

# MRT nach Patellaluxation: Quantifizierung der Risikofaktoren und Beschreibung der Folgeschäden

## MRI after Patellar Dislocation: Assessment of Risk Factors and Injury to the Joint

### Autoren

G. Diederichs<sup>1</sup>, S. Scheffler<sup>2,3</sup>

### Institute

<sup>1</sup> Radiologie, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Campus Charité Mitte

<sup>2</sup> Zentrum für Muskuloskeletale Chirurgie, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Campus Charité Mitte

<sup>3</sup> Chirurgisch Orthopädischer PraxisVerbund, Berlin

### Key words

- knee
- patella
- dislocation
- MRI

**eingereicht** 11.7.2012

**akzeptiert** 15.1.2013

### Bibliografie

**DOI** <http://dx.doi.org/10.1055/s-0032-1330690>  
 Online-Publikation: 14.3.2013  
 Fortschr Röntgenstr 2013; 185: 611–620 © Georg Thieme  
 Verlag KG Stuttgart · New York ·  
 ISSN 1438-9029

### Korrespondenzadresse

**Dr. Gerd Diederichs**  
 Radiologie, Charité –  
 Universitätsmedizin Berlin,  
 Campus Charité Mitte  
 Charitéplatz 1  
 10117 Berlin  
 Tel.: ++ 49/30/4 50 62 70 94  
 Fax: ++ 49/30/4 50 52 79 11  
[gerd.diederichs@charite.de](mailto:gerd.diederichs@charite.de)

### Zusammenfassung



Bei der Patellaluxation handelt es sich um ein Herausspringen der Kniescheibe aus dem trochlearen Gleitlager nach lateral. In der Regel liegen anatomische Risikofaktoren in unterschiedlichem Ausprägungsgrad vor, die in Zusammenhang mit einer Rotationsbewegung des Beines zu einem Luxationsereignis führen. Die im MRT problemlos diagnostizierbaren Kontusionsödeme der inferomedialen Patella und des lateralen Femurkondylus sowie die Ruptur des medialen patellofemorales Ligamentes gelten als typische Zeichen einer kürzlich stattgehabten Luxation. Allerdings sind auch osteochondrale Begleitverletzungen möglich, die je nach Ausmaß eine Indikation zur frühen Refixation darstellen können. Nach dem Erstereignis folgen durch den instabilen Kapsel-Band-Apparat häufig weitere Luxationen, die in Abhängigkeit der vorliegenden anatomischen Normvarianten bis hin zu einer chronischen patellofemorales Instabilität führen können. Therapeutisch hat sich ein breites Spektrum aus konservativen und operativen Verfahren durchgesetzt. Während Erstluxationen häufig konservativ behandelt werden, orientiert sich das operative Verfahren nach der Zweitluxation am Verletzungsmuster und Ausprägungsgrad der anatomischen Risikofaktoren. Die relevanten prädisponierenden Anlagevarianten sind die Trochleadysplasie, die Patella alta und der pathologische Abstand der Tuberositas tibia zum Sulcus trochleae (TT-TG). Insgesamt sollten im radiologischen Befund sowohl die Folgeschäden der Luxation als auch die anatomischen Risikofaktoren quantifiziert werden, da eine individuelle Analyse des zugrunde liegenden Pathomechanismus ausschlaggebend für die optimale patientenspezifische Therapie ist.

### Abstract



Patellar dislocation is the lateral displacement of the patella from the femoral trochlea. Affected individuals typically have underlying anatomic risk factors of variable magnitude, which, in conjunction with leg rotation, cause the event. Magnetic resonance imaging (MRI) permits straightforward diagnosis of the typical features of recent patellar dislocation: contusion edema of the inferomedial patella and the lateral femoral condyle as well as rupture of the medial patellofemoral ligament. In case of concomitant osteochondral injury, early surgical refixation may be indicated, depending on the size. After a first dislocation, which can damage the capsuloligamentous stabilizers, subjects may sustain further dislocations or even develop chronic patellofemoral instability, depending on the presence and severity of anatomic variants. A wide range of conservative and surgical treatments are available. While a first patellar dislocation is often treated conservatively, surgical strategies after a second dislocation depend on the pattern of injury and the severity of underlying anatomic risk factors. The most relevant predisposing variants are trochlear dysplasia, patella alta, and an abnormal tibial tubercle to trochlear groove distance (TT-TG). The radiologist's report should give a quantitative estimate of both the injuries resulting from dislocation and the underlying anatomic risk factors. An accurate characterization of the individual pathomechanism is crucial for tailoring treatment.

## Terminologie

Die Luxation der Patella bedeutet ein Herausgleiten der Kniescheibe aus der trochlearen Führung und ist durch einen vollständigen Kontaktverlust der patellofemorale Gelenkflächen definiert [1]. Eine spontane Reposition kann unmittelbar nach dem Ereignis durch Streckung des Beines erfolgen oder bei fixierter Luxation durch manuelle Verfahren im Rahmen der Erstbehandlung erreicht werden. Bei der Subluxation der Patella ist die Kniescheibe nicht mehr im Sulcus der Trochlea zentriert, sondern lateralisiert und überragt mit ihrer Außenkante deutlich die Trochlea-facet. Die patellofemorale Instabilität ist der allgemeine Oberbegriff für Patellaluxation und -subluxation. Die akute Patellaluxation bezeichnet meist das Erstereignis, wobei eine Zweitluxation oder weitere Ereignisse als rezidivierende Luxationen bezeichnet werden [2]. Eine chronische Luxation oder chronische patellofemorale Instabilität ist nicht klar definiert, bezeichnet aber in der Regel permanentes Maltracking mit Subluxationen bis hin zu permanenter Luxationsstellung [1, 3]. Am häufigsten liegen habituelle Luxationen vor, bei denen zugrunde liegende Anlagevarianten die Luxation begünstigen und meist lediglich ein Bagatelltrauma zum Herausspringen der Kniescheibe führt [1, 2]. Bei den rein traumatischen Luxationen wird das Herausspringen primär durch eine signifikante Krafteinwirkung erklärt (z. B. direkter Schlag gegen die Patella), weswegen in solchen Fällen keine anatomischen Risikofaktoren vorliegen müssen. In der MR-Diagnostik kaum vertretene Varianten sind die kongenitale oder neurogene Patellaluxation.

## Epidemiologie

Die Inzidenz von akuten Luxationen der Patella wird je nach Studie mit 6–77 pro 100 000 angegeben [4–7]. Das Durchschnittsalter liegt bei ungefähr 20 Jahren [8]. Häufig sind junge und aktive Frauen betroffen, wobei zwei Drittel der Erstluxationen beim Sport stattfinden [5]. Insbesondere im Jugendalter weisen Frauen ein um ein Drittel höheres Risiko für Patellaluxationen auf als Männer [5]. Die erstmalige Luxation kann bei vielen Patienten beträchtliche Konsequenzen nach sich ziehen, nicht nur durch die resultierenden Kniebinnenschäden, sondern auch durch weitere Luxationen. In der Erholungsphase ist die Beweglichkeit deutlich eingeschränkt und ein anteriorer Knieschmerz kann bestehen bleiben [4, 9]. Etwa die Hälfte der Patienten wird ein zweites Luxationsergebnis erleiden, da der Kapsel-Band-Apparat insuffizient ist [5, 10]. Konsekutive, rezidivierende Luxationen und eine chronische patellofemorale Instabilität prädisponieren zu früher patellofemorale Arthrose, wodurch die Lebensqualität erheblich eingeschränkt sein kann [11–13].

## Ätiologie

Die Entstehung einer patellofemorale Instabilität ist nicht vollständig geklärt und wird trotz zahlreicher Publikationen nach wie vor kontrovers diskutiert. Im Normalfall wird das Patellofemoralgelenk durch statische (Trochlea), aktive (Muskeln, z. B. M. vastus medialis obliquus) und passive (Bänder, z. B. Retinakula) Stabilisatoren geführt, wodurch die Patella während Kniebeugung regelrecht mit dem ossären Gleitlager der Trochlea artikuliert. Die Erstluxation findet beim überwiegenden Teil der Patienten im Rahmen von sportlichen Aktivitäten durch Innenrotation des am

Boden fixierten Beines und entsprechenden Valgusstress des Kniegelenks statt. Durch einen resultierenden Kraftvektor nach lateral springt die Patella aus dem Gleitlager und prallt gegen die Außenseite des lateralen Femurkondylus. Häufig zerreißt dabei das mediale patellofemorale Ligament (MPFL), das einen Teil des medialen Retinakulum darstellt und ein ausschlaggebender ligamentärer Stabilisator der Patella ist. Bei inadäquater Behandlung des rupturierten Bandes kann das MPFL narbig heilen, ohne die initial stabilisierende Funktion wiedererlangen zu können, wodurch eine chronische patellofemorale Instabilität begünstigt wird.

