

Redaktion

R. Seil, Luxemburg
 D. Pape, Luxemburg

P. Schöttle · K. Beitzel · A. Imhoff
 Abteilung für Sportorthopädie, Klinikum rechts der
 Isar, Technische Universität München

Die kindliche Patellaluxation

Anatomie, Pathomorphologie und Behandlungsstrategien

Die patellofemorale Instabilität (PFI) ist eine komplexe Erkrankung, die am häufigsten im jugendlichen Alter und bei Heranwachsenden auftritt, da es sich bei mehr als 90% der Fälle um eine atraumatische Genese und damit um eine angeborene Pathomorphologie handelt. Die genaue Inzidenz der Patellaluxation ist nicht bekannt, aber sie wird ungefähr auf 43/100.000 Kinder geschätzt [34]. Das liegt daran, dass das patellofemorale Gelenk eine besondere Morphologie besitzt, die es schon unter physiologischen Bedingungen für Instabilitäten prädestiniert. Daher ist es umso überraschender, dass eine PFI bei dieser gegebenen Kombination aus der Morphologie des patellofemorale Gelenks und den hohen Kräften, die am Knie wirken, nicht häufiger vorkommt. Die Luxation selber tritt in fast allen Fällen nach lateral hin auf und ist nach der ersten Luxation zu mehr als 90% mit einer Verletzung des medialen patellofemorale Ligaments kombiniert [6, 13]. In deutlich weniger Fällen ist auch die knorpelige Oberfläche der medialen Patellafacetten und der lateralen Femurkondyle oder beider betroffen [37]. Diese Verletzung ist jedoch ausschlaggebend bei der Entscheidung zwischen einem konservativem oder operativem Vorgehen.

Während über viele Jahre hinweg die Genese der patellofemorale Instabilität nicht klar war, haben radiologische und MR-tomographische Untersuchungen in der letzten Zeit die PFI besser verständlich gemacht und somit neue Wege zur

Behandlung der patellofemorale Instabilität gerade im jugendlichen Alter geschaffen.

Anatomie und Biomechanik

Anatomie

Die Patella entwickelt sich in der 7. Embryonalwoche. Sie entsteht aus einer unkalzifizierten kartilaginären Anlage im Bereich der Patellarsehne, die zunehmend wächst und im Alter zwischen 4 und 6 Jahren dann langsam zu ossifizieren beginnt [18]. Bis zu 6 Ossifikationszentren können in der Patella definiert werden, die typischerweise am Ende der Ossifikationszeit zu einem einzelnen Ossifikationskern zusammenwachsen. Normalerweise entwickelt die Patella 2 Gelenkflächen, eine mediale und eine laterale Facette. Diese sollte im physiologischen Fall die Passform der korrelierenden Trochlea besitzen, die ebenfalls eine mediale und eine laterale Facette mit einem entsprechenden Sulkus besitzt. Ist diese physiologisch angelegt, entwickelt sie sich im Verlauf des Wachstums medial und lateral in gleicher Art und Weise. Mit zunehmendem Alter nimmt dann die Knorpeldicke sowohl an der Patella als auch in der Trochlea ab, sodass zusätzlich der Eindruck einer tieferen Trochlea entsteht [33].

Biomechanik

Das patellofemorale Gelenk ist ein sehr komplexes Gelenk, dessen Stabilität sowohl auf statischen (knöchernen Konformität) wie auch auf passiven (Kapsel und Bänder) und dynamischen (Muskeln und Sehnen) Faktoren beruht. Die pathologische Veränderung einer dieser anatomischen Verhältnismäßigkeiten, im Besonderen der statischen Stabilisatoren, kann das Gleichgewicht sehr schnell stören und somit zu einer patellofemorale Instabilität führen. Im Besonderen knöchernen Deformitäten wie eine Valgusdeformität oder eine Innenrotationskomponente des Femurs sowie eine Trochleadysplasie sind als Ursachen für die Patellainstabilität zu sehen [1, 24].

Der umgebende Kapsel- und Ligamentapparat trägt zusätzlich signifikant dazu bei, dass die Patella gegen die Lateralisierung bei Quadrizepsaktivität medialseits stabilisiert wird [16]. Das mediale patellofemorale Ligament (MPFL) verläuft dazu segelförmig zwischen der medialen Patellakante und dem Tuberculum adductorium und besitzt eine zweibündelige Struktur mit einem proximalen und distalen Anteil [2]. Die Bedeutung des MPFL als stärkster passiver Stabilisator gegen die laterale Subluxation und auch ihre Ruptur nach erstmaliger Patellaluxation wurden schon mehrfach zitiert [35, 40, 53]. Aus biomechanischen Versuchen ist zudem bekannt, dass das MPFL in strecknahe Zustand zwischen 0° und 30° Knieflexi-

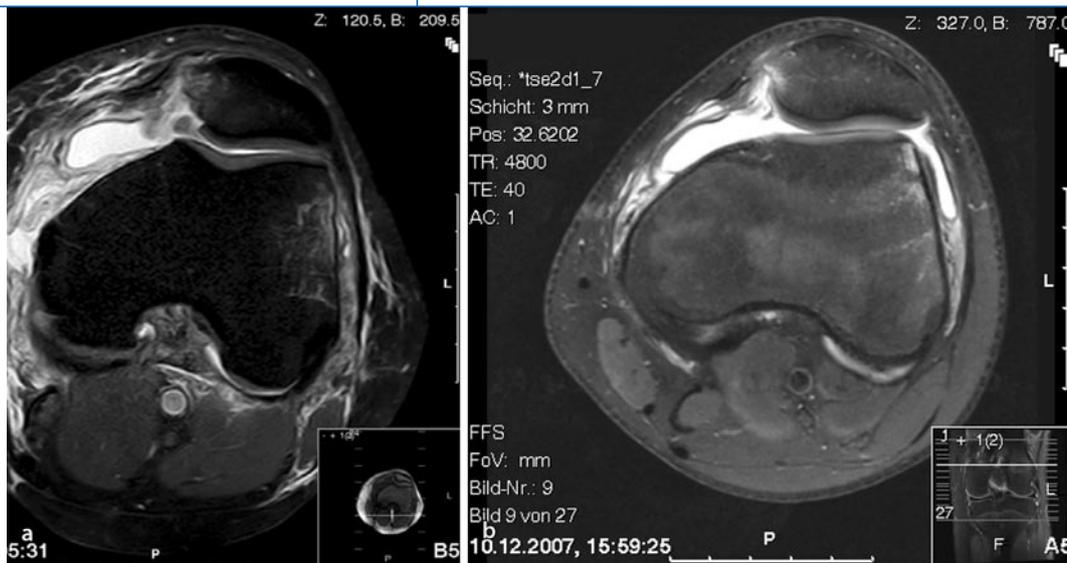


Abb. 1 ◀ **a** Axiales MRT einer ursprungsnahen femoralen Ruptur des MPFL, chondraler Absprengung der medialen Patellafacetten sowie einem Ödem des lateralen Femurkondylus nach traumatischer Erstluxation. **b** Axiales MRT bei chronischer PFI: Trochleadyplasie Typ B, Knochenödem an der lateralen Trochlealfacetten sowie eine Auffaserung des MPFL mit einem femoralen und patellären Abriss

on bis zu 90% der medialen Stabilität gegenüber der lateralen Subluxationstendenz ausmacht [5, 6, 10, 13, 25, 36, 46]. Es ist aber auch bekannt, dass eine isolierte Durchtrennung des MPFL bei anatomischer Trochlea nur in strecknahen Positionen bis ca. 25° zu einer vermehrten lateralen Translation, aber keiner Luxation führt. Im Verlauf nimmt die Funktion des MPFL in Beugestellungen ab 30° deutlich ab, denn nun ist die Patella mit ihrer Rückfläche in die Trochlea eingegleitet und erfährt eine knöcherne Führung.

