



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI MEDICINA E CHIRURGIA

Corso di Laurea Magistrale in Medicina e Chirurgia

**Lussazione recidivante di rotula in età di
accrescimento: nuova tecnica chirurgica
con tendine quadricipitale**

**Recurrent Patellar Dislocation in
Skeletally Immature Patients: A Novel
Surgical Technique Using the Quadriceps
Tendon**

Relatore: Chiar.mo

**Prof. Antonio Pompilio
Gigante**

Tesi di Laurea di:

Mattia Carolo

Correlatore:

Dott. Luca Farinelli

Anno Accademico: 2025/2026

1	Instabilità rotulea	3
1.1	Definizione ed epidemiologia	3
1.2	Instabilità Oggettiva, Potenziale, Dolore anteriore ginocchio	4
1.3	Fattori anatomici di instabilità	5
1.3.1	Anomalie dei tessuti molli	6
1.3.2	Anomalie ossee	9
1.4	Inquadramento clinico	18
1.4.1	Anamnesi	18
1.4.2	Esame Obiettivo.....	20
1.5	Imaging:	25
1.5.1	Displasia trocleare.....	25
1.5.2	Altezza rotulea e patella alta:	27
1.5.3	Distanza TT-TG	30
1.5.4	Allineamento rotazionale di femore e tibia.....	32
2	Trattamento dell'instabilità oggettiva.....	34
2.1	Lateral Release.....	34
2.2	Osteotomia di medializzazione della tuberosità tibiale	39
2.3	MPFL	46
2.4	Trocleoplastica	57
3	Studio.....	63
3.1	Introduzione	63
3.2	Obiettivo dello studio.....	64
3.3	Materiali e metodi	64
3.4	Disegno dello studio e selezione della popolazione	65
3.5	Raccolta dati	66

3.5.1	Endpoint dello studio	67
3.5.2	Analisi statistica.....	67
3.5.3	Caratteristiche clinico-demografiche e chirurgiche della coorte	68
3.6	Risultati:.....	69
3.6.1	Outcome clinico-funzionali al follow-up un anno	69
3.6.2	Livello di attività secondo Tegner.....	70
3.6.3	Rilassazioni rotulee.....	71
3.6.4	Valutazione radiografica: indice di Caton-Deschamps	71
3.6.5	Outcome clinico-funzionali al follow-up due anni	72
3.7	Discussione	73
3.8	Conclusioni	75
4	Bibliografia.....	76
5	Allegati:	95

1 Instabilità rotulea

1.1 Definizione ed epidemiologia

L'instabilità rotulea rappresenta una delle più comuni patologie del compartimento femoro-rotuleo. Tale condizione comprende un ampio spettro clinico che varia dalla semplice sensazione soggettiva di instabilità fino alla lussazione laterale ricorrente della rotula.

È caratterizzata dalla perdita parziale o completa dei normali rapporti anatomici tra rotula e troclea femorale durante il movimento del ginocchio, con conseguente alterazione del tracking rotuleo, dolore anteriore di ginocchio ed episodi di sublussazione o lussazione franca (1).

Negli ultimi anni, numerosi studi epidemiologici hanno evidenziato un'incidenza annuale complessiva di 23,2 casi per 100.000 persone/anno, in continuo incremento, con un picco massimo tra i 14 e i 18 anni, in cui l'incidenza raggiunge circa 147 casi per 100.000 adolescenti.

La patologia interessa quindi prevalentemente adolescenti e giovani adulti che praticano sport caratterizzati da movimenti di pivot, cambi di direzione e rotazioni del ginocchio, come calcio, basket, pallavolo e ginnastica (2).

Inoltre, vi è una lieve prevalenza femminile (54,4%), attribuibile a fattori anatomici e biomeccanici tra cui maggiore valgismo fisiologico, aumentata lassità legamentosa e differenza nella morfologia trocleare (2).