## Risikofaktoren

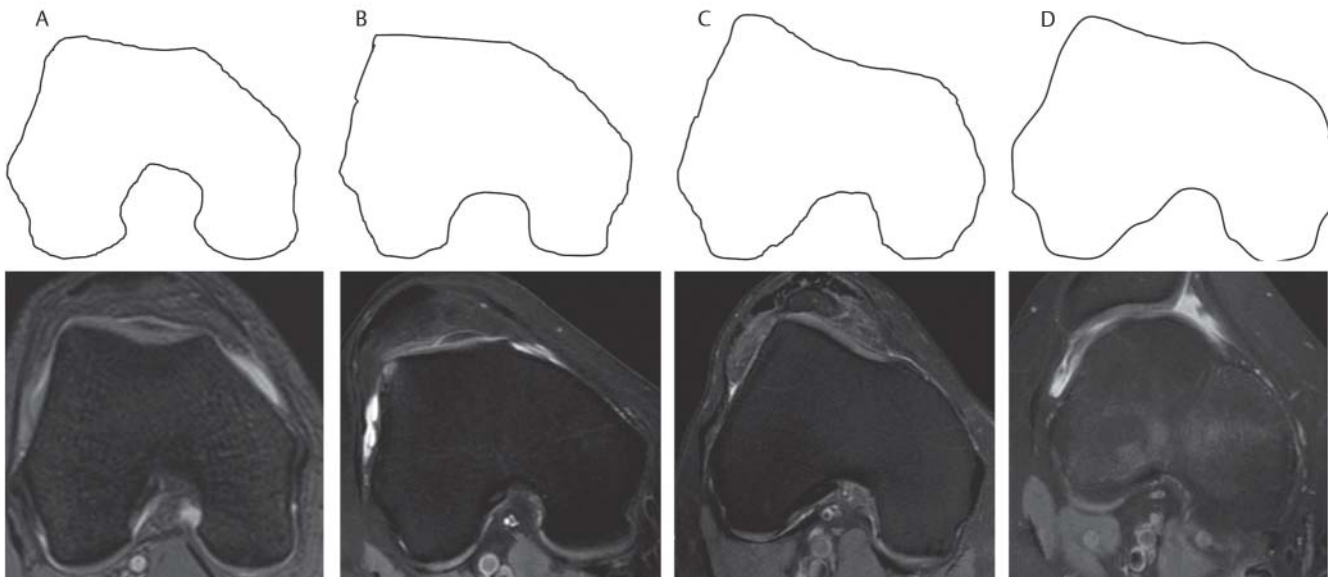
Es sind unterschiedliche anatomische Risikofaktoren bekannt, die eine patellofemorale Instabilität begünstigen können und die Wahrscheinlichkeit von Folgeluxationen erhöhen. Zu den wichtigsten Risikofaktoren zählen die Trochleadysplasie, die Patella alta und ein pathologischer TT-TG-Abstand, wobei ein breites Ausprägungsspektrum dieser Varianten besteht [14]. Dies reicht vom Fehlen jeglicher Risikofaktoren bis zum Vorliegen von einem oder auch mehreren Risikofaktoren [15]. Es ist daher sinnvoll, diese 3 anatomischen Parameter im radiologischen Befund zu quantifizieren, da ihr Vorhandensein direkten Einfluss auf die Wahl der optimalen Therapie hat (► Tab. 1).

## Trochleadysplasie

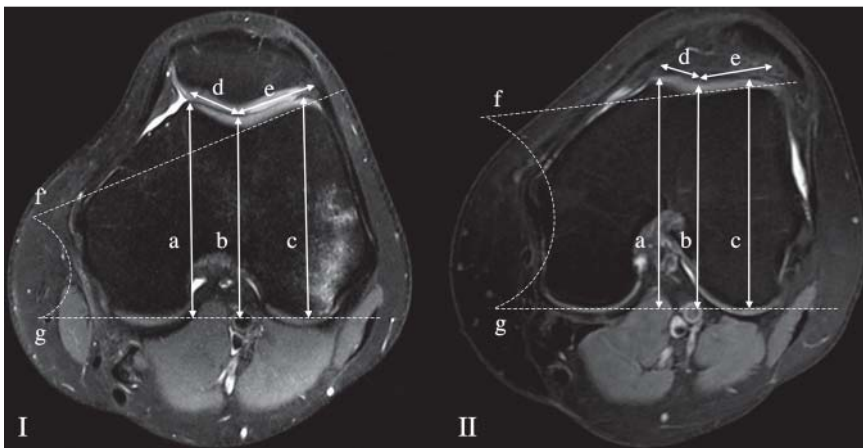
Die Trochleadysplasie gilt als eine der wichtigsten anatomischen Anlagestörungen, die eine patellofemorale Instabilität begünstigen [16–22]. Da sie in bis zu 93 % der Fälle bilateral auftritt, gehen Dejour et al. von einer konstitutionellen Abnormalität aus [18]. Insgesamt ist die trochleare Gelenkfläche abgeflacht, sodass vor allem in strecknaher Position kein zentriertes Eintreten der Patella in den Sulcus trochlearis erfolgen kann und eine sichere ossäre Stabilisierung des Gleitvorgangs nicht mehr gewährleistet

Tab. 1 Übersicht Patellaluxation.

Risikofaktoren	
Trochlear-dysplasie	morphologische Einteilung Dejour-Klassifikation (A–D) (► Abb. 1)
	quantitative Bestimmung (► Abb. 2): – Trochleartiefe Grenzwert < 3 mm – Trochlear-Facetten-Asymmetrie-Grenzwert < 40 % – Laterale-Trochlear-Inklination-Grenzwert < 11°
Patella alta	Insall-Salvati-Index Grenzwert > 1,3 (► Abb. 3) Canton-Duchamps-Index Grenzwert > 1,2
TT-TG	normal bis 15 mm (► Abb. 4) grenzwertig 15–20 mm pathologisch > 20 mm
Folgeschäden	
+++	Kontusionsödeme der medialen Patella und des lateralen Femurkondylus
+++	Ruptur oder Teilruptur des MPFL
+++	osteochondrale Fraktur der inferomedialen Patella
++	osteochondrale Fraktur des lateralen Femurkondylus
++	Knorpelschaden der zentralen Patella
+	Knorpelschaden der lateralen Patella und der Trochlea
+	Patellofemoralarthrose



**Abb. 1** Einteilung der Trochleadysplasie nach Dejour in 4 Grade A–D. Typ A: Verminderte Sulkustiefe. Typ B: Horizontale Trochlea. Typ C: Asymmetrie der Facetten, ansteigender lateraler Femurkondylus. Typ D: Typ B + C und buckelartige Vorwölbung der zentralen Trochlea.



**Abb. 2** Messparameter Trochleadysplasie. Vermessung von 3 Parametern zur Evaluation der Trochleadysplasie bei einem Patienten ohne Dysplasie (I) und einem Patienten mit Dysplasie (II). Trochleartiefe vom Mittelwert der Abstände der medialen (a) und lateralen (c) Trochleafacetten zur dorsalen Femurkondylenebene (g) wird der Abstand des Sulcus (b) subtrahiert  $= (a + c)/2 - b$ . Grenzwert  $\leq 3$  mm. Trochlear-Facetten-Asymmetrie-Verhältnis der Länge der medialen Trochleafacetten (d) geteilt durch die Länge der lateralen Trochleafacetten (e) in Prozent  $= d/e - 100\%$ . Grenzwert  $\leq 40\%$  Laterale-Trochlear-Inklination-Winkel zwischen einer Linie entlang des subchondralen Knochens der lateralen Trochlea (f) und der dorsalen Femurkondylenebene (g). Grenzwert  $< 11^\circ$ .

ist. Dadurch lateralisiert die Patella bereits bei Beginn der Flexion und eine Luxation wird begünstigt. Bei hochgradiger Dysplasie kann die Trochlea vollkommen horizontal ohne Vertiefung oder gar nach außen konvex konfiguriert sein.

Klassische Zeichen der Trochleadysplasie in axial aquirierten Sulkus-Projektionsaufnahmen bestehen bei fast allen Luxationspatienten: eine Abflachung der Trochlea und ein hoher Sulkuswinkel  $> 145^\circ$  sowie der an der proximalen Trochlea zu beobachtende Buckel und das „crossing sign“, das durch eine Überlagerung der unterschiedlich hohen medial und lateralen Trochleakanten im Seitbild entsteht [18]. In der klinischen Praxis hat sich insbesondere in unfallchirurgischen/orthopädischen Abteilungen die qualitative Einteilung der Trochleadysplasie in 4 Gruppen nach der Klassifikation von Dejour durchgesetzt [23]. Die ursprünglich anhand von konventionellen Aufnahmen vorgenommene Klassifikation ist auch auf axiale MRT-Bilder übertragbar [24] (• **Abb. 1**). Bezüglich quantitativer Messmethoden zur Diagnostik der Trochleadysplasie kann in axialen MR-Bildern mit hoher Genauigkeit die Einstellung des Gelenkknorpels des femoralen Sulkus als eigentlich relevante Gelenkfläche vermessen werden [14, 21].