Benachbarte mediale Strukturen wie das meniskopatelläre oder das tibiopatelläre Band sowie das superfizielle mediale Retinakulum tragen deutlich weniger zur Stabilität nach lateral hin bei. Vielmehr sind die Aufgaben dieser Strukturen das propriozeptive Feedback, um eine Stellungskontrolle der Patella zu gewährleisten [5]. Der M. vastus medialis obliquus (VMO) ist der wichtigste dynamische Stabilisator des patellofemorales Gelenks, wirkt jedoch erst in Flexion über 60°, wenn er perpendicular zur Luxationsrichtung der Patella verläuft, und ist auch nur dann funktionstüchtig, wenn er mit dem proximalen Anteil des MPFL anatomisch verbunden ist [14].

Die patellofemorale Beweglichkeit und Stabilität sind also das Ergebnis sehr komplexer Interaktionen zwischen dynamischen, passiven und statischen Stabilisatoren. Dabei folgt die Patella beim Durchlaufen des Sulcus nicht einem geraden Weg, sondern einer Mischung aus Torsionsmomenten mit Verkipfung,

Translation und Rotationen [27]. Wenn das Knie voll gestreckt ist, liegt die Patella natürlicherweise superolateral des femoralen Sulcus. Das Eingleiten der Patella in die Trochlea erfolgt frühestens zwischen 10 und 30° Knieflexion. Mit zunehmender Flexion steigt die Tiefe der Trochlea [52], sodass die knöcherne Führung der hauptsächliche Stabilisator wird [46]. Ab 90° kommt die Patella in der Notch zu liegen und wird zusätzlich von der Quadrizepsmuskulatur geführt, da dann die Vektoren des M. vastus medialis entgegen der Luxationsrichtung verlaufen.

Pathomorphologie und Risikofaktoren der PFI

Pathomorphologie

Da in strecknahen Kniepositionen die stabilisierende Komponente der Trochlea fehlt, ist das MPFL die einzige Struktur, die der lateralisierenden Kraft des Quadrizeps entgegen wirken kann, was in biomechanischen Studien verifiziert werden konnte [39, 46, 47]. Zudem haben klinische und radiologische Studien gezeigt, dass das MPFL nach erstmaliger Patellaluxation in mehr als 90% der Fälle pathologisch verändert ist [13], sodass eine Verletzung oder Insuffizienz des MPFL als die essenzielle Pathomorphologie gesehen werden kann, ohne die eine Luxation der Patella nahezu unmöglich ist. Doch das MPFL reißt nicht nur nach initialer Luxation, sondern es kann gerade bei Kindern chronisch insuffizient sein und damit ei-

ner frühen Luxation Vorschub leisten, wenn die Patella von Kindheit an in einer Fehlposition steht. Dies kann sowohl bei einer Trochleadyplasie als auch einer valgischen und innenrotierten Achsdeformität auftreten, die als angeborene Pathologien gelten und zu einem dauerhaften Tilt und Shift der Patella führen, bei der das MPFL keine Möglichkeit hat, sich funktionstüchtig zu entfalten.

Ist die Trochlea in Folge einer Dysplasie zu flach oder gar konvex, fehlt der Patella in Flexion nicht nur das Gleitlager, sondern auch die laterale anatomische Barriere. Weitere Folgen sind daher bei gleich bleibendem Quadrizepsvektor ein erhöhter patellärer Tilt und Shift aufgrund der fehlenden lateralen Barriere sowie eine „Patella alta“, da diese in geringer Flexion nicht in das fehlende Gleitlager einsinken kann, sondern nach proximolateral geschoben wird [42]. Entsprechend wurde bei 96% der Patienten mit PFI eine begleitende Trochleadyplasie diagnostiziert, diese gilt daher als einer der hauptsächlichen Risikofaktoren [3, 12, 38].

Neben der Dysplasie, die das patellofemorale Gelenk (PFG) direkt betrifft, gelten Innenrotation und Valgusfehlstellung der unteren Extremität als weitere ursächliche Faktoren einer chronischen Insuffizienz des MPFL und auch einer früh auftretenden PFI. Durch Medialisierung der Trochlea wird die Patella relativ lateralisiert: die Patella läuft zwar im Zentrum der Achse zwischen Hüftkopf und Sprunggelenk, steht aber auf Höhe des Kniegelenks lateral zur Trochlea. Per se

P. Schöttle · K. Beitzel · A. Imhoff

Die kindliche Patellaluxation. Anatomie, Pathomorphologie und Behandlungsstrategien

Zusammenfassung

Die traumatische und atraumatische Patellaluxation bei Kindern und Heranwachsenden ist ein komplexes Problem, das von einer Vielzahl anatomischer und mechanischer Grundbedingungen und Pathomorphologien bestimmt wird. Diese fallen besonders bei der atraumatischen Instabilität ins Gewicht. Bei der traumatischen Patellaluxation hingegen ist die Empfehlung beim noch nicht ausgewachsenen Patienten eher, initial konservativ vorzugehen und nach einer kurzen Ruhigstellung des Gelenks eine frühe passive Mobilisierung und isometrische Quadrizepsstärkung durchzuführen. Da mehr als 90% der Patelladislokationen eine atraumatische Genese aufweisen, denen in fast allen Fällen eine skelettale Pathomorphologie zugrunde liegt, erklärt sich, warum in diesen Fällen nach konservativem Vorgehen mit Reluxati-

onen gerechnet werden muss und dann ein chirurgisches Vorgehen notwendig wird. Um die klinischen Ergebnisse der kindlichen Patellainstabilität zu optimieren, müssen folglich die auslösenden Pathomorphologien zwingend diagnostiziert werden, um dann gezielt therapiert werden zu können. Neben den skelettalen Pathomorphologien gibt es noch Risikofaktoren, die ebenfalls Einfluss auf die Indikation und insbesondere den Zeitpunkt für ein operatives Vorgehen nehmen.

Während früher eine unangemessen hohe Anzahl an operativen Techniken mit nicht nur erfolgreichen klinischen Ergebnissen zur Stabilisierung beschrieben wurde, konnten jüngere biomechanische und klinische Untersuchungen zeigen, dass eine überschaubare Anzahl an Operationen ausreichend ist, um die Patella zu stabilisieren. Während die

Refixierung oder die minimalinvasive anatomische Doppelbündelrekonstruktion des medialen patellofemorales Ligaments in Apertur-Technik gerade beim Kind und Jugendlichen auch bei noch offenen Epiphysenfugen durchgeführt werden können, sind Osteotomien des distalen Femurs bei massiven skelettalen Pathomorphologien wie Valgus- und Innenrotationsdeformitäten des Femurs eher erst nach Verschluss der Epiphysenfuge indiziert, und der Versatz der Tuberositas oder Weichteileingriffe rücken immer mehr in den Hintergrund.