1.2 Instabilità Oggettiva, Potenziale, Dolore anteriore ginocchio

L'**instabilità oggettiva** è definita come la completa perdita di contatto tra la faccia articolare trocleare della rotula e quella del femore. Essa rappresenta una vera instabilità meccanica e può verificarsi in attività ad alta energia, frequentemente associate a una lussazione traumatica ed emartro del ginocchio, suggerendo una rottura dell'MPFL combinata con avulsione ossea. La perdita di contatto può essere spontaneamente ridotta o irreversibilmente fissata in una posizione dislocata che necessita di immediata assistenza medica. È di fondamentale importanza, specialmente nel caso di bambini e adolescenti, ottenere una documentazione della lussazione episodica, oppure che il medico sia in grado di mostrare una reale lussazione rotulea al giovane paziente e ricevere una conferma, poiché molti episodi di sublussazione rotulea possono essere percepiti o descritti come una vera lussazione. Generalmente una facile e spontanea riduzione da parte del paziente, senza dolore, è associata alla perdita del normale contenimento anatomico della rotula nella troclea. Al contrario, una difficile riduzione che può richiedere sedazione o altre cure mediche è correlata ad una normale anatomia rotulea (2).

La **lussazione rotulea potenziale** rappresenta il secondo tipo di instabilità femoro-rotulea (PF): questo gruppo di pazienti riferisce una sensazione di instabilità, ma non presenta mai una reale documentazione di lussazione rotulea come descritto in precedenza. I pazienti riferiscono solitamente una sensazione piuttosto generica di instabilità con cedimento del ginocchio, ma senza una vera lussazione e senza emartro. Ciò si verifica frequentemente durante le attività quotidiane e attività a bassa energia come camminare, salire e scendere le scale o alzarsi da una posizione seduta. In questo gruppo di instabilità rotulea soggettiva, vengono inoltre riscontrati uno o più fattori anatomici patologici, ma senza episodi clinici di lussazione (3),(4).

La **sindrome dolorosa femoro-rotulea** rappresenta il terzo gruppo di pazienti, nei quali vengono frequentemente riportati una sensazione di instabilità, cedimento o dolore, ma senza reperti di imaging di alcuna patologia femoro-rotulea e senza episodi di lussazione rotulea. Il dolore femoro-rotuleo, se considerato come entità isolata, raramente ha una soluzione chirurgica. Il suo trattamento si basa principalmente su programmi di fisioterapia e altre modalità non chirurgiche come ortesi, modificazione delle attività, ecc.

L'instabilità femoro-rotulea può inoltre essere ulteriormente classificata in base alla frequenza delle lussazioni rotulee in:

- **Lussazione rotulea recidivante:** nella quale la rotula si lussa frequentemente durante la flessione del ginocchio (sono richiesti più di tre episodi).
- **Lussazione rotulea abituale:** nella quale la rotula si lussa durante la flessione precoce del ginocchio ($<30^\circ$) ogni volta che il ginocchio si flette.
- **Lussazione rotulea permanente:** condizione nella quale la rotula è sempre lussata durante il normale range di movimento del ginocchio e non si rapporta mai con la troclea femorale.

1.3 Fattori anatomici di instabilità

L'instabilità femoro-rotulea deriva da anomalie del contenimento fornite dai tessuti molli passivi, dalla geometria condilo/trocleare ossea e dalle forze muscolari che insieme guidano la rotula nel solco trocleare e la mantengono impegnata all'interno del solco trocleare mentre il ginocchio si flette ed estende. Le anomalie di questi fattori sono spesso presenti in combinazione e possono influenzarsi l'un l'altra, ampliando lo spettro della presentazione clinica e della limitazione funzionale (5).

Biomeccanicamente la rotula funziona sia come una leva sia come una puleggia. Come leva, la rotula amplifica le forze esercitate dal quadricipite sul ginocchio durante l'estensione. Come una puleggia, reindirizza la forza del quadricipite mentre subisce il normale tracciamento laterale durante la flessione. Considerando queste caratteristiche anatomiche, è facile comprendere come il complesso e delicato equilibrio tra strutture ossee, legamentose e capsulari possa essere facilmente compromesso alterando le forze esercitate sulla rotula, con forze esterne che superano le forze medialie.

1.3.1 Anomalie dei tessuti molli

Come stabilizzatore attivo dell'articolazione femoro-rotulea, il complesso muscolare estensore del ginocchio con il vasto mediale obliquo (VMO) e il vasto laterale svolgono un ruolo cruciale. Questi compartimenti devono lavorare sinergicamente per fornire un adeguato tracciamento della rotula nel solco trocleare durante la flessione del ginocchio.