In einer Vielzahl von MRT-basierten Studien wurde die Trochleadysplasie von Luxationspatienten ausgewertet [16, 17, 19–22, 25, 26]. Empfehlenswerte, standardisierte Messparameter mit hoher diagnostischer Genauigkeit sind die Trochleattiefe und die Trochlear-Facetten-Asymmetrie (beide Sensitivität 100%, Spezifität 96%) [21] (• **Abb. 2**). Für beide Messtechniken wird eine axiale Schicht ca. 3 cm oberhalb des Gelenkspalts ausgewählt, auf der trochlearer Gelenkknorpel abgebildet sein muss. Je nach Länge der Trochlea und Schichtdicke muss gegebenenfalls eine benachbart gelegene Schicht verwendet werden, generell sollte die erste Schicht gewählt werden, auf der die Trochlea mit Knorpel bedeckt ist. Für die Trochleattiefe wird an der Oberfläche des Knorpels der tiefste Punkt des Sulkus vermessen. Messwerte von 3 mm oder weniger bedeuten eine Dysplasie. Für die Trochlear-Facetten-Asymmetrie wird die Ratio aus Breite der medialen und lateralen Trochleafacetten vermessen – bei einer Ratio von  $< 40\%$  liegt eine Trochleadysplasie vor. Des Weiteren kann noch die Laterale-Trochlear-Inklination bestimmt werden. Sie ist als der Winkel zwischen dem subchondralen Knochen der lateralen Trochleafacetten und einer Linie entlang der Rückfläche der Femurkondylen definiert (• **Abb. 2**). Der Grenzwert für eine Troch-

leadysplasie ist  $< 11^\circ$  (Sensitivität 93%, Spezifität 87%) [17]. Bei hochgradiger Dysplasie ist kein Sulcus trochlearis ausgebildet, wodurch die Vermessung der Parameter erschwert werden kann. Insbesondere in solchen Fällen ist für den radiologischen Befund eine morphologische Einteilung anhand der Dejour-Klassifikation sinnvoll. Vor allem geringgradige Dysplasien können auch bei Individuen ohne primäre patellofemorale Instabilität vorkommen [16, 19–21]. Kommt es jedoch durch ein Trauma zu einer Luxation, bieten die Bänder keine ausreichende Stabilisierung mehr, wodurch auch unter diesen Umständen eine chronische Instabilität resultieren kann.

### Patella alta

Die hochstehende Patella ist ein weiterer anatomischer Risikofaktor, der mit rezidivierenden Patellaluxationen in Zusammenhang gebracht wird [15, 16, 18–20, 27–30]. Im Normalfall befindet sich die Patella beim gestreckten Bein oberhalb der Trochlea und wird erst bei zunehmender Beugung durch das Trochleazentrum gesichert [31]. Ist der Abstand pathologisch vergrößert, so folgt eine verspätete Artikulation der Gelenkflächen und dadurch verminderte ossäre Führung. Je nach Studie weist bis zu der Hälfte der Patienten nach akuter Patellaluxation im MRT eine Patella alta auf, wobei aber auch bei 10–23% von Normalkollektiven pathologische Werte gemessen werden [15, 16, 19].

Es sind zahlreiche Methoden zur Vermessung des Abstands der Patella zum Tibiaplateau bekannt, die jeweils spezifische Vor- und Nachteile aufweisen. In der klinischen Praxis haben sich für die Auswertung an sagittalen MRT-Bildern der Insall-Salvati-Index und der Canton-Duchamps-Index etabliert, die jeweils eine robuste Reproduzierbarkeit aufweisen [32, 33]. Die ursprünglich an konventionellen Seitbildern entwickelten Messtechniken sind mit hoher Übereinstimmung an sagittalen MR-Bildern anwendbar [29, 34].

Für die Bestimmung des Insall-Salvati-Index wird der Längsdurchmesser der Patella zur Länge der Patellasehne ins Verhältnis gesetzt (Abb. 3) [35]. Bei der Abmessung an Röntgenbildern wurde ursprünglich ein Grenzwert von  $\geq 1,2$  für das Vorliegen eines Patellahochstands angegeben [35, 36]. In einer Studie von Miller et al. wurde die Übertragbarkeit des Messverfahrens auf sagittale MRT-Bilder getestet und ein etwas höherer Grenzwert

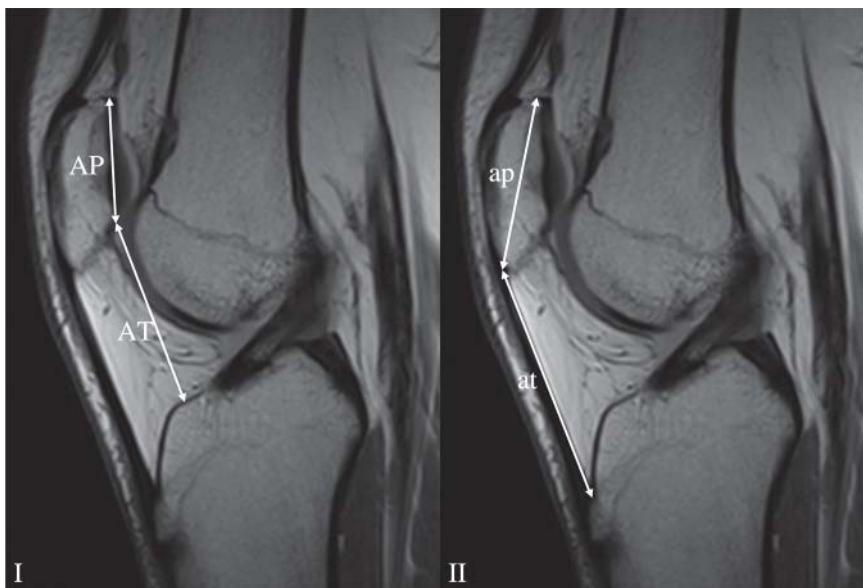
von  $\geq 1,3$  empfohlen [34], der auch in aktuellen Studien an Luxationspatienten angewendet wurde [16, 19, 34].

Der Canton-Duchamps-Index berechnet sich als Quotient aus der Länge der Retropatellarfläche und dem Abstand der unteren Patellakante zur Vorderkante des Tibiaplateaus (Abb. 3) [37]. Hier gilt ein Grenzwert von  $\geq 1,2$  für das Vorliegen einer Patella alta; dieser Grenzwert kann auch bei Kindern verwendet werden [18, 37, 38].

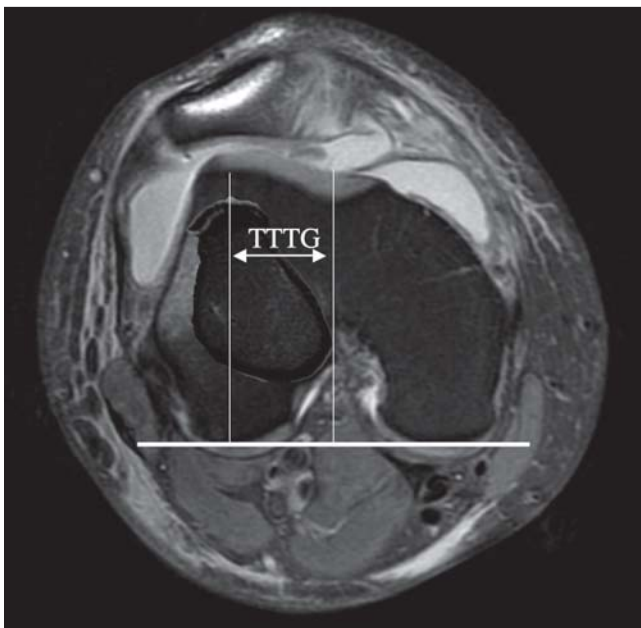
### TT-TG-Abstand

Ist die Tuberositas tibiae als Ansatzpunkt der Patellasehne im Vergleich zum Sulkus der Trochlea lateralisiert, so besteht ein Kraftvektor nach außen, wodurch eine patellofemorale Instabilität begünstigt wird. Mehrere Studien haben gezeigt, dass ein pathologischer TT-TG-Abstand einen signifikanten Risikofaktor für Patellaluxationen darstellt [16, 18, 25, 39, 40] und bei über der Hälfte der Luxationspatienten vorhanden ist [18]. Allerdings sollte bemerkt werden, dass ein pathologischer TT-TG nur sehr selten als alleiniger anatomischer Risikofaktor vorliegt und in der Regel mit einer Trochleadysplasie vergesellschaftet ist [15]. Obwohl die CT als Goldstandard für die TT-TG-Vermessung angesehen wird, kann die Distanz ebenfalls im MRT bestimmt werden, eine CT braucht nicht zusätzlich durchgeführt zu werden [41]. Ziel der Messung ist in der obersten axialen Schicht auf der erstmalig komplett eine vollständige knorpelige Deckung der Trochlea vorliegt, zunächst den tiefsten Punkt der Trochleagrube zu identifizieren und dann durch diesen Punkt rechtwinklig zur Dorsalebene der Femurkondylen eine Linie zu zeichnen (Abb. 4). Eine zweite Linie wird parallel durch den Mittelpunkt der Tuberositas gezogen. Der TT-TG-Abstand ergibt sich aus der Distanz zwischen den beiden Linien. Es ist allerdings zu beachten, dass bei ausgeprägter Trochleadysplasie keine vermessbare Vertiefung der Trochlea ausgebildet sein kann, weswegen in diesen Fällen der TT-TG nicht bestimmbar ist.