Schlüsselwörter

Kinder und Jugendliche · Patellaluxation · Dislokation · Mediales patellofemorales Ligament (MPFL) · Trochleoplastik

Dislocation of the patella in children. Anatomy, pathomorphology and treatment strategies

Abstract

Traumatic and non-traumatic patellofemoral instability (PFI) in children and adolescents is a complex problem determined by a large number of mechanical and pathomorphological factors which are most important in non-traumatic dislocations. While conservative treatment with a short period of immobilization followed by early passive motion and isometric quadriceps strengthening can be considered for traumatic dislocations without cartilaginous injury, a surgical intervention should be considered in cases of non-traumatic origin. As 90% of cases of PFI are non-traumatic and correlated with skeletal deformities, the rate of recurrent dislocation is reported to be up to 80% after initial

conservative treatment. To optimize the clinical results the pathologies causing PFI have to be urgently diagnosed. In addition to skeletal pathomorphologies further risk factors have to be taken into consideration for determining the optimal time for surgery.

In the past an unreasonably high number of operative techniques for stabilization were described with not always successful clinical results, however more recent biomechanical and clinical studies have shown that a manageable number of operations is sufficient to stabilize the patella. Refixation and the minimally invasive double-bundle technique for reconstruction of the medial patellofemoral ligament are the main surgical techniques to

treat PFI in children as both can be used even when the epiphysial cartilage is still open. Further surgical interventions to correct bone deformities, such as trochleoplasty or osteotomy addressing lower limb deformities should be performed after closure of the epiphysial cartilage, while displacement of the tibial tuberosity and soft tissue interventions have to be seen more critically.

Keywords

Children and adolescents · Patellofemoral instability · Dislocation · Medial patellofemoral ligament (MPFL) · Trochleoplasty



Abb. 2 ◀ Bei einem Rotations-CT wird die Schicht, auf der die Schenkelhalsachse zu bestimmen ist, über diejenige gelegt, auf der die Femurkondylen die maximale dorsale Ausladung haben. Dann wird der Winkel zwischen der Schenkelhalsachse und der Tangente der posterioren Kondylen berechnet

führen die knöchernen Pathologien aber nicht nur zu einer Verlängerung oder Insuffizienz des MPFL, sondern auch zu einer Luxation, da sie entweder kein Lauflager für die Patella bieten (Dysplasie) oder das Lauflager zu weit medial liegt (Valgus, Innenrotation), wobei der Weg für die Patella aus der superolateralen Position in die Trochlea nicht gewährleistet ist und es zu einer dauerhaften Subluxation mit Gleiten der Patella auf der lateralen Femurkondyle kommt.

Zusammenfassend macht dies deutlich, warum knöcherne Pathomorphologien die häufigsten Ursachen der PFI sind [1, 31]. Wenn sich diese Pathologien schon im Kindesalter in schwerer Form ausprägen, muss davon ausgegangen werden, dass sich kein suffizientes MPFL ausgebildet hat und somit der Stabilisator für strecknahe Positionen fehlt.

Risikofaktoren

Somit erklären sich auch die inzwischen klar definierten Risikofaktoren für rezidivierende Patellaluxationen, die fast alle auf die verschiedenen, oben beschriebenen skelettalen Abnormalitäten zurück zu führen und als Indikatoren für eine frühzeitige Reluxation zu werten sind. Da es sich bei der Trochleadysplasie um eine angeborene und damit auch vererbare Pathologie handelt, sind eine *positive Familienanamnese* genau wie eine *Subluxation oder abgelaufene Luxation der Gegenseite* als Risikofaktoren für eine Relu-

xation zu deuten. Ebenfalls spielt das *Alter bei Erstluxation* (>14 Jahre) eine bedeutende Rolle.

— Umso schwerwiegender die zugrundeliegende Pathomorphologie, desto früher muss mit einer Patellaluxation gerechnet werden.

Während geringgradige Trochleadysplasien häufig erst nach Abschluss des Wachstums bei voller Quadrizepsaktivierung zu einer Instabilität führen, können *massive Achsdeformitäten* schon in der Kindheit zu dauerhaften Subluxationen führen. Auch *schon statt gehabte Luxationen* bedeuten gerade bei Kindern ein erhöhtes Risiko für eine Reluxation, wenn es sich um atraumatische Instabilitäten handelt [4, 8, 15, 17, 26, 28, 38].

Klinisches Bild der PFI

Eine erste *traumatische Patellaluxation* ist für die jugendlichen Patienten ein dramatisches und schmerzhaftes Ereignis, an das sie sich lange erinnern [26]. Meist handelt es sich hierbei um Verletzungen beim Fußballspielen durch Gegnereinwirkung, Unfälle beim Skifahren mit deutlichem Valgus und Innenrotationstrauma des Femurs oder auch Stürze direkt auf die mediale Patella in strecknahen Positionen, bei der diese durch die von außen wirkende Kraft nach lateral luxiert oder auch subluxiert wird. Diese Patienten stellen sich mit einer akut schmerzhaften

Symptomatik vor, wobei das Knie in einer Flexionsstellung gehalten wird und eine starke Schmerzsymptomatik sowie ein deutliches Apprehensionszeichen bestehen. In dieser Situation imponiert der mediale Femurkondylus direkt subkutan, während die Patella deutlich nach lateral luxiert zu inspizieren ist. Im Rahmen der ersten Reposition muss eventuell unter Sedierung das Knie in eine Streckstellung gebracht werden, während die Patella bei diesem passiven Vorgang nach lateral gehalten wird, damit sie nicht über den lateralen Femurkondylus mit unkontrollierbarer Wucht in die Trochlea einschlägt, und eventuell zusätzliche Knorpelschäden verursacht [4, 38].

Doch die Zahl der tatsächlich isoliert traumatischen Ereignisse ist eher gering. Viel größer ist hingegen die Anzahl der *kindlichen atraumatischen Patellaluxationen* oder mit minimaltraumatischer Genese, die im Gegensatz zur traumatischen Luxation zu nahezu 100% eine spontane Reposition aufweisen und oftmals nicht mal als Luxation wahrgenommen werden [7, 26]. Eine typische Position, bei der die PFI auftreten kann, ist die Innenrotations- und Valgusstellung mit flach aufsitzendem Fuß, bei der eine signifikante Erhöhung des lateral gerichteten Patellavektors und gleichzeitig ein Zug auf das MPFL entstehen. Die typischen Patienten mit einer kindlichen atraumatischen PFI werden als etwas übergewichtige und allgemein gelenklaxe junge Mädchen beschrieben [48]. Ein Grund hierfür mag darin liegen, dass genau diese Patienten an einer angeborenen Valgusdeformität und einer angeborenen Trochleadysplasie leiden, die wohl X-chromosomal vererbbar ist [19, 51]. Da diese Patienten von Kindheit an bewusst oder unbewusst unter dieser ständigen Subluxationstendenz der Patella leiden, ist es nicht weiter verwunderlich, dass sie beim Sport eher zurückhaltend sind und somit in eine Art von Außenseiterrolle gedrängt werden, die mit der Zeit in Übergewicht und Antriebslosigkeit resultieren kann.