Vasto mediale

Sul lato mediale, un'ipoplasia del vasto mediale o le sue inserzioni alterate sulla rotula possono portare a maltracking rotuleo. Uno squilibrio nella forza causato da differenti sezioni trasversali o differenti orientamenti delle fibre può portare a instabilità.

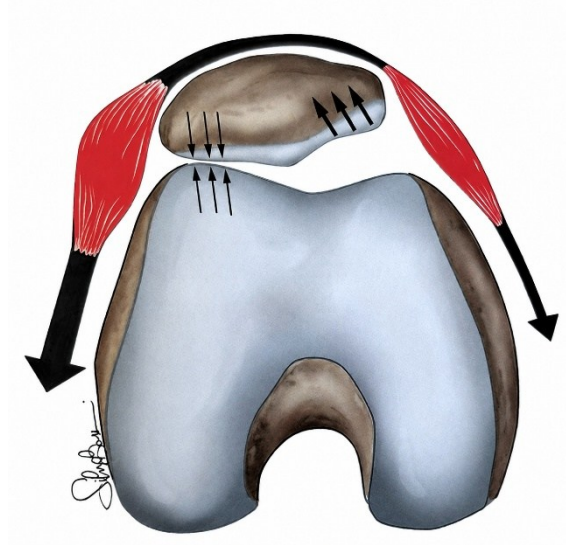


Figura 1 Displasia del VMO: l'eccessiva tensione delle strutture laterali oppure il deficit di coordinazione tra i due determinano una concentrazione dello stress sulla faccetta laterale della rotula, e contemporaneamente un maltracking con sublussazione laterale della rotula. (Dejour D, et al. Patellofemoral Pain, Instability, and Arthritis. 2nd ed. Springer; 2020.)

La displasia del VMO non garantisce la forza necessaria per compensare l'azione esercitata dalle strutture laterali e per stabilizzare la rotula nel solco trocleare.

Goh dimostrò che il rilassamento del VMO comporta una riduzione delle forze necessarie allo spostamento laterale della rotula nei 20–90° di flessione di circa il 30% (6). Le conseguenze sono solitamente un aumentato tilt rotuleo o una tendenza alla sublussazione rotulea.

MPFL

Il legamento femoro-rotuleo mediale (MPFL) è una struttura determinante nella stabilizzazione della rotula.

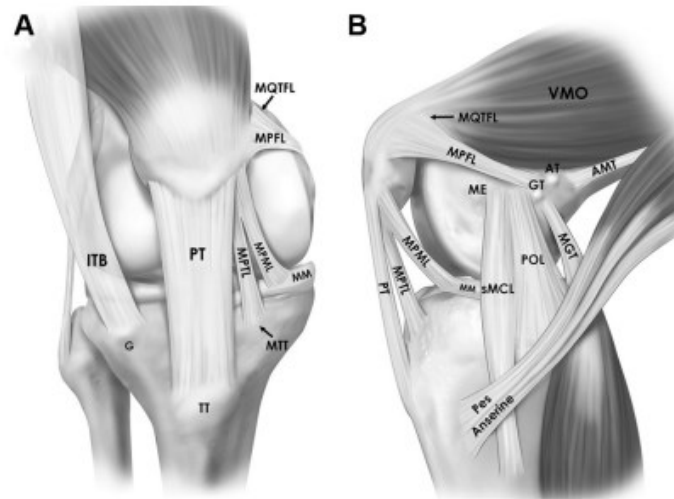


Figura 2 (A) Vista anteriore che mostra le inserzioni e l'orientamento dei legamenti patellari mediali nel ginocchio destro.

(B) Vista mediale di un ginocchio destro in flessione. AMT: tendine dell'adduttore maggiore; AT: tubercolo dell'adduttore; G: tubercolo di Gerdy; GT: tubercolo del gastrocnemio; ITB: bandelletta ileotibiale; ME: epicondilo mediale; MGT: tendine del gastrocnemio mediale; MM: menisco mediale; MPFL: legamento femoro-rotuleo mediale; MPML: legamento menisco-patellare mediale; MPTL: legamento patello-tibiale mediale; MQTFL: legamento femoro-quadricipitale mediale; MTT: tubercolo tibiale mediale; POL: legamento obliquo posteriore; PT: tendine rotuleo; sMCL: legamento collaterale mediale superficiale; TT: tuberosità tibiale; VMO: vasto mediale obliquo.