Bei Kontrollgruppen ohne patellofemorale Instabilität sind TT-TG-Mittelwerte von 10–12 mm publiziert [25, 39, 42]. Werte zwischen 15–20 mm werden als grenzwertig angesehen. Messwerte von  $> 20$  mm werden als definitiv pathologisch eingestuft und können durch operativen Versatz der Tuberositas korrigiert werden [43].



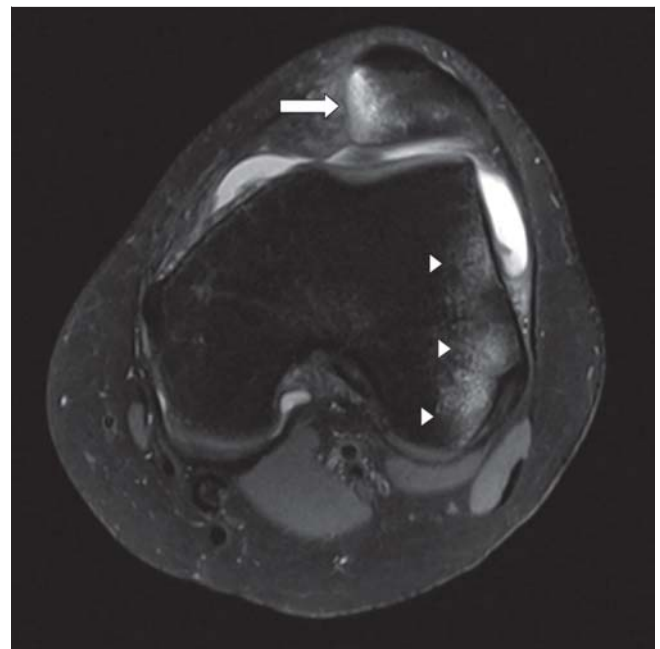
**Abb. 3** Messparameter Patella alta. I) Messung des Patellar Index nach Caton-Duschamps: AT/AP. Bei einem Index von  $\geq 1,2$  besteht eine Patella alta. II) Messung des Patellar-Index nach Insall-Salvati: at/ap. Bei einem Index  $\geq 1,3$  besteht eine Patella alta. Bei dieser Patientin lag ein Canton-Duschamps-Index von 1,55 und ein Insall-Salvati-Index von 1,45 vor.



**Abb. 4** TTTG. Tibial-Tuberosity-to-Trochlear-Groove-Entfernung: Es wird zunächst die erste axiale Schicht ausgewählt, auf der die Trochlea vollständig mit Knorpel bedeckt ist. Hier wird der Abstand einer Linie durch den tiefsten Punkt der Trochlea, die rechtwinklig zur dorsalen Femurkondylenebene ausgerichtet ist, zu einer Linie durch die Mitte der Tuberositas gemessen (hier in das Bild kopiert). Messwerte von  $\geq 20$  mm bedeuten einen pathologischen TT-TG-Abstand.

### Weitere

Ob die Rotationseinstellung des Beines (femorale Anteversion, tibiale Außenrotation) und die mechanische Tragachse (Genu valgum/varum) als valide Risikofaktoren für patellofemorale Instabilität angesehen werden können, ist noch nicht eindeutig geklärt. Eine aktuelle Studie hat gezeigt, dass Luxationspatienten im Vergleich zur Kontrollgruppe eine im Mittel höhere femorale Anteversion und eine Tendenz zum genu valgum aufweisen [44]. Weitere ältere Studien zeigen einen Zusammenhang der femoralen oder tibialen Torsion zur Instabilität [45–47], während andere Studien keinen Einfluss darstellen können, insbesondere da die Varianz in Normalkollektiven zu stark variiert, um pathologische Grenzwerte festlegen zu können [18, 48]. Bei klinischem Verdacht auf Alignmentstörung können mittels schneller axialer T1w- oder T2w-Sequenzen die Gelenke der Beine innerhalb weniger Minuten abgebildet und die relevanten Achsen vermessen werden. Nach orthopädischer Literatur können bei Vorliegen von Extremwerten in Einzelfällen femorale oder tibiale Derotationsosteotomien indiziert sein [49]. Der Einfluss der Patellaform als primärer Risikofaktor für patellofemorale Instabilität ist ebenfalls unsicher und hat sich in der aktuellen Diagnostik der patellofemorale Instabilität nicht durchgesetzt, weswegen die Wiberg-Klassifikation in der heutigen patientenspezifischen Erstellung des Risikofaktorprofils keine breite Akzeptanz mehr findet. Auch bei dem von Dejour beschriebenen Patella-Tilt, der eine Verkipfung der Patellaquerachse nach lateral darstellt, scheint es sich eher um eine Folgeerscheinung unterschiedlicher anderer Faktoren (rupturiertes oder insuffizientes MPFL, Patella alta, Trochleadysplasie) zu handeln, als um eine tatsächliche Ursache für patellofemorale Instabilität [50]. Abgesehen von knöchernen Anlagevarianten wird außerdem eine allgemeine ligamentäre Hyperlaxität bei Luxationspatienten diskutiert [51, 52], was jedoch von einer anderen Studie nicht bestä-



**Abb. 5** Kontusionsödeme. 20-jährige Patientin unmittelbar nach Erstluxation der Patella. Typische Knochenödeme an der inferomedialen Patella (Pfeil) und an der Außenfläche des lateralen Femurkondylus (Pfeilspitzen).

tigt werden konnte [4]. Zumindest bei rezidivierenden Luxationen scheint die generelle Hypermobilität eine Rolle zu spielen [53]. Auch ob eine Hypotrophie des Vastus medialis obliquus initial zu einer Erstluxation beiträgt oder erst als dessen Folge entsteht und dann eine chronische patellofemorale Instabilität begünstigt, ist nicht eindeutig geklärt.

### Folgeschäden

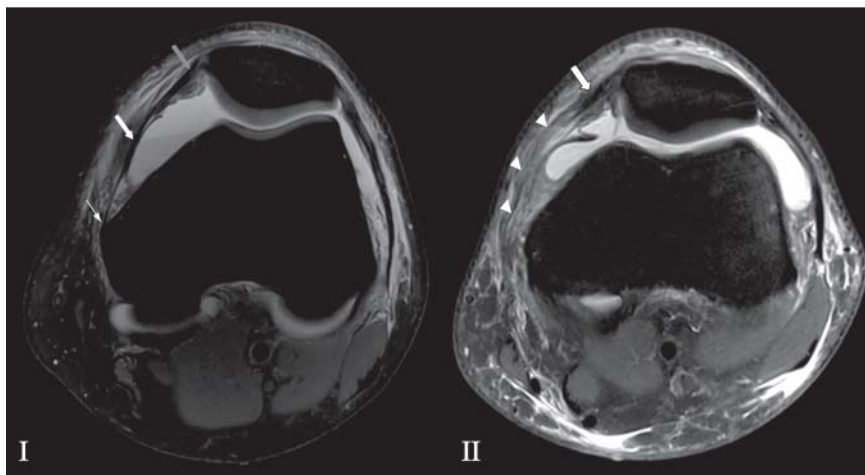
▼  
Kürzlich stattgehabte Luxationen der Patella zeigen ein typisches Befundmuster und sind im MRT einfach zu diagnostizieren. Anschlagsbedingte Knochenödeme der inferomedialen Patella und der Außenseite des lateralen Femurkondylus sowie eine Ruptur des MPFL gelten als pathognomonisch für eine stattgehabte laterale Patellaluxation [19, 54–57]. Außerdem können osteochondrale oder chondrale Verletzungen direkte Folge des Luxationsereignisses sein. Insbesondere bei chronischer patellofemorale Instabilität droht eine frühe patellofemorale Arthrose [58] (☉ Tab. 1).

### Osteochondrale und chondrale Verletzungen

Die mediale Patella weist durch die Kontusion gegen das Femur bei fast allen Patienten unmittelbar nach Erstluxation ein Knochenödem auf (☉ Abb. 5). Bei 70% der Patienten besteht an der Kontusionsstelle ein osteochondraler Schaden und bei 40% wird eine typische konkave Impaktation nachgewiesen [19] (☉ Abb. 6). Ätiologisch können die primär impaktionsbedingten osteochondralen Schäden der medialen Patella von den avulsionsbedingten Defekten unterschieden werden, die einem ligamentären Ausriss des MPFL zugeordnet werden. Diese frischen Traumafolgen sollten allerdings nicht mit paraossalen Ossifikationen verwechselt werden, die neben der medialen Kante der Patella am Ansatz des MPFL und der Gelenkkapsel anzutreffen



**Abb. 6** Osteochondraler Defekt. 21-jähriger Patient unmittelbar nach Erstluxation der Patella. Axiales (I) und koronares (II) Bild eines osteochondralen Defektes der inferomedialen Patella (Pfeilspitzen) mit freiem Gelenkkörper durch disloziertes Fragment (Pfeil).