Daher ist bei der Anamneseerhebung der genaue Unfallhergang zu erfassen, um ein tatsächliches Trauma von einem eher atraumatischen Ereignis zu unterscheiden, während zudem die oben genannten Risikofaktoren abgeklärt werden müssen,

um die notwendige Diagnostik und Indikationsstellung einleiten zu können [1, 26, 28, 38].

Diagnostik und Vorgehen nach (traumatischer) Patellaerstluxation

Direkt nach der Reposition oder auch bei Vorstellung eines Patienten nach akuter Dislokation mit Selbstreposition muss das Gelenk inspiziert werden. Da davon ausgegangen werden muss, dass der mediale patellofemorale Komplex inklusive dem VMO abreißt, ist ein besonderes Augenmerk auf eventuelle Schwellungen in diesem Bereich zu richten. Des Weiteren kann es durch die eventuelle Abscherung eines retropatellären oder trochleären Knorpelflakes zu einem massiven Hämarthros kommen, was häufig auch einziges Zeichen für eine durchgemachte Luxation sein kann. Weitere klinische Untersuchungen sind in diesem Initialstadium nicht unbedingt indiziert, da sie zu schmerzhaft sind oder gar zu einer erneuten Luxation führen können.

Im nächsten Schritt sollte ein Nativröntgen des Kniegelenks in 3 Ebenen erfolgen, um eventuelle knöcherne Läsionen oder knöchern-knorpelige Absprengungen sowie den Status der Epiphysenfugen zu identifizieren. Das Anfertigen von Defileeaufnahmen in 30, 60 und 90° ist dagegen nicht notwendig, da sie keine Mehrinformation bergen und es durch die Flexionsstellung immer zu einer Projektion der Notch kommt, die das Bestehen einer physiologischen Trochlea vermitteln kann, auch wenn diese dysplastisch ist. Um eine tatsächliche Auskunft über die Morphologie der Trochlea [11], den Zustand des MPFL, den patellären Tilt und Shift sowie die Ausdehnung eventueller Knorpel-Knochen-Läsionen zu erhalten, ist die Anfertigung eines MRT unabdingbar (■ **Abb. 1 a, b**). Dies weist inzwischen eine Sensitivität von 85% und eine Exaktheit von 70% bei der Diagnose der PFI auf [40].

Die initiale notfallmäßige Behandlung besteht in einer Ruhigstellung des Kniegelenks in einer 20°-Position, um das MPFL in der Stellung heilen zu lassen, in der es unter physiologischen Bedingungen am gespanntesten ist. Additiv sind die Küh-

Abb. 3 ▶ Arthroskopische Sicht auf freien osteochondralen Flake nach Patellaluxation

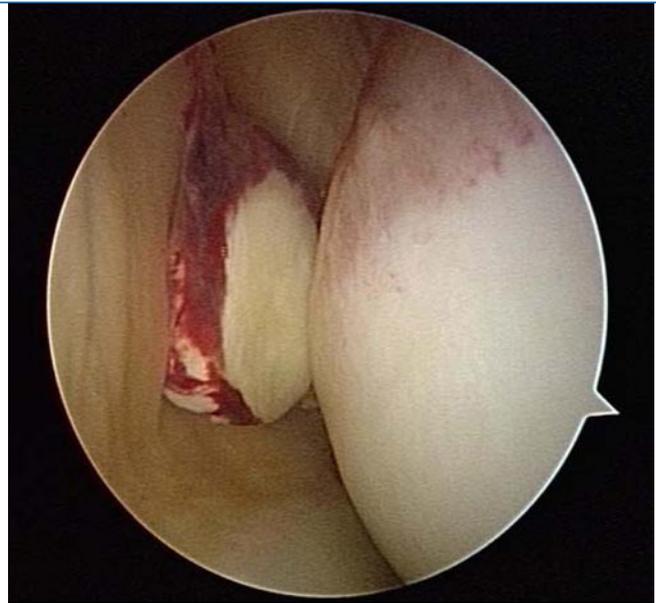
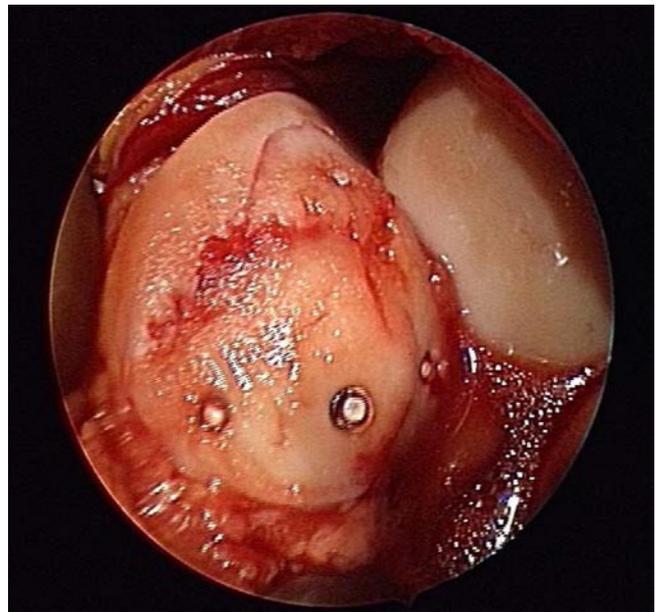


Abb. 4 ▶ In-situ-Abbildung nach Mini-open-Refixation eines osteochondralen Fragments nach Patellaluxation



lung und die Gabe antiinflammatorischer Medikamente indiziert.

Diagnostik und Vorgehen bei rezidivierenden Patellaluxationen

Stellt sich ein junger Patient mit rezidivierenden Patellaluxation vor, ist wie oben geschildert, der Anamnese ganz besondere Beachtung zu schenken.

Gerade bei Patienten, bei denen die Erstluxation in einem Alter von unter 14 Jahren mit Beteiligung der Gegenseite und positiver Familienanamnese vorliegt, ist von einer höhergradigen statischen Instabilität mit einer ausgeprägten ossären

Pathomorphologie auszugehen. Daher ist der erste Schritt bei der Untersuchung nicht die Palpation des Gelenks, sondern die Inspektion am stehenden Patienten. Hierbei ist besonders darauf zu achten, ob eine Valgusdeformität vorliegt und in welche Richtung die Patellae bei gestreckten Kniegelenken gerichtet sind. Oftmals entwickelt sich hierbei das so genannte Grasshüpferzeichen. Zudem gibt das Gangbild weiteren Aufschluss: wenn die Patienten auffälligerweise eine Außenrotation der Beine beim Gehen aufweisen, ist dies als eine funktionelle Reaktion auf die Innenrotation des Oberschenkels zu deuten, da der junge Patient dadurch versucht, die