Si tratta di una struttura extra capsulare, continuazione della superficie retinacolare profonda delle fibre muscolari del vasto mediale obliquo (VMO) (1). Si estende dal bordo mediale-superiore della rotula all'epicondilo mediale; anteriormente al legamento collaterale mediale (MCL) (1).

Le dimensioni e lo spessore del legamento variano considerevolmente tra gli individui, ma è relativamente costante all'interno di una determinata persona (7).

L'MPFL agisce come un controllo statico per resistere alla traslazione laterale della rotula (8). Altre strutture passive deputate alla stabilizzazione mediale della rotula comprendono il legamento patello-tibiale mediale (MPTL), il legamento patello-meniscale mediale (MPML) e i retinacoli mediali.

Nel lavoro di Philippot et al. (9), furono considerate tutte le strutture legamentose mediali. Essi confermarono il ruolo dell'MPFL nella stabilizzazione rotulea durante i primi 30° di

flessione del ginocchio. Il legamento è responsabile del 50–60% della stabilizzazione mediale durante l'ingaggio rotuleo nella troclea femorale. Inoltre, quantificarono il contributo di MPML e MPTL contro lo spostamento laterale della rotula che risultava essere del 28–48% e del 23–71% durante la flessione del ginocchio. Il loro controllo biomeccanico sulla cinematica rotulea aumenta gradualmente durante tutta la flessione del ginocchio.

Uno studio del 2018 di La Prade et al. confermò che l'MPFL è il più forte degli stabilizzatori rotulei sul versante mediale e che l'MPTL ha proprietà meccaniche simili a quelle dell'MPFL. Inoltre, lo studio suggerisce che le proprietà meccaniche del complesso MPML/MPTL indicano un ruolo potenzialmente importante nel fornire stabilità rotulea. È stato dimostrato come in caso di rottura dell'MPFL, la forza richiesta per spostare lateralmente la rotula sia ridotta del 50% nel ginocchio esteso, diminuendo mentre il ginocchio fletteva.

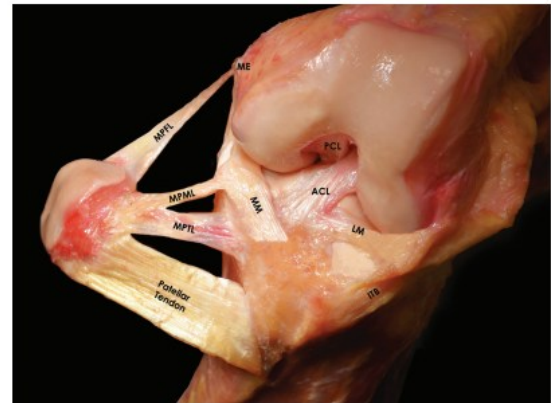


Figura 3 Vista della rotula evertita dopo dissezione completata che mostra l'origine e le inserzioni dell'MPFL, dell'MPML e dell'MPTL (ginocchio sinistro). ACL: legamento crociato anteriore; ITB: bandelletta ileotibiale; LM: menisco laterale; ME: epicondilo mediale; MM: menisco mediale; MPFL: legamento femoro-rotuleo mediale; MPML: legamento menisco-patellare mediale; MPTL: legamento patello-tibiale mediale; PCL: legamento crociato posteriore.

Iperlassità

L'iperlassità generale può anche essere una causa di instabilità femoro-rotulea correlata all'insufficienza nel controllare lo spostamento laterale della rotula.

È stata riscontrata una mobilità laterale significativamente maggiore in pazienti sintomatici e con iperlassità, sia in risposta ad un carico applicato sia a 30° di flessione (10,11). Nomura nel 2006, in una serie di casi, mostrò che una rotula ipermobile e la lassità articolare generalizzata erano significativamente importanti nel gruppo con lussazione rotulea ricorrente rispetto al gruppo di controllo, con la rotula ipermobile come fattore predisponente alla lussazione (12).

1.3.2 Anomalie ossee

Displasia Trocleare

La displasia trocleare rappresenta una delle più importanti anomalie ossee associate all'instabilità femoro-rotulea ed è considerata uno dei principali fattori predisponenti alla lussazione rotulea ricorrente (13),(14).