**Abb. 7** I) Intaktes mediales patellofemorales Ligament (MPFL, dicker weißer Pfeil) bei einem Patienten nach akutem Knie trauma. Das MPFL ist ein horizontal verlaufender Faserzug und entspricht der mittleren Schicht der medialeseitigen Kniegelenksfasern. Es entspringt femoralseitig vor dem Epikondylus medialis (dünner weißer Pfeil) und inseriert gemeinsam mit dem medialen Retinakulum an den superioren zwei Dritteln des medialen Patellarands (grauer Pfeil). II) 18-jährige Patientin nach Erstluxation. Vollständige Ruptur des medialen patellofemorales Ligaments (MPFL) am femoralen Ansatz und im mittleren Drittel (Pfeilspitzen) nach akuter Patellaluxation. Patellare Insertion des MPFL und medialen Retinakulum als Bandstumpf abgrenzbar (Pfeil).

sind und auf repetitiven Weichteilschäden typischerweise nach rezidivierenden Luxationen zurückgeführt werden [59].

Zusätzlich zu den osteochondralen Defekten der medialen Patella sollten Schäden der zentralen Retropatellarfläche ausgeschlossen werden, da frische Knorpelrisse oder -abrisse zum Beispiel durch das Gleiten über den lateralen Femurkondylus verursacht werden können. Insbesondere nach rezidivierenden Luxationen können Fissuren und erosionsartige Defekte im Rahmen einer chronischen Chondropathie vorliegen [12, 58, 60–65]. Die MRT weist insbesondere bei höhergradigen Knorpelschäden eine hohe diagnostische Genauigkeit auf, während geringgradige Knorpelläsionen dem Nachweis entgehen können [66].

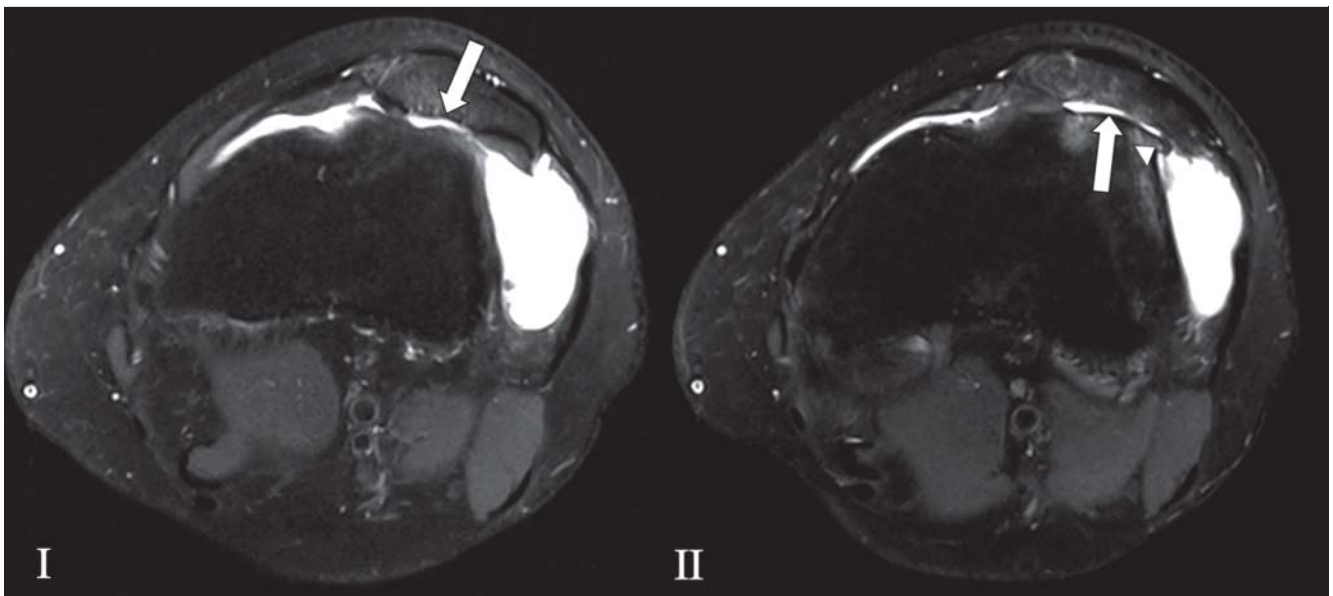
Bei einem Drittel der Luxationspatienten bestehen dislozierte Fragmente als freie Gelenkkörper, die im Befund explizit erwähnt werden sollten, da unter Umständen eine operative Intervention indiziert sein kann. Im Umkehrschluss sollte im Rahmen der Primärdiagnostik bei unklarem Knie trauma mit Nachweis eines Kniegelenksergusses sowie eines intraartikulären Knochenfragments im konventionellen Röntgenbild immer an eine stattgehabte Patellaluxation gedacht werden [67].

Es ist wichtig im MRT-Befund vor allem osteochondrale Fragmente explizit zu erwähnen, da in Abhängigkeit der Lokalisation und der Größe eine Refixation möglich sein kann [68]. Größere und frische osteochondrale Defekte sollten insbesondere bei jüngeren Patienten refixiert werden. Nach Empfehlungen von Rosslen-

broich et al. werden Fragmentgrößen ab ca. 1 cm<sup>2</sup> als sinnvoll für eine Refixation erachtet, wobei allerdings bisher keine genaueren Daten publiziert wurden, ab welcher Größe eine Fragmentrefixation Erfolg versprechend ist [68]. Rein chondrale Läsionen weisen eine schlechte Heilungstendenz auf [69, 70]. Auch kleine Fragmente eignen sich nicht zur Refixation, sollten aber entfernt werden, um die Entstehung von freien Gelenkkörpern zu verhindern [68]. Des Weiteren sind knöcherne Ausrisse der medialen Bänder bei erhaltener ligamentärer Struktur von Bedeutung. Diese Verletzungen sind selten, erlauben aber bei umgehender Refixation eine langfristige Wiederherstellung der Primärstabilität, was bei intraligamentären Läsionen deutlich schwieriger ist.

Am lateralen Femurkondylus wird ebenfalls bei fast allen Patienten nach kürzlicher Luxation ein ausgeprägtes Ödem gesehen (Abb. 5) [19, 54–57]. Hier sind die osteochondralen Verletzungen weniger häufig als an der medialen Patella und werden in der Literatur mit bis 40% angegeben [71, 72]. Typische Lokalisation ist die zentrale und laterale Hauptbelastungszone [71, 73].

Bei Patienten, die multiple Luxationsereignisse in der Vorgeschichte aufweisen und unter chronischer patellofemorale Instabilität leiden, liegt häufig eine permanente Subluxation der Patella vor. Dadurch können beträchtliche Schäden der Gelenkflächen bereits beim jungen Patienten verursacht werden, die zu einer frühen patellofemorale Arthrose führen können, wodurch



**Abb. 8** Knorpelschaden und Arthrose. 28-jährige Patientin mit chronischer patellofemoraler Instabilität nach mehreren Luxationsereignissen. Hochgradiger Knorpeldefekt der zentralen Patella (Pfeil, Bild I) und der la-

teralen Trochlea (Pfeil, Bild II). Beginnende patellofemorale Arthrose mit Osteophyten der lateralen Trochleakante (Pfeilspitze, Bild II).

die Lebensqualität signifikant eingeschränkt wird [11, 13] (▣ **Abb. 8**).

