutschland
j.frings@asklepios.com

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. J. Frings, R. Akoto, G. Müller und K.H. Frosch geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine von den Autoren durchgeführten Studien an Menschen oder Tieren.

The supplement containing this article is not sponsored by industry.

Literatur

- Balcarek P, Ammon J, Frosch S et al (2010) Magnetic resonance imaging characteristics of the medial patellofemoral ligament lesion in acute lateral patellar dislocations considering trochlear dysplasia, patella alta, and tibial tuberosity-trochlear groove distance. *Arthroscopy* 26:926–935
- Balcarek P, Oberthür S, Hopfensitz S et al (2014) Which patellae are likely to redislocate? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 22:2308–2314
- Bitar AC, Demange MK, D'elia CO et al (2012) Traumatic patellar dislocation: nonoperative treatment compared with MPFL reconstruction using patellar tendon. *Am J Sports Med* 40:114–122
- Dejour D, Le Coultre B (2007) Osteotomies in patello-femoral instabilities. *Sports Med Arthrosc* 15:39–46
- Dejour H, Walch G, Nove-Josserand L et al (1994) Factors of patellar instability: an anatomic radiographic study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2:19–26
- Desio SM, Burks RT, Bachus KN (1998) Soft tissue restraints to lateral patellar translation in the human knee. *Am J Sports Med* 26:59–65
- Dickschas J, Harrer J, Pfeifferkorn R et al (2012) Operative treatment of patellofemoral maltracking with torsional osteotomy. *Arch Orthop Trauma Surg* 132:289–298
- Dickschas J, Tassika A, Lutter C et al (2017) Torsional osteotomies of the tibia in patellofemoral dysbalance. *Arch Orthop Trauma Surg* 137:179–185
- Felson DT, Niu J, Gross KD et al (2013) Valgus malalignment is a risk factor for lateral knee osteoarthritis incidence and progression: findings from the Multicenter Osteoarthritis Study and the Osteoarthritis Initiative. *Arthritis Rheum* 65:355–362
- Frosch K-H, Akoto R, Heitmann M et al (2015) Patellofemorale Instabilität. *Arthroskopie* 28:194–201
- Frosch K-H, Schmeling A (2015) A new classification system of patellar instability and patellar maltracking. *Arch Orthop Trauma Surg*

- 136(4):485–497. <https://doi.org/10.1007/s00402-015-2381-9>
12. Frosch KH, Schmeling A (2016) A new classification system of patellar instability and patellar mal-tracking. *Arch Orthop Trauma Surg* 136:485–497
 13. Frosch S, Balcarek P, Walde TA et al (2011) The treatment of patellar dislocation: a systematic review. *Z Orthop Unfall* 149:630–645
 14. Hiemstra LA, Kerslake S, Lafave M et al (2014) Introduction of a classification system for patients with patellofemoral instability (WARPS and STAID). *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 22:2776–2782
 15. Kaiser P, Schmoelz W, Schoettle P et al (2017) Increased internal femoral torsion can be regarded as a risk factor for patellar instability – a biomechanical study. *Clin Biomech* 47:103–109
 16. Lorenz A, Muller O, Kohler P et al (2012) The influence of asymmetric quadriceps loading on patellar tracking – an in vitro study. *Knee* 19:818–822
 17. Ma LF, Wang F, Chen BC et al (2013) Medial retinaculum plasty versus medial patellofemoral ligament reconstruction for recurrent patellar instability in adults: a randomized controlled trial. *Arthroscopy* 29:891–897
 18. Magnussen RA, De Simone V, Lustig S et al (2014) Treatment of patella alta in patients with episodic patellar dislocation: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 22:2545–2550
 19. Mcwalter EJ, Cibere J, Macintyre NJ et al (2007) Relationship between varus-valgus alignment and patellar kinematics in individuals with knee osteoarthritis. *J Bone Joint Surg* 89:2723–2731
 20. Nakagawa K, Wada Y, Minamide M et al (2002) Deterioration of long-term clinical results after the Elmslie-Trillat procedure for dislocation of the patella. *Bone Joint J* 84:861–864
 21. Nelitz M, Wehner T, Steiner M et al (2014) The effects of femoral external derotational osteotomy on frontal plane alignment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 22:2740–2746
 22. Palmu S, Kallio PE, Donell ST et al (2008) Acute patellar dislocation in children and adolescents: a randomized clinical trial. *J Bone Joint Surg Am* 90:463–470
 23. Pandit S, Frampton C, Stoddart J et al (2011) Magnetic resonance imaging assessment of tibial tuberosity-trochlear groove distance: normal values for males and females. *Int Orthop* 35:1799–1803
 24. Salonen EE, Magga T, Sillanpaa PJ et al (2017) Traumatic patellar dislocation and cartilage injury: a follow-up study of long-term cartilage deterioration. *Am J Sports Med* 45:1376–1382
 25. Senavongse W, Amis A (2005) The effects of articular, retinacular, or muscular deficiencies on patellofemoral joint stability A BIOMECHANICAL STUDY IN VITRO. *J Bone Joint Surg Br* 87:577–582
 26. Strecker W, Keppler P, Gebhard F et al (1997) Length and torsion of the lower limb. *Bone Joint J* 79:1019–1023
 27. Tsuda E, Ishibashi Y, Yamamoto Y et al (2012) Incidence and radiologic predictor of postoperative patellar instability after Fulkerson procedure of the tibial tuberosity for recurrent patellar dislocation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 20:2062–2070
 28. Wagner D, Pfalzer F, Hingelbaum S et al (2013) The influence of risk factors on clinical outcomes following anatomical medial patellofemoral ligament (MPFL) reconstruction using the gracilis tendon. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 21:318–324
 29. Waidelich H, Strecker W, Schneider E (1992) Computed tomographic torsion-angle and length measurement of the lower extremity. The methods, normal values and radiation load. *Fortschr Geb Rontgenstr Nuklearmed* 157:245–251
 30. Yue RA, Arendt EA, Tompkins MA (2017) Patellar height measurements on radiograph and magnetic resonance imaging in patellar instability and control patients. *J Knee Surg*. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1599249>