Tale condizione è caratterizzata da una perdita della normale congruenza tra la troclea femorale e la rotula, con conseguente riduzione della capacità contenitiva del solco trocleare nei confronti della patella durante i primi gradi di flessione del ginocchio (13).

In condizioni fisiologiche, la troclea presenta una morfologia concava strettamente correlata al profilo osseo e allo spessore della cartilagine articolare sovrastante (15),(16). Svolge un ruolo fondamentale nella stabilizzazione della rotula, soprattutto nei primi 20–30° di flessione del ginocchio, fase nella quale il contenimento osseo diventa progressivamente più importante rispetto ai soli stabilizzatori capsulo-legamentosi (15),(6).

Nella displasia trocleare, invece, si osservano alterazioni geometriche della forma, della lunghezza e soprattutto della profondità del solco trocleare, prevalentemente a livello prossimale, cioè nella zona in cui la rotula entra inizialmente in contatto con la troclea durante la flessione precoce (17). In presenza di una troclea piatta o convessa, la rotula non riesce a impegnarsi correttamente nel solco trocleare durante il movimento, favorendo la prevalenza delle forze laterali sulle strutture mediali stabilizzatrici (6).

Questo meccanismo aumenta significativamente il rischio di sublussazione o lussazione rotulea laterale.

Il solco inoltre può risultare appiattito oppure convesso, determinando una ridotta stabilità ossea della rotula e predisponendo allo shift e al tilt laterale (18),(19).

L'associazione tra displasia trocleare e instabilità rotulea è stata ampiamente dimostrata in letteratura. Dejour et al., confrontando 143 radiografie di pazienti con instabilità rotulea e 190 controlli sani, evidenziarono segni di displasia trocleare nell'85% dei pazienti con anamnesi positiva per lussazione rotulea (20). Inoltre, nei soggetti con instabilità

ricorrente è stata riscontrata una convessità della troclea femorale significativamente maggiore rispetto ai controlli (21). Tali alterazioni anatomiche modificano anche la distribuzione cartilaginea articolare, che nella troclea displastica risulta maggiormente ispessita centralmente rispetto ai versanti laterale e mediale (15),(16).

Studi biomeccanici su modelli cadaverici hanno dimostrato che la simulazione di una displasia trocleare riduce fino al 50% la forza necessaria per dislocare lateralmente la rotula rispetto a un ginocchio normale, soprattutto intorno ai 30° di flessione (22). Inoltre, l'appiattimento trocleare sembra determinare una perdita di stabilità maggiore rispetto alla sola insufficienza del vasto mediale obliquo o alla rottura del retinacolo mediale (6).

L'analisi radiografica e di imaging riveste un ruolo centrale nella diagnosi della displasia trocleare. La **classificazione di Dejour e Hennig**, tra le più utilizzate nella pratica clinica, distingue quattro gradi di displasia sulla base di specifici reperti radiografici quali il “crossing sign”, lo “supratrochlear spur” e il “double contour sign” (13).