### Schäden des Kapsel-Band-Apparats

Für das Verständnis des ligamentären Schadens nach lateraler Patellaluxation ist die Kenntnis des medialen patellofemorales Ligaments (MPFL) von Bedeutung, da es den wichtigsten passiven Stabilisator darstellt und häufig im Rahmen der Luxation rupturiert. Die medialseitigen Bänder des Patellofemoralgelenks weisen einen komplexen anatomischen Aufbau auf, die im 3-Schicht-Modell nach Warren und Mashall zusammengefasst sind [74]: In einer äußeren oberflächlichen Schicht I liegt die Oberschenkelfaszie und die Faszie des M. sartorius. In der mittleren Schicht II sind das fächerförmige MPFL und Faserzüge des medialen Kollateralbands lokalisiert. Die tiefe Schicht III wird durch die eigentliche Gelenkkapsel und weitere Fasern gebildet. Das MPFL ist eine gesonderte horizontal verlaufende Fasergruppe in der mittleren Schicht und gilt als statischer Stabilisator der Patella, da es einem lateralen Abweichen der Kniescheibe entgegenwirkt [75, 76]. Es verläuft von den superioren zwei Dritteln des medialen Patellarands bis zum femoralen Insertionspunkt anterior des medialen Epicondylus [77, 78] (▣ **Abb. 7**). In den superioren Anteilen ist das Ligament mit der tiefen Faszie des distalen M. vastus medialis verbunden. Am patellaren Ansatz ist das MPFL anterior mit dem medialen Retinakulum verwoben. Das mediale Retinakulum ist eine Verdickung von Faserzügen aus der Schicht I und II, die gemeinsam am medialen Patellarand ansetzen [79]. Im Gegensatz zum MPFL geht das mediale Retinakulum nach dorsal in die Faszie des Vastus medialis obliquus über. In der klinischen Routine sind die Bandstrukturen am besten durch axiale PDw oder T2w FS abgrenzbar, wobei patellarseitig der gemeinsame Ansatz des medialen Retinakulums und MPFL dicker imponiert als die femoralseitige MPFL Insertion (▣ **Abb. 7**) [79–81].

Als ligamentärer Stabilisator verhindert das MPFL vor allem ein laterales luxieren der Patella aus der Trochlea. Biomechanische Studien haben gezeigt, dass das MPFL zwischen 50–60% sämtlicher lateralisierender Kräfte der Patella entgegenwirkt [82] und

dessen Ruptur signifikante Auswirkungen auf die Entwicklung einer lateralen Instabilität hat [83].

Nach akuter Luxation wird fast immer auch ein Schaden des MPFL nachgewiesen [16, 19, 72, 84–86]. Im Vergleich zur Arthroskopie kann mittels MRT mit höherer Genauigkeit das Vorhandensein, das Ausmaß und der Ort des Schadens spezifiziert werden [87]. Ein Teil der Patienten weist vollständige Rupturen auf, wobei in einigen Fällen auch nur Teilrupturen bestehen können. Im radiologischen Befund sollte die Lokalisation der Ruptur auf das patellare, das mittlere und das femorale Drittel des MPFL spezifiziert werden. Hier ist zu beachten, dass bis zu 50% der Patienten mehr als eine Rupturstelle des MPFL aufweisen, sodass zum Beispiel beim gleichen Patienten Abrisse sowohl am femoralen als auch am patellaren Ansatz bestehen können [16, 19, 72]. Die Lokalisation der Ruptur sollte im radiologischen Befund dokumentiert werden, da sie entscheidende Bedeutung für die Art der Behandlung hat. Liegt bei Erstluxation beispielsweise eine femoralseitige Läsion vor, ist eine arthroskopische Raffung der medialen Kapsel-Bandstrukturen kontraindiziert, da das geschädigte Gewebe durch einen arthroskopischen Eingriff nicht erreicht und lediglich durch ein offenes Verfahren fixiert werden kann. Liegt eine an mehreren Stellen zu beobachtende ausgeprägte Destruktion des medialen Kapsel-Band-Apparats vor, vor allem in Kombination mit weiteren eine patellofemorale Instabilität begünstigenden Faktoren, ist von einem konservativen Vorgehen abzuraten, da diese keine suffiziente langfristige Wiederherstellung der Stabilität erlauben.

MRT-morphologische Zeichen einer MPFL-Ruptur entsprechen den klassischen Kriterien einer Bandruptur und sind die vollständige Kontinuitätsunterbrechung, der S-förmige Verlauf und das peritendinöse Ödem (▣ **Abb. 7**) [14]. Durch die fehlende mediale Stabilisierung kommt es zur lateralen Subluxation und Verkipfung (Tilt) der Patella mit Ausheilung der verletzten Bandstrukturen in dieser Fehlstellung, die dann zu einer Prädisposition zu weiteren Luxationsereignisse führt. Bei der Teilruptur besteht in erster Linie eine fokale Ausdünnung des Bandes und/oder eine fokale T2w-Hyperintensität.

Insbesondere bei kürzlich stattgehabter Erstluxation liegt ein signifikanter Kniegelenkserguss vor. Je nach Ausmaß des Weichteilschadens und des osteochondralen Defekts können durch intraartikuläres Blut oder Fettmark Flüssigkeitsspiegel entstehen. Patienten mit rezidivierenden Luxationen oder chronischer patellofemorale Instabilität weisen gelegentlich keinen signifikanten Erguss auf, da bei erneuter Luxation die bereits insuffizienten Weichteile nicht mehr beschädigt werden. Häufig wird nach akuter Luxation auch ein Ödem und eine Zerrung des M. vastus medialis obliquus beobachtet [19, 72], der vor allem in Flexion ebenfalls als medialer Stabilisator wirkt und bei lateraler Luxation durch seinen Ansatz an der Patella neben dem MPFL ebenfalls signifikanten Zugkräften ausgesetzt ist. In selteneren Fällen können durch die enge anatomische Lagebeziehung Schäden des medialen Kollateralbands und am medialen Meniskus bestehen, die klinisch ein ähnliches Beschwerdebild wie die spontan reponierte Patellaluxation aufweisen können, weswegen es sinnvoll ist, im Befund explizit auf diese Strukturen einzugehen.

## Therapie

Das therapeutische Spektrum der Patellaluxation reicht von konservativer Therapie über operative Standardverfahren wie Raffung des medialen Kapsel-Band-Apparats, Naht/Augmentation des MPFL und laterale Retinakulumspaltung (lateral release) bis hin zu Osteotomien der Trochlea (Trochleaplastik), der Tuberositas tibiae (Medialisierung, Anteromedialisierung) oder des Femurs/der Tibia (Derotation) [49, 88]. Ausschlaggebend für das Behandlungskonzept sind die Häufigkeit der stattgehabten Luxation, das Verletzungsmuster und der vermutete Pathomechanismus.

Bei Erstluxation der Patella war bis dato eine primär konservativ Behandlung vorgesehen, wenn keine größeren osteochondralen Verletzungen festzustellen waren. Allerdings haben mehrere Studien gezeigt, dass nach Erstluxation Reluxationsraten zwischen 15–35% bestehen [89–92]. Neu entwickelte Operationstechniken sprechen für eine primär operative Versorgung der Erstluxation durch Rekonstruktion des medialen patellofemorale Ligaments [93].

Übereinstimmung besteht bei der operativen Therapie der rezidivierenden Patellaluxation. Rezidivierende Luxationen werden in Abhängigkeit des zugrunde liegenden individuellen Risikoprofils behandelt [43, 94, 95], weswegen die MRT-Diagnostik einen wichtigen Stellenwert in der Therapieplanung einnimmt. Weisen diese Patienten im einfachsten Fall lediglich eine Trochleadysplasie Grad B und keine Patella alta und keinen pathologischen TT-TG auf, so ist die klassische mediale Raffung in arthroskopischer oder offener Technik Verfahren der Wahl [96, 97]. Bei Patienten mit einer Trochleadysplasie Typ B oder C und deutlicher Subluxationsstellung ist die Rekonstruktion des medialen patellofemorale Ligaments zu empfehlen [98]. Dieses Verfahren sollte im Falle eines pathologischen TT-TG und/oder einer Patella alta mit einem Versatz der Tuberositas tibiae kombiniert werden [99]. Bei höhergradigen Dysplasien der Trochlea vom Typ C und D sind Trochleaplastiken zur Rekonstruktion des trochleären Sulkus allein oder in Kombination mit medial stabilisierenden Verfahren (MPFL-Rekonstruktion, mediale Raffung) indiziert. In den seltenen Fällen, in denen Rotationsdeformitäten des Femurs oder der Tibia die ausschlaggebende Pathologie der patellofemorale Instabilität darstellen, können Derotationsosteotomien isoliert oder in Kombination mit weiteren Verfahren zur Anwendung kommen.

Es existiert noch eine inzwischen fast unüberschaubare Anzahl an weiteren Techniken oder Modifikation von oben beschriebenen Verfahren. Jedoch gilt auch hier die Prämisse, dass das Verständnis der Ursache der patellofemorale Instabilität die Wahl des entsprechenden Verfahrens bestimmt.

Weitere zusätzliche Informationen und ausführliches Bildmaterial über das Thema sind in einem Radiographics Artikel verfügbar: PMID: 20 631 363 [14].