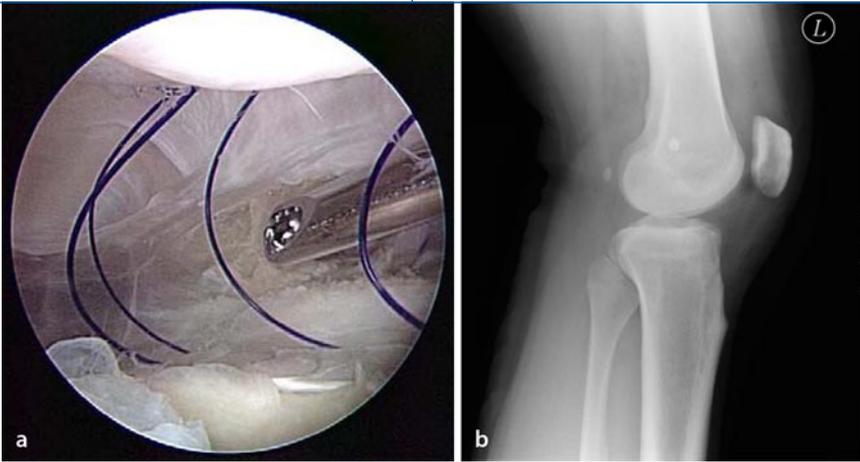


Abb. 5 **a** Arthroskopische Sicht einer medialen Raffung nach patellärseitiger Ruptur des MPFL in einem rechten Knie (aus [43]). **b** Postoperatives Röntgenbild nach arthroskopischer Refixierung des MPFL nach femoralem Abriss im Rahmen einer traumatischen Erstluxation. Dazu wird an der femoralen Insertion ein Titanfadenanker eingedreht und das MPFL unter arthroskopischer Sicht nach patellärseitig hin verknottet

statische Pathomorphologie auszugleichen.

Die Untersuchung des „J-sign“ findet im Sitzen mit hängenden Beinen statt: bei der aktiven Extension ohne Widerstand wird beim Übergang in die volle Extension darauf geachtet, ob die Patella nach initial medialer Führung ganz deutlich nach lateral ausschlägt. Anders ist beim Übergang von Extension in Flexion darauf zu achten, ob sich die Patella problemlos in eine eventuell vorhandene Trochlea einfügt oder initial auf dem lateralen Kondylus gleitet, bevor sie dann in höhergradiger Flexion mit einigen Trickbewegungen in die Notch eingeleitet wird („reversed J-sign“). Gerade in diesen Fällen ist von einer massiven Pathomorphologie der osären Komponenten auszugehen. Danach wird das patellofemorale Apprehensionszeichen am liegenden Patienten untersucht.

Gerade bei Kindern mit einer ausgeprägten Luxationsangst ist es wichtig, dass eine Hand des Untersuchers am Außenrand der Patella führend anliegt, um die Sicherheit zu geben, dass die Patella während der Untersuchung nicht nach lateral luxieren kann. Eventuell ist sogar ein Gespräch mit den begleitenden Eltern oder einer Krankenschwester bei dieser Untersuchung notwendig, um dem Kind das notwendige Vertrauen zu vermitteln. Bei der Untersuchung selbst wird die Patella passiv lateralisiert und die Apprehension dokumentiert. Ganz wichtig ist es, diese Untersuchung in kompletter Extension,

in 30, 60° und auch 90° Flexion durchzuführen, um sich eine Ausprägung der patellofemorale Instabilität bewusst zu machen. Bei dieser Untersuchung ist richtungweisend, ob das Problem isoliert im passiven Apparat vorliegt (MPFL, Stabilisation zwischen 0 und 30°) oder auch osär begründet ist (Trochleadyplasie mit fehlender Stabilität zwischen 30 und 50° oder gar Achsdeformitäten mit einem positiven Apprehension auch oberhalb von 50°; [46]).

Des Weiteren müssen die Spannungsverhältnisse des Tractus iliotibialis sowie des M. rectus femoris untersucht werden. Während der Tractus iliotibialis direkt im Ansatz über dem lateralen Femurkondylus und der lateralen Patella-facetten palpirt und die Spannung dokumentiert wird, ist das Spannungsverhältnis des M. rectus femoris nur in Bauchlage zu untersuchen. Bei stabilisiertem Ileosakralgelenk (ISG) und Vermeidung einer Außenrotation in der Hüfte durch Fixierung des zu untersuchenden Kniegelenks wird die Ferse in Richtung Gesäß gedrückt. Normalerweise sollte gerade beim jungen Patienten dieser Abstand 0 cm betragen. Bei einer Verkürzung des M. rectus femoris und auch des Tractus iliotibialis ist der Gesäß-Fersen-Abstand teilweise auf bis zu 20 cm verlängert. In diesen Fällen sollte vor Beginn jeglicher operativer Therapie erst eine Dehnung dieser Muskelgruppe stattfinden (s. Behandlung). Abschließend ist in Bauchlage eine orientierende Untersuchung der Innenrotation des Femurs

durchzuführen. Dabei wird in Bauchlage bei 90° flektiertem Kniegelenk die untere Extremität in eine Innenrotation der Hüfte gebracht, bis diese zu einem normalen Ende kommt. Dann erfolgt die Inspektion von distal, und der Winkel zwischen Ausgangsposition und erreichter Innenrotation gibt ein ungefähres Maß der zu erwartenden Gesamtinnenrotation des Femurs an.

Genau wie im akuten Fall gehört auch bei chronisch rezidivierenden Patellaluxationen die Anfertigung von Nativröntgenbildern des Knies in a.p.- und seitlicher Position sowie der tangentialen Patellaufnahme in 30° Knieflexion zum Standard. Zusätzlich ist das Anfertigen einer MRT-Bildgebung unabdingbar, da sie wie oben erwähnt, Aufschluss über die Knorpel- und Weichteilsituation sowie Pathomorphologien gibt (■ **Abb. 1b**). Sollte zudem der dringende Verdacht auf eine Achsdeformität bestehen, müssen zusätzlich Ganzbein- oder Rotations-CT-Aufnahmen [30] (evtl. auch Rotationsmessung durch MRT) angefertigt werden, um Kenntnis der Verhältnisse zwischen Femurhals, distalen Femurkondylen, Tuberositas tibiae und Malleolengabel zu erhalten (■ **Abb. 2**).

Zudem kann sowohl im MRT- als auch, wenn notwendig, im CT-Bild der TTTG-Abstand (Abstand zwischen Tuberositas tibiae und trochleärer Grube) bestimmt werden. Dieser gilt heute als reproduzierbare Quantifizierung des Q-Winkels, der aus früheren Studien schon als sehr untersucherabhängig bekannt und in verschiedenen jüngeren Studien in seiner Signifikanz in Frage gestellt worden ist [23, 41].