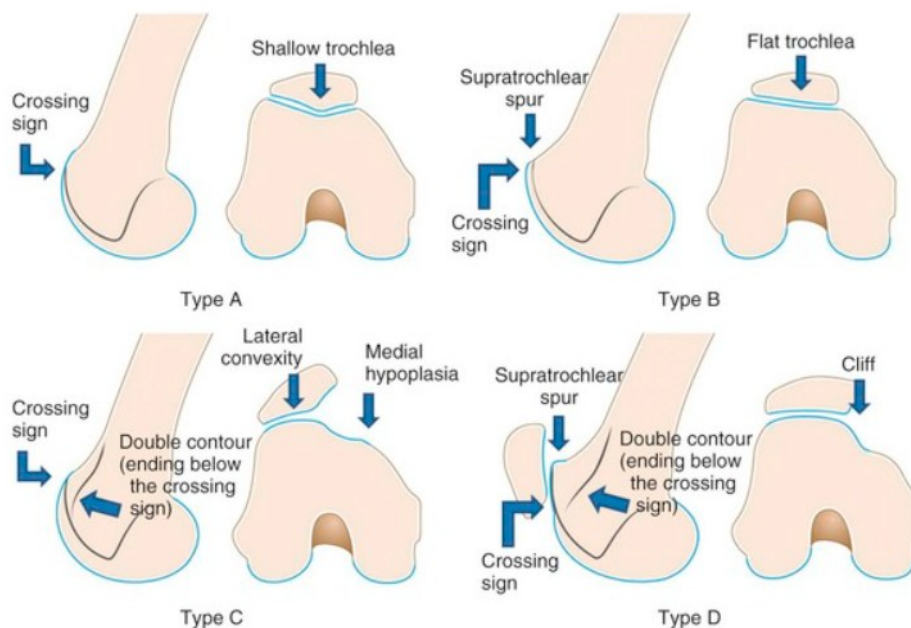


Figura 4 **Classificazione di Dejour Hennig** (Dejour D, et al. *Patellofemoral Pain, Instability, and Arthritis*. 2nd ed. Springer; 2020.)

- **Tipo A:** è presente il crossing sign nella proiezione laterale. La troclea è più superficiale del normale, ma rimane simmetrica e concava.
- **Tipo B:** presenza di crossing sign e sperone trocleare (trochlear spur). La troclea appare piatta o convessa nelle immagini assiali
- **Tipo C:** presenza del crossing sign e del double-contour sign (quest'ultimo rappresenta l'addensamento dell'osso subcondrale della faccetta mediale ipoplasica). Nelle sezioni assiali alla TC, la faccetta laterale appare convessa.
- **Tipo D:** sono presenti tutti i segni precedentemente descritti, ovvero crossing sign, sperone sovratrocleare (supratrochlear spur) e double-contour sign che si estende al di sotto del crossing sign. Nelle immagini assiali TC è visibile il cosiddetto pattern “a scogliera” (cliff pattern).

Successivamente è stato dimostrato come tale classificazione possa essere applicata con buona affidabilità anche mediante risonanza magnetica (13).

Patella Alta

La patella alta è caratterizzata da una posizione più prossimale della rotula e rappresenta uno dei principali fattori di instabilità dell'articolazione femoro-rotulea (13),(23).

L'eccessiva altezza rotulea altera il corretto rapporto biomeccanico tra rotula e troclea, compromettendo il fisiologico ingaggio della patella nel solco trocleare durante i primi gradi di flessione del ginocchio, fase cruciale per la stabilizzazione articolare (13).

Dejour et al. hanno evidenziato la presenza di patella alta nel 24% dei pazienti affetti da instabilità rotulea oggettiva, confermandone il ruolo patogenetico nell'instabilità laterale della rotula (13).

La valutazione della patella alta viene effettuata mediante indici misurati su una radiografia laterale vera con il ginocchio flesso a 30°:

- **Indice di Insall-Salvati:** definito dal rapporto tra la lunghezza del tendine rotuleo e la lunghezza della rotula; valori superiori a 1.2 identificano una patella alta, mentre valori inferiori a 0.8 definiscono una patella infera (24).
- **Indice di Caton-Deschamps:** misura il rapporto tra la distanza del polo inferiore della rotula dal margine superiore tibiale e la lunghezza della superficie articolare rotulea a 30° di flessione; valori superiori a 1.3 sono indicativi di patella alta (24).

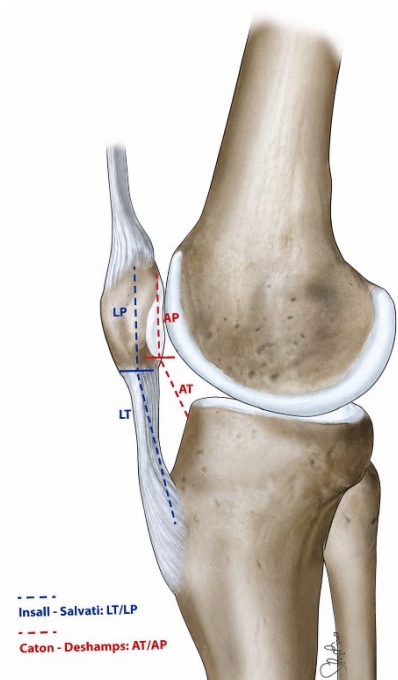


Figura 5 **Indice di Insall-Salvati, Indice di Caton-Deschamps.** (Dejour D, et al. *Patellofemoral Pain, Instability, and Arthritis*. 2nd ed. Springer; 2020.)