## Literatur

- 1 Oestern S, Varoga D, Lippross S et al. Patellaluxation. Unfallchirurg 2011; 114: 345–358
- 2 Wirth T. Patellaluxationen. Unfallchirurg 2011; 114: 388–395
- 3 Petersen W, Forkel P, Achtnich A. Chronische patellofemorale Instabilität. Unfallchirurg 2012; 115: 397–409
- 4 Atkin DM, Fithian DC, Marangi KS et al. 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: 472–479
- 5 Fithian DC, Paxton EW, Stone ML et al. Epidemiology and natural history of acute patellar dislocation. Am J Sports Med 2004; 32: 1114–1121
- 6 Sillanpaa P, Mattila VM, Iivonen T et al. Incidence and risk factors of acute traumatic primary patellar dislocation. Med Sci Sports Exerc 2008; 40: 606–611
- 7 Hsiao M, Owens BD, Burks R et al. Incidence of acute traumatic patellar dislocation among active-duty United States military service members. Am J Sports Med 38: 1997–2004
- 8 Stefancin JJ, Parker RD. First-time traumatic patellar dislocation: a systematic review. Clin Orthop Relat Res 2007; 455: 93–101
- 9 Hawkins RJ, Bell RH, Anisette G. Acute patellar dislocations. The natural history. Am J Sports Med 1986; 14: 117–120
- 10 Maenpaa H, Huhtala H, Lehto MU. Recurrence after patellar dislocation. Redislocation in 37/75 patients followed for 6–24 years. Acta Orthop Scand 1997; 68: 424–426
- 11 Maenpaa H, Lehto MU. Patellofemoral osteoarthritis after patellar dislocation. Clin Orthop Relat Res 1997; 339: 156–162
- 12 Nomura E, Inoue M. Second-look arthroscopy of cartilage changes of the patellofemoral joint, especially the patella, following acute and recurrent patellar dislocation. Osteoarthritis Cartilage 2005; 13: 1029–1036
- 13 Sillanpaa PJ, Mattila VM, Visuri T et al. Patellofemoral osteoarthritis in patients with operative treatment for patellar dislocation: a magnetic resonance-based analysis. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2010; 19: 230–235
- 14 Diederichs G, Issever AS, Scheffler S. MR imaging of patellar instability: injury patterns and assessment of risk factors. Radiographics 2010; 30: 961–981
- 15 Kohlitz T, Scheffler S, Jung T et al. Prevalence and patterns of anatomical risk factors in patients after patellar dislocation: a case control study using MRI. Eur Radiol; Epub 2012 Nov 29
- 16 Balcarek P, Ammon J, Frosch S et al. 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 2010; 26: 926–935
- 17 Carrillon Y, Abidi H, Dejour D et al. Patellar instability: assessment on MR images by measuring the lateral trochlear inclination-initial experience. Radiology 2000; 216: 582–585
- 18 Dejour H, Walch G, Nove-Josserand L et al. Factors of patellar instability: an anatomic radiographic study. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 1994; 2: 19–26
- 19 Elias DA, White LM, Fithian DC. 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: 736–743
- 20 Escala JS, Mellado JM, Olona M et al. Objective patellar instability: MR-based quantitative assessment of potentially associated anatomical features. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2006; 14: 264–272
- 21 Pfirrmann CW, Zanetti M, Romero J et al. Femoral trochlear dysplasia: MR findings. Radiology 2000; 216: 858–864
- 22 Weber-Spickschen TS, Spang J, Kohn L et al. The relationship between trochlear dysplasia and medial patellofemoral ligament rupture loca-



- tion after patellar dislocation: an MRI evaluation. *Knee* 2010; 18: 185–188
- 23 *Dejour H, Walch G, Neyret P et al.* Dysplasia of the femoral trochlea. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1990; 76: 45–54
  - 24 *Salzmann GM, Weber TS, Spang JT et al.* Comparison of native axial radiographs with axial MR imaging for determination of the trochlear morphology in patients with trochlear dysplasia. *Arch Orthop Trauma Surg* 2010; 130: 335–340
  - 25 *Balcarek P, Jung K, Ammon J et al.* 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: 2320–2327
  - 26 *Balcarek P, Walde TA, Frosch S et al.* Patellar dislocations in children, adolescents and adults: a comparative MRI study of medial patellofemoral ligament injury patterns and trochlear groove anatomy. *Eur J Radiol* 2010; 79: 415–420
  - 27 *Barnett AJ, Prentice M, Mandalia V et al.* Patellar height measurement in trochlear dysplasia. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2009; 17: 1412–1415
  - 28 *Biedert RM, Albrecht S.* The patellotrochlear index: a new index for assessing patellar height. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006; 14: 707–712
  - 29 *Neyret P, Robinson AH, Le Coultre B et al.* Patellar tendon length – the factor in patellar instability? *Knee* 2002; 9: 3–6
  - 30 *Ward SR, Terk MR, Powers CM.* Patella alta: association with patellofemoral alignment and changes in contact area during weight-bearing. *J Bone Joint Surg Am* 2007; 89: 1749–1755
  - 31 *Feller JA, Amis AA, Andrich JT et al.* Surgical biomechanics of the patellofemoral joint. *Arthroscopy* 2007; 23: 542–553
  - 32 *Barnett AJ, Prentice M, Mandalia V et al.* Patellar height measurement in trochlear dysplasia. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2009; 17: 1412–1415
  - 33 *Seil R, Muller B, Georg T et al.* Reliability and interobserver variability in radiological patellar height ratios. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2000; 8: 231–236
  - 34 *Miller TT, Staron RB, Feldman F.* Patellar height on sagittal MR imaging of the knee. *Am J Roentgenol* 1996; 167: 339–341
  - 35 *Insall J, Salvati E.* Patella position in the normal knee joint. *Radiology* 1971; 101: 101–104
  - 36 *Insall J, Goldberg V, Salvati E.* Recurrent dislocation and the high-riding patella. *Clin Orthop Relat Res* 1972; 88: 67–69
  - 37 *Caton J.* Method of measuring the height of the patella. *Acta Orthop Belg* 1989; 55: 385–386
  - 38 *Thevenin-Lemoine C, Ferrand M, Courvoisier A et al.* Is the Caton-Deschamps index a valuable ratio to investigate patellar height in children? *J Bone Joint Surg Am* 2011; 93: e35
  - 39 *Balcarek P, Jung K, Frosch KH et al.* Value of the tibial tuberosity-trochlear groove distance in patellar instability in the young athlete. *Am J Sports Med* 2011; 39: 1756–1761
  - 40 *Tsujimoto K, Kurosaka M, Yoshiya S et al.* Radiographic and computed tomographic analysis of the position of the tibial tubercle in recurrent dislocation and subluxation of the patella. *Am J Knee Surg* 2000; 13: 83–88
  - 41 *Schoettle PB, Zanetti M, Seifert B et al.* The tibial tuberosity-trochlear groove distance; a comparative study between CT and MRI scanning. *Knee* 2006; 13: 26–31
  - 42 *Pandit S, Frampton C, Stoddart J et al.* Magnetic resonance imaging assessment of tibial tuberosity-trochlear groove distance: normal values for males and females. *Int Orthop* 2011; 35: 1799–1803
  - 43 *Colvin AC, West RV.* Patellar instability. *J Bone Joint Surg Am* 2008; 90: 2751–2762
  - 44 *Diederichs G, Koehltz T, Kornaropoulos E et al.* MRI Analysis of Rotational Alignment in Patients with Patellar Dislocation. *Am J Sports Med* 2013; 41: 51–57
  - 45 *Cameron JC, Saha S.* External tibial torsion: an underrecognized cause of recurrent patellar dislocation. *Clin Orthop Relat Res* 1996; 328: 177–184
  - 46 *Cooke TD, Price N, Fisher B et al.* The inwardly pointing knee. An unrecognized problem of external rotational malalignment. *Clin Orthop Relat Res* 1990; 260: 56–60
  - 47 *Turner MS, Smillie IS.* The effect of tibial torsion of the pathology of the knee. *J Bone Joint Surg Br* 1981, 63-B: 396–398
  - 48 *Reikeras O.* Patellofemoral characteristics in patients with increased femoral anteversion. *Skeletal Radiol* 1992; 21: 311–313
  - 49 *Frosch S, Balcarek P, Walde TA et al.* Die Therapie der Patellaluxation: Eine systematische Literaturanalyse. *Z Orthop Unfall* 2011; 149: 630–645
  - 50 *Arendt EA, Fithian DC, Cohen E.* Current concepts of lateral patella dislocation. *Clin Sports Med* 2002; 21: 499–519
  - 51 *Stanitski CL.* Articular hypermobility and chondral injury in patients with acute patellar dislocation. *Am J Sports Med* 1995; 23: 146–150
  - 52 *Runow A.* The dislocating patella. Etiology and prognosis in relation to generalized joint laxity and anatomy of the patellar articulation. *Acta Orthop Scand Suppl* 1983; 201: 1–53
  - 53 *Nomura E, Inoue M, Kobayashi S.* Generalized joint laxity and contralateral patellar hypermobility in unilateral recurrent patellar dislocators. *Arthroscopy* 2006; 22: 861–865
  - 54 *Kirsch MD, Fitzgerald SW, Friedman H et al.* Transient lateral patellar dislocation: diagnosis with MR imaging. *Am J Roentgenol* 1993; 161: 109–113
  - 55 *Lance E, Deutsch AL, Mink JH.* Prior lateral patellar dislocation: MR imaging findings. *Radiology* 1993; 189: 905–907
  - 56 *Spritzer CE, Courneya DL, Burk DL Jr et al.* Medial retinacular complex injury in acute patellar dislocation: MR findings and surgical implications. *Am J Roentgenol* 1997; 168: 117–122
  - 57 *Vrolainen H, Visuri T, Kuusela T.* Acute dislocation of the patella: MR findings. *Radiology* 1993; 189: 243–246
  - 58 *Vollnberg B, Koehltz T, Jung T et al.* Prevalence of cartilage lesions and early osteoarthritis in patients with patellar dislocation. *Eur Radiol* 2012; 22: 2347–2356
  - 59 *Jerabek SA, Asnis PD, Bredella MA et al.* Medial patellar ossification after patellar instability: a radiographic finding indicative of prior patella subluxation/dislocation. *Skeletal Radiol* 2009; 38: 785–790
  - 60 *Nomura E, Inoue M.* Cartilage lesions of the patella in recurrent patellar dislocation. *Am J Sports Med* 2004; 32: 498–502
  - 61 *Nomura E, Inoue M, Kurimura M.* Chondral and osteochondral injuries associated with acute patellar dislocation. *Arthroscopy* 2003; 19: 717–721
  - 62 *Vollnberg B, Koehltz T, Jung T et al.* Prevalence of cartilage lesions and early osteoarthritis in patients with patellar dislocation. *Eur Radiol* 2012; 22: 2347–2356
  - 63 *Arnoldi AP, Weckbach S, Nussbickel C et al.* MRT-basierte Knorpelvolumetrie nach Kreuzbandersatzplastik in Korrelation mit qualitativen Gelenkveränderungen und dem klinischen Outcome. Gibt es Hinweise auf frühzeitige posttraumatische degenerative Veränderungen? *Fortschr Röntgenstr* 2011; 183: 1138–1144
  - 64 *Horng A, Raya J, Zscharn M et al.* Lokoregionale Belastungszonen des Gelenkknorpels im gesamten Knie nach Belastung in unterschiedlichen Flexionsgraden mit 3D-MR-Volumetrie bei 3T. *Fortschr Röntgenstr* 2011; 183: 432–440
  - 65 *Korn A, Horger M, Albrecht D et al.* Korbhenkelrisse. *Fortschr Röntgenstr* 2011; 183: 91–94
  - 66 *von Engelhardt LV, Raddatz M, Bouillon B et al.* How reliable is MRI in diagnosing cartilaginous lesions in patients with first and recurrent lateral patellar dislocations? *BMC Musculoskelet Disord* 2010; 11: 149
  - 67 *Haas JP, Collins MS, Stuart MJ.* The “sliver sign”: a specific radiographic sign of acute lateral patellar dislocation. *Skeletal Radiol* 2011; 41: 595–601
  - 68 *Rosslbroich S, Raschke M, Petersen W.* Akute osteochondrale Läsionen nach Patellaluxation. *Unfallchirurg* 2012; 115: 392–396
  - 69 *Mankin HJ.* The reaction of articular cartilage to injury and osteoarthritis (second of two parts). *N Engl J Med* 1974; 291: 1335–1340
  - 70 *Mankin HJ.* The reaction of articular cartilage to injury and osteoarthritis (first of two parts). *N Engl J Med* 1974; 291: 1285–1292
  - 71 *Sanders TG, Paruchuri NB, Zlatkin MB.* MRI of osteochondral defects of the lateral femoral condyle: incidence and pattern of injury after transient lateral dislocation of the patella. *Am J Roentgenol* 2006; 187: 1332–1337
  - 72 *Seeley M, Bowman KF, Walsh C et al.* Magnetic resonance imaging of acute patellar dislocation in children: patterns of injury and risk factors for recurrence. *J Pediatr Orthop* 2012; 32: 145–155
  - 73 *Mashoof AA, Scholl MD, Lahav A et al.* Osteochondral injury to the mid-lateral weight-bearing portion of the lateral femoral condyle associated with patella dislocation. *Arthroscopy* 2005; 21: 228–232
  - 74 *Warren LF, Marshall JL.* The supporting structures and layers on the medial side of the knee: an anatomical analysis. *J Bone Joint Surg Am* 1979; 61: 56–62