Behandlungsverfahren

Das Outcome nach konservativ therapierter Patellaluxation ist nicht so positiv, wie früher in der Literatur eingeschätzt [26, 29], allerdings fehlen gute epidemiologische Zahlen bei kindlicher Luxation [49]. Da die Großzahl der patellofemorale Dislokationen atraumatischer oder minimaltraumatischer Genese sind, können auch die epidemiologischen Zahlen über Studien chronischer Instabilitäten als richtungweisend angesehen werden [32]. Betrachtet man die Literatur, ist die Redisllokationsrate der Patella zwischen 15

und 44% angegeben [3, 9]. Es gibt auch eine Studie, die eine Redislokationsrate von bis zu 80% angibt, wenn nur die Patienten mit einer bedingenden Pathomorphologie betrachtet werden [20, 28]. Auf der anderen Seite ist bekannt, dass 30–50% der Patienten nach konservativ therapierter Patellaluxation in einem Zeitrahmen von 2 Jahren Schmerzen entwickeln und durch diese noch mehr oder zusätzlich zu einer Instabilität gehandikapt sind [26]. Auch ist die Sportfähigkeit nach konservativ behandelter Patellaluxation sehr gering und nur wenige Patienten schaffen die vollständige Rückkehr zu ihrer zuvor ausgeübten Sportart [4]. Daher muss bei der Entscheidungsfindung zur optimalen Behandlung die Wichtigkeit verschiedener prädisponierender Faktoren erwogen werden.

Konservativ

Sollten sich nach patellofemorale Dislokation im MRT kein freier Gelenkkörper oder ein abgesplitteter Knorpel zeigen, der operativ adressiert werden müsste, kann nach Initialtrauma immer ein *konservatives Vorgehen* in Erwägung gezogen werden, wenn keiner der oben genannten Risikofaktoren vorliegt. Nach Reposition der Patella und Anwenden des PECH- (Pause-Eis-Kompression-Hochlagern-)Schemas sollte eine Ruhigstellung des Kniegelenks für mindestens eine Woche in 20° Knieflexion erfolgen. Dies führt zu einem Rückgang der Schwellung und Schmerzen des Kniegelenks und kann gleichzeitig die Heilung des mit Sicherheit verletzten MPFL in der Position anregen, in der es seine größte physiologische Spannung hat [2].

Nach Ablauf dieser 1. Woche sollte eine bewegliche Hartraumenorthese genutzt und diese für weitere 2 Wochen auf eine Beweglichkeit von Flexion/Extension 60-20-0° eingerichtet werden. In der 4. bis 6. Woche wird die Beweglichkeit in dieser Schiene auf Flexion/Extension 90-10-0° erweitert, um eine endgültige Einheilung des Ligaments bei Erhalt der patellofemorale Beweglichkeit zu erzielen. Die aktive volle Extension sollte in dieser Zeit unbedingt vermieden werden, da ab 10° Knieflexion die ossäre Stabilität vollständig nachlässt und nur das (sich in

Abb. 6 ▶ Postoperatives Röntgenbild (a.p. und seitlich) einer 12-jährigen Patientin nach MPFL-Rekonstruktion bei noch offenen Wachstumsfugen



Heilung befindliche) MPFL stabilisiert. Entsprechend dem noch persistierenden Schwellungszustand kann gleichzeitig eine Lymphdrainage stattfinden.

Nach 6 Wochen erfolgt die klinische Kontrolluntersuchung, wobei das Apprehensionszeichen bei einer funktionellen Vernarbung des MPFL von 0–90° negativ sein sollte. Ist dies nicht der Fall, scheinen die zugrunde liegenden ossären Risikofaktoren doch so fulminant zu sein, dass sie die Patella selbst in Ruhigstellung in einer getilteten und geshifteten Position gedrückt haben und eine funktionelle Vernarbung des MPFL nicht möglich war. In diesen Fällen sollte dann – abhängig vom Zustand der Epiphysenfugen – die Indikation zu operativen Maßnahmen geplant werden (s. u.).

Sollte sich dagegen das Gelenk nach 6 Wochen stabil zeigen, ist im Weiteren der Weichteilmantel wieder zu aktivieren. Die Beweglichkeit wird nun freigegeben und isometrische Quadrizepsübungen können unter physiotherapeutischer Aufsicht begonnen werden. Im Besonderen ist darauf zu achten, dass die agonistische Anspannung des Tractus iliotibialis sowie des Quadrizeps gelöst und gedehnt werden, um in der Folgezeit ein patellofemorales Schmerzsyndrom zu vermeiden.

Nach weiteren 6 Wochen sollte somit die Behandlung beendet und eine komplette Sportfähigkeit des Patienten wieder hergestellt sein. Nicht zu empfehlen ist das dauerhafte Tragen patellastabilisierender Orthesen, da dann die Propriozeption des umgebenden Weichteilmantels nicht mehr ausreichend gegeben ist und eine eventuell spätere operative Versorgung eine deutlich verlängerte post-

operative Rehabilitationsphase benötigt. Das Taping der Patella ist kontrovers zu diskutieren, da es zwar den Schmerz reduziert und eine frühere Quadrizepsaktivität während der Rehabilitation erlaubt [22], aber die Patella nicht tatsächlich medialisiert [21].

Operativ

Sollten jedoch bei der ersten Luxation die oben erwähnten Risikofaktoren oder massive knöcherne Deformitäten vorliegen, der Patient sich schon mit einer Rezidivluxation vorstellen, im MRT ein Knorpelschaden mit freiem Flake diagnostiziert worden oder das konservative Verfahren fehlgeschlagen sein, ist die Indikation zum *operativen Verfahren* zu stellen [50]. Dabei gibt es verschiedene Techniken, die abhängig vom Zustand der Epiphysenfugen und der auslösenden Pathologie empfohlen werden können.

Knorpelläsionen

Bereits zuvor wurde auf die Häufigkeit intraartikulärer Knorpelläsionen bei akuten Patellaluxationen und die Dringlichkeit eines zeitnahen operativen Vorgehens hingewiesen. Nach der MR-Bildgebung wird eine Arthroskopie zur abschließenden Beurteilung des Befundes durchgeführt. Hierbei kann die exakte Ausdehnung der vorliegenden chondralen bzw. osteochondralen Läsion beurteilt werden.

Eventuell ist ein Debridement bei instabilen Läsionsrändern notwendig. Liegt ein freies Fragment vor, muss dieses geborgen und eine Refixation sorgfältig abgewogen werden (■ **Abb. 3, 4**). Dies ist u. U. nur durch eine zusätzliche Arthro-

tomie möglich. Hierbei besteht die Möglichkeit der Refixation mittels resorbierbarer/nichtresorbierbarer Dübelsysteme oder ähnlicher Fixationsverfahren.

Refixation des MPFL mit Fadenankern oder primärer Naht

Bei einer erstmaligen traumatischen Luxation kann der zeitnahe Versuch einer Refixation des MPFL mit bioresorbierbaren Fadenankersystemen oder direkter Naht erfolgen. Auch in diesen Fällen muss zuvor obligat eine MR-Diagnostik zur genauen Lokalisation der Ruptur (femorale Ursprung/patelläre Insertion) durchgeführt werden. Somit kann die Refixation entsprechend der Rupturlokalisierung (femorale/patelläre Insertion) erfolgen. Bei Läsionen im Bereich der patellären Insertionszone des MPFL sind eine arthroskopische Naht und Raffung indiziert. Hierbei wird die Kapsel arthroskopisch mittels resorbierbaren Fadenmaterials gerafft (▣ **Abb. 5a**). Rupturen im femoralen Ursprungsbereich können im anatomischen Insertionsbereich mittels resorbierbarer Fadenanker refixiert werden (▣ **Abb. 5b**). Die Raffung erfolgt dann unter arthroskopischer Kontrolle.