Oltre alla semplice valutazione dell'altezza rotulea, particolare importanza assume il concetto di “ingaggio rotuleo”, parametro funzionale che descrive il grado di sovrapposizione tra le superfici articolari rotulea e trocleare (23). Tale parametro comprende sia il **sagittal patellar engagement index** sia l'**axial engagement index** (25). Valori ridotti indicano una minore congruenza femoro-rotulea e risultano associati a forme più severe di instabilità rotulea oggettiva, frequentemente correlate a displasia trocleare e aumentata prominenza trocleare (23),(25).

Dal punto di vista biomeccanico, la patella svolge una funzione fondamentale all'interno del meccanismo estensore del ginocchio, agendo come un sistema a leva che aumenta il braccio di momento del quadricipite e ottimizza la trasmissione delle forze dal tendine quadricipitale al tendine rotuleo (26).

In presenza di patella alta, il tendine rotuleo risulta più lungo del normale e durante la contrazione del quadricipite la rotula tende a localizzarsi più prossimalmente, rimanendo al di sopra della troclea femorale senza un adeguato contenimento osseo laterale (27),(28). Tale condizione determina un ritardo nell'ingaggio della rotula nel solco trocleare durante la flessione e favorisce la prevalenza delle forze laterali rispetto a quelle mediali, aumentando il rischio di sublussazione o lussazione rotulea laterale (27),(28).

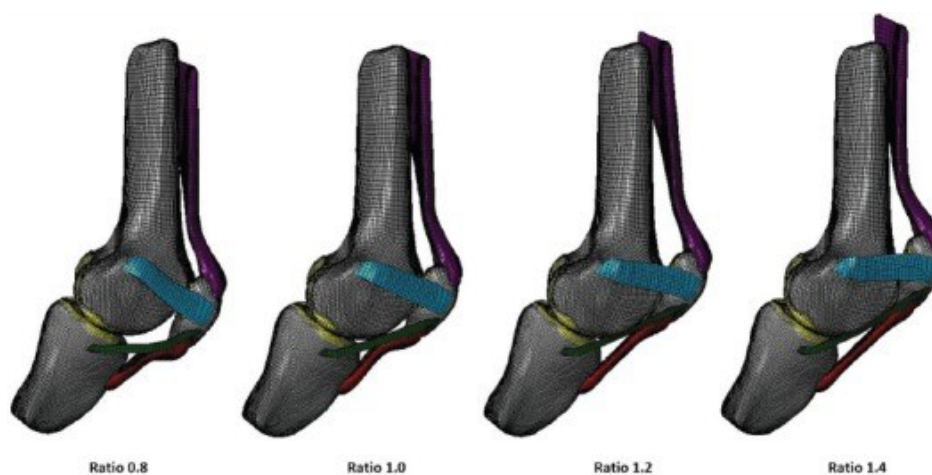


Figura 6 **Patella bassa** (indice di Caton-Deschamps 0,8), **patella normale** (indice di Caton-Deschamps 1,0) e **patella alta** (indice di Caton-Deschamps 1,2 e 1,4). Ciascun modello comprende il tendine del quadricipite (viola), il tendine rotuleo (rosso), la cartilagine (giallo), il legamento femoro-rotuleo mediale (blu) e il legamento patello-tibiale mediale (verde). (Watson et al., 2017)

La patella alta modifica, inoltre, la cinematica femoro-rotulea e la distribuzione delle pressioni articolari. Diversi studi biomeccanici hanno dimostrato che questa condizione altera sia l'area di contatto femoro-rotulea sia le forze di reazione articolare (29),(30). Nel ginocchio normale, l'area di contatto femoro-rotulea aumenta progressivamente dalla completa estensione fino a circa 90° di flessione, riducendo lo stress cartilagineo grazie alla distribuzione delle forze su una superficie più ampia (26). Nei soggetti con patella

alta, invece, il contatto articolare risulta ridotto nei primi gradi di flessione, con conseguente incremento dello stress focale sulla cartilagine articolare (28).

Ward et al., mediante studi RM, hanno dimostrato una riduzione del 19% dell'area di contatto femoro-rotulea tra 0° e 60° di flessione nei pazienti con patella alta, associata a tilt e traslazione laterale della rotula (29),(31). Questa alterata distribuzione dei carichi può favorire degenerazione cartilaginea, dolore femoro-rotuleo e progressiva artrosi.