- 75 Hautamaa PV, Fithian DC, Kaufman KR et al. Medial soft tissue restraints in lateral patellar instability and repair. *Clin Orthop Relat Res* 1998; 349: 174–182
- 76 Stoller DW, Li AE, Anderson LJ et al. The Knee. In: Stoller DW (ed) *Magnetic Resonance Imaging in Orthopedics and Sports Medicine* Third Edition. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins; 2007, 605–614
- 77 Tuxoe JI, Teir M, Winge S et al. The medial patellofemoral ligament: a dissection study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2002; 10: 138–140
- 78 Feller JA, Feagin JA Jr, Garrett WE et al. The medial patellofemoral ligament revisited: an anatomical study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1993; 1: 184–186
- 79 Ruiz ME, Erickson SJ. Medial and lateral supporting structures of the knee. Normal MR imaging anatomy and pathologic findings. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 1994; 2: 381–399
- 80 Thawait SK, Soldatos T, Thawait GK et al. High resolution magnetic resonance imaging of the patellar retinaculum: normal anatomy, common injury patterns, and pathologies. *Skeletal Radiol* 2012; 41: 137–148
- 81 De Maeseneer M, Van Roy F, Lenchik L et al. Three layers of the medial capsular and supporting structures of the knee: MR imaging-anatomic correlation. *Radiographics* 2000; 20: 83–89
- 82 Amis AA, Firer P, Mountney J et al. Anatomy and biomechanics of the medial patellofemoral ligament. *Knee* 2003; 10: 215–220
- 83 Senavongse W, Amis AA. The effects of articular, retinacular, or muscular deficiencies on patellofemoral joint stability. *J Bone Joint Surg Br* 2005; 87: 577–582
- 84 Guerrero P, Li X, Patel K et al. Medial patellofemoral ligament injury patterns and associated pathology in lateral patella dislocation: an MRI study. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol* 2009; 1: 17
- 85 Sanders TG, Morrison WB, Singleton BA et al. 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: 957–962
- 86 Sillanpaa PJ, Peltola E, Mattila VM et al. Femoral Avulsion of the Medial Patellofemoral Ligament After Primary Traumatic Patellar Dislocation Predicts Subsequent Instability in Men: A Mean 7-Year Nonoperative Follow-Up Study. *Am J Sports Med* 2009; 37: 1513–1521
- 87 Balcarek P, Walde TA, Frosch S et al. MRI but not arthroscopy accurately diagnoses femoral MPFL injury in first-time patellar dislocations. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2012; 20: 1575–1580
- 88 Redziniak DE, Diduch DR, Mihalko WM et al. Patellar instability. *J Bone Joint Surg Am* 2009; 91: 2264–2275
- 89 Christiansen SE, Jakobsen BW, Lund B et al. Isolated repair of the medial patellofemoral ligament in primary dislocation of the patella: a prospective randomized study. *Arthroscopy* 2008; 24: 881–887
- 90 Nikku R, Nietosvaara Y, Aalto K et al. Operative treatment of primary patellar dislocation does not improve medium-term outcome: A 7-year follow-up report and risk analysis of 127 randomized patients. *Acta Orthop* 2005; 76: 699–704
- 91 Nikku R, Nietosvaara Y, Kallio PE et al. Operative versus closed treatment of primary dislocation of the patella. Similar 2-year results in 125 randomized patients. *Acta Orthop Scand* 1997; 68: 419–423
- 92 Sillanpaa PJ, Mattila VM, Maenpaa H et al. Treatment with and without initial stabilizing surgery for primary traumatic patellar dislocation. A prospective randomized study. *J Bone Joint Surg Am* 2009; 91: 263–273
- 93 Bitar AC, Demange MK, D'Elia CO et al. Traumatic patellar dislocation: nonoperative treatment compared with MPFL reconstruction using patellar tendon. *Am J Sports Med* 2011; 40: 114–122
- 94 Mulford JS, Wakeley CJ, Eldridge JD. Assessment and management of chronic patellofemoral instability. *J Bone Joint Surg Br* 2007; 89: 709–716
- 95 White BJ, Sherman OH. Patellofemoral instability. *Bull NYU Hosp Jt Dis* 2009; 67: 22–29
- 96 Nam EK, Karzel RP. Mini-open medial reefing and arthroscopic lateral release for the treatment of recurrent patellar dislocation: a medium-term follow-up. *Am J Sports Med* 2005; 33: 220–230
- 97 Rillmann P, Fischer A, Berbig R et al. Arthroskopisch unterstützte mediale Retinakulumnaht nach akuter Erstluxation der Patella. *Unfallchirurg* 1999; 102: 167–172
- 98 LeGrand AB, Greis PE, Dobbs RE et al. MPFL reconstruction. *Sports Med Arthrosc* 2007; 15: 72–77
- 99 Caton JH, Dejour D. Tibial tubercle osteotomy in patello-femoral instability and in patellar height abnormality. *Int Orthop* 2010; 34: 305–309