Rekonstruktion des MPFL mit autologem Grazilissehnentransplantat

Die größte Problematik der rekonstruktiven Therapiestrategie kindlicher Patellaluxationen ist mit Sicherheit das noch nicht abgeschlossene Wachstum. Daher sollten primär Operationstechniken angewendet werden, welche die passiven Stabilisatoren adressieren. Daher besteht bei Rezidivluxationen und einer chronischen MPFL-Insuffizienz die Indikation zur Rekonstruktion in minimalinvasiver Doppelbündel-aperture-Technik mit einem Grazilissehnentransplantat.

Bei dieser Technik wird ein autologes Grazilissehnentransplantat am anatomischen Insertionsort des MPFL im Bereich der medialen Patellakante fixiert. Die Fixation erfolgt entsprechend der Anatomie des MPFL patellär in Zweibündeltechnik. Hierzu werden Swive-lock®-Ankersysteme (Fa. Arthrex, Karlsfeld) verwendet, die eine Aperturrefixation der Transplantatenden ermöglichen. Sollte die wachstumsbedingte Größe der Patella

eine Fixation mittels Swive-lock®-Ankern nicht zulassen, kann auf eine indirekte Fixation mit bioresorbierbaren Fadenankern zurückgegriffen werden [44].

Entsprechend dem anatomischen ligamentären Verlauf wird das Transplantat zwischen der 2. und 3. Kapselschicht zu seinem Ursprungsort zwischen dem Tuberculum adductorium und dem medialen Epikondylus hindurchgeführt. Hier erfolgt unter Bildwandlerkontrolle die Anlage des femoralen Bohrkanals. Der Insertionspunkt kann dabei direkt über der Epiphysenfuge liegen. Da aus aktuellen Studien bekannt ist, dass eine Verknochern der Epiphysenfuge bei einliegendem Transplantat nicht stattfindet [45], und wenn doch, dies allenfalls zu einer Varisierung der betroffenen Extremität führt, was die Luxationstendenz senken kann, ist die beschriebene Technik grundsätzlich bei jungen Patienten sicher durchführbar. Es ist jedoch besondere Vorsicht bei der Bohrkanalanlage geboten. Die Richtung sollte unter Bildwandlerkontrolle steil nach lateroproximal zielen, um einen möglichst kleinflächigen Durchtritt durch die Epiphysenfuge zu erreichen. Hierzu werden eine seitliche Durchleuchtung zur Bestimmung des korrekten Insertionspunkts und danach eine a.p.-Durchleuchtung zur Bestimmung des Bohrkanalverlaufs durchgeführt. Im Anschluss erfolgt die Fixation des Transplantats unter Kontrolle der lateralen Patellaverschieblichkeit mittels Biointerferenzschraube (▣ **Abb. 6**).

Trochleaplastik

Grundsätzlich würden ein positives Aprehensionszeichen oder rezidivierende Luxationen im Bereich von 30–50° Knieflexion bei einer ausgeprägten Dysplasie der Trochlea (intakte Knorpelverhältnisse) eine Trochleaplastik indizieren. Bei noch weit eröffneten Epiphysenfugen ist jedoch von einem gewissen wachstumsabhängigen Korrekturpotenzial der Dysplasie auszugehen. In diesen Fällen sollte eine frühzeitige Korrektur der passiven Faktoren im Sinne der oben beschriebenen minimalinvasiven Rekonstruktion des MPFL erfolgen. Es kann postuliert werden, dass es durch den Korrekturreiz des wiederhergestellten physiologischen Anpressdrucks der Patella zur

Ausbildung einer funktionellen Trochlearinne kommt. Erst bei fast vollständig abgeschlossener knöchernerem Wachstum und weiterhin persistierender Instabilität bei 30–50° Knieflexion sollte in diesen Fällen eine Trochleaplastik erwogen werden. Hierbei wird subchondral der Knorpel der Trochlea angehoben und mittels eines Fräsinstruments eine Vertiefung der dysplastischen Trochlearinne durchgeführt. Im Anschluss kann der Knorpel anmodelliert und refixiert werden.

Osteotomien

Vor Abschluss des epiphysären Wachstums ist die Indikation zur Korrekturosteotomie von Achsdeformitäten (Valgus- und Innenrotationsdeformität des Femurs) bei habituellen Patellaluxationen sehr zurückhaltend zu stellen. Nur in Fällen grotesker Fehlstellungen (z. B. femorale Innenrotation >50° oder Valgus >10°) können Korrekturen der Rotation im Bereich des proximalen Femurs (z. B. Operation nach Imhäuser) durchgeführt werden. Da dabei eine oft gleichzeitig notwendige Varisierung schwierig ist, sollte diese auf einen Zeitpunkt nach Abschluss des Wachstums verschoben werden, da die Technik mit einem Verschluss der medialen Epiphysenfuge zur Korrektur einer valgischen Beinachse auf Grund der schlechten Kontrollierbarkeit nur in wenigen Ausnahmefällen tatsächlich sinnvoll ist.

Fazit für die Praxis

Die PFI des Kindes beruht auf einem breiten Spektrum von Pathomorphologien und Risikofaktoren. Leider sind bisher von der Literaturlage her kein klarer Behandlungsalgorithmus oder ein klares Verständnis dieser Pathologie abzuleiten. Trotz der teilweise optimistischen Ergebnisse früherer Publikationen erlangen nur wenige Patienten nach einer konservativen Therapie eine vollständige uneingeschränkte Aktivität wieder und beklagen oftmals ein persistierendes Schmerzsyndrom. Auf der einen Seite mag das an begleitenden Knorpel-läsionen liegen, auf der anderen aber daran, dass die zugrunde liegenden Pathomorphologien in den meisten Fällen nicht vollständig erfasst und gezielt the-

rapiert werden. Gerade bei der PFI muss daher die Therapie individuell angepasst werden. Wenn aber der Verletzungsmechanismus, die Anatomie, die zugrunde liegende Pathologie und begleitende Risikofaktoren sicher bestimmt werden, kann ein umfangreicher Therapieplan entworfen werden und zu einem positiven Ergebnis führen.

Korrespondenzadresse

PD Dr. P. Schöttle

Abteilung für Sportorthopädie, Klinikum rechts der Isar, Technische Universität München
Connollystr. 32, 80809 München
schoettle@lrz.tum.de