Numerosi autori hanno inoltre evidenziato come la patella alta influenzi significativamente la meccanica del meccanismo estensore. Singerman, Davy e Goldberg hanno osservato che la forza di contatto femoro-rotulea dipende direttamente dall'altezza rotulea e tende ad aumentare con l'incremento dell'angolo di flessione nei pazienti con patella alta (32). Luyckx et al., utilizzando simulatori dinamici di ginocchio, hanno mostrato una ridotta forza di contatto femoro-rotulea nei gradi iniziali di flessione ma un incremento significativo nelle flessioni profonde, suggerendo che la patella alta possa risultare biomeccanicamente vantaggiosa nei primi gradi di movimento ma svantaggiosa nelle flessioni elevate (30).

Analogamente, Yamaguchi e Zajac hanno dimostrato che l'allungamento del tendine rotuleo altera la trasmissione delle forze tra quadricipite e tendine rotuleo, aumentando il braccio di momento e le forze di reazione articolare oltre i 25–30° di flessione (26).

Deformità rotazionali e malallineamento del piano coronale

Le deformità rotazionali e i disallineamenti assiali dell'arto inferiore rappresentano importanti fattori biomeccanici coinvolti nella patogenesi dell'instabilità femoro-rotulea (33). Alterazioni come l'aumentata antiversione femorale, l'eccessiva torsione tibiale e le deformità del piano coronale modificano infatti la cinematica della rotula, alterando l'equilibrio tra le forze medialì e laterali che agiscono sull'articolazione femoro-rotulea e predisponendo al tilt e alla sublussazione laterale della patella (34),(35).

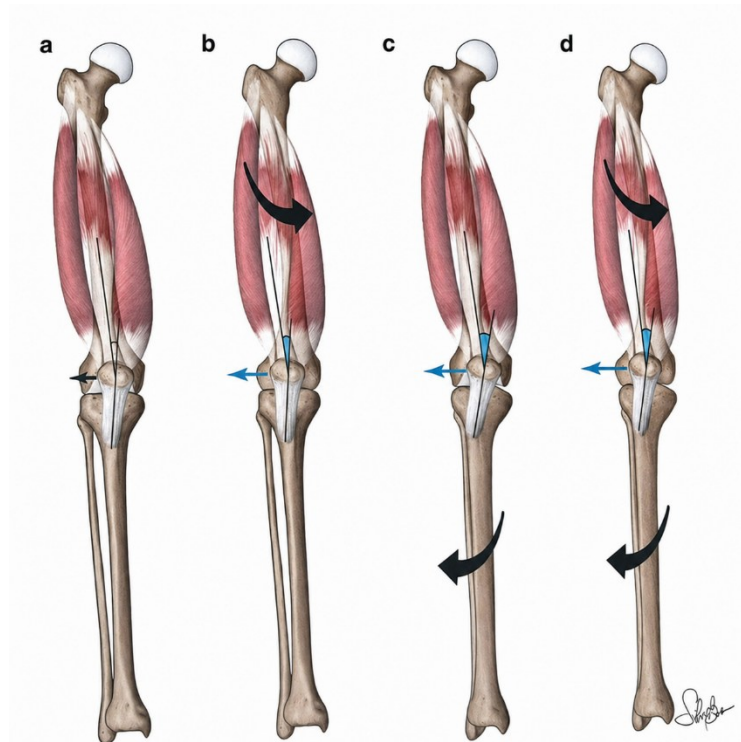


Figura 7 Alterazioni dell'arto inferiore e instabilità rotulea: (a) **Allineamento normale** dell'arto. (b) L'aumentata **antiversione femorale** con rotazione interna del condilo femorale provoca elevato stress rotuleo e instabilità. (c) La **torsione tibiale esterna** favorisce un aumento delle forze compressive sulla faccetta laterale della rotula con sublussazione. (d) Le **alterazioni dell'arto** possono essere **combinare** nello stesso paziente con, di conseguenza, un quadro clinico severo e una soluzione tecnicamente complessa. L'angolo in azzurro corrisponde all'angolo Q che aumenta con le alterazioni anatomiche. (Dejour D, et al. Patellofemoral Pain, Instability, and Arthritis. 2nd ed. Springer; 2020.)

L'**antiversione femorale** corrisponde all'angolo formato tra l'asse del collo femorale e la linea condilare posteriore del femore; il valore fisiologico medio è di