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- Amis AA (2007) Current concepts on anatomy and biomechanics of patellar stability. *Sports Med Arthrosc* 2(15):48–56
- Amis AA et al (2003) Anatomy and biomechanics of the medial patellofemoral ligament. *Knee* 3(10):215–220
- Arendt EA et al (2002) Current concepts of lateral patella dislocation. *Clin Sports Med* 3(21):499–519
- Atkin DM et al (2000) Characteristics of patients with primary acute lateral patellar dislocation and their recovery within the first 6 months of injury. *Am J Sports Med* 4(28):472–479
- Boden BP et al (1997) Patellofemoral Instability: evaluation and management. *J Am Acad Orthop Surg* 1(5):47–57
- Burks RT et al (1998) Biomechanical evaluation of lateral patellar dislocations. *Am J Knee Surg* 1(11):24–31
- Busch M (2001) *Sports medicine in children und adolescents*. Lippincott, Williams & Wilkins, Baltimore, pp 1306–1308
- Cash JD, Hughston JC (1988) Treatment of acute patellar dislocation. *Am J Sports Med* 3(16):244–249
- Cofield RH, Bryan RS (1977) Acute dislocation of the patella: results of conservative treatment. *J Trauma* 7(17):526–531
- Conlan T et al (1993) Evaluation of the medial soft-tissue restraints of the extensor mechanism of the knee. *J Bone Joint Surg [Am]* 5(75):682–693
- Dejour D et al (1998) Douleurs et instabilité rotulienne. Essai de classification. *Med Hyg* 56:1466–1471
- Dejour H et al (1994) Factors of patellar instability: an anatomic radiographic study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1(2):19–26
- Desio SM et al (1998) Soft tissue restraints to lateral patellar translation in the human knee. *Am J Sports Med* 1(26):59–65
- Farahmand F et al (2004) The contribution of the medial retinaculum and quadriceps muscles to patellar lateral stability – an in-vitro study. *Knee* 2(11):89–94
- Feller JA et al (2007) Surgical biomechanics of the patellofemoral joint. *Arthroscopy* 5(23):542–553
- Fithian DC et al (2001) Anatomy of patellar dislocation. *Operat Techn Sports Med* 9:102–111
- Fithian DC et al (2004) Epidemiology and natural history of acute patellar dislocation. *Am J Sports Med* 5(32):1114–1121
- Gardner E, O’Rahilly R (1968) The early development of the knee joint in staged human embryos. *J Anat* 2(102):289–299
- Garron E et al (2003) Anatomic study of the anterior patellar groove in the fetal period. *Rev Chir Orthop* 5(89):407–412
- Garth WP Jr et al (1996) Functional treatment of patellar dislocation in an athletic population. *Am J Sports Med* 6(24):785–791
- Gigante A et al (2001) The effects of patellar taping on patellofemoral incongruence. A computed tomography study. *Am J Sports Med* 1(29):88–92
- Gilleard W et al (1998) The effect of patellar taping on the onset of vastus medialis obliquus and vastus lateralis muscle activity in persons with patellofemoral pain. *Phys Ther* 1(78):25–32
- Goutallier D et al (1978) The measurement of the tibial tuberosity. Patella groove distanced technique and results. *Rev Chir Orthop* 5(64):423–428
- Grelsamer RP (2000) Patellar malalignment. *J Bone Joint Surg [Am]* 11(82-A):1639–1650
- Hautamaa PV et al (1998) Medial soft tissue restraints in lateral patellar instability and repair. *Clin Orthop* 349:174–182
- Hawkins RJ et al (1986) Acute patellar dislocations. The natural history. *Am J Sports Med* 2(14):117–120
- Laprade J, Lee R (2005) Real-time measurement of patellofemoral kinematics in asymptomatic subjects. *Knee* 1(12):63–72
- Larsen E, Lauridsen F (1982) Conservative treatment of patellar dislocations. Influence of evident factors on the tendency to redislocation and the therapeutic result. *Clin Orthop Relat Res* 171:131–136
- McManus F et al (1979) Acute dislocation of the patella in children. The natural history. *Clin Orthop Relat Res* 139:88–91
- Moussa M (1994) Rotational malalignment and femoral torsion in osteoarthritic knees with patellofemoral joint involvement. A CT scan study. *Clin Orthop Relat Res* 304:176–183
- Mulford JS et al (2007) Assessment and management of chronic patellofemoral instability. *J Bone Joint Surg [Br]* 6(89):709–716
- Nakagawa K et al (2002) Deterioration of long-term clinical results after the Elmslie-Trillat procedure for dislocation of the patella. *J Bone Joint Surg [Br]* 6(84):861–864
- Nietosvaara Y (1994) The femoral sulcus in children. An ultrasonographic study. *J Bone Joint Surg [Br]* 5(76):807–809
- Nietosvaara Y et al (1994) Acute patellar dislocation in children: incidence and associated osteochondral fractures. *J Pediatr Orthop* 4(14):513–515
- Nomura E et al (2002) Correlation of MR imaging findings and open exploration of medial patellofemoral ligament injuries in acute patellar dislocations. *Knee* 2(9):139–143
- Nomura E et al (2000) Medial patellofemoral ligament restraint in lateral patellar translation and reconstruction. *Knee* 2(7):121–127
- Nomura E, Inoue M (2004) Cartilage lesions of the patella in recurrent patellar dislocation. *Am J Sports Med* 2(32):498–502
- Palmu S et al (2008) Acute patellar dislocation in children and adolescents: a randomized clinical trial. *J Bone Joint Surg [Am]* 3(90):463–470
- Powers CM et al (2003) Patellofemoral kinematics during weight-bearing and non-weight-bearing knee extension in persons with lateral subluxation of the patella: a preliminary study. *J Orthop Sports Phys Ther* 11(33):677–685
- Sanders TG et al (2001) Medial patellofemoral ligament injury following acute transient dislocation of the patella: MR findings with surgical correlation in 14 patients. *J Comput Assist Tomogr* 6(25):957–962
- Schoettle PB et al (2006) The tibial tuberosity-trochlear groove distance; a comparative study between CT and MRI scanning. *Knee* 1(13):26–31
- Schoettle PB et al (2005) Trochleaplasty for patellar instability due to trochlear dysplasia. *Acta Orthop* 5(76):693–698
- Schoettle PB et al (2006) Arthroscopic medial retinacular repair after patellar dislocation with and without underlying trochlear dysplasia: a preliminary report. *Arthroscopy* 11(22):1192–1198
- Schöttle PH, Imhoff AB (2008) Direct anatomic reconstruction of the medial patellofemoral ligament with the double-bundle technique – aperture fixation. *Arthroscopie* 3(21):192–195
- Seil R et al (2008) The risk of growth changes during transphyseal drilling in sheep with open physes. *Arthroscopy* 7(24):824–833
- Senavongse W, Amis AA (2005) The effects of articular, retinacular, or muscular deficiencies on patellofemoral joint stability. *J Bone Joint Surg [Br]* 4(87):577–582
- Smirk C, Morris H (2003) The anatomy and reconstruction of the medial patellofemoral ligament. *Knee* 3(10):221–227
- Stanitski C (2003) *Patellar Instability in the skeletally immature patient*. Saunders, Philadelphia, pp 1749–1760
- Stanitski CL (1998) Patellar instability in the school age athlete. *Instr Course Lect* 47:345–350
- Stanitski CL, Paletta GA Jr (1998) Articular cartilage injury with acute patellar dislocation in adolescents. Arthroscopic and radiographic correlation. *Am J Sports Med* 1(26):52–55
- Tardieu C, Dupont JY (2001) The origin of femoral trochlear dysplasia: comparative anatomy, evolution, and growth of the patellofemoral joint. *Rev Chir Orthop* 4(87):373–383
- Tecklenburg K et al (2006) Bony and cartilaginous anatomy of the patellofemoral joint. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 3(14):235–240
- Vainionpaa S et al (1986) Acute dislocation of the patella. Clinical, radiographic and operative findings in 64 consecutive cases. *Acta Orthop Scand* 4(57):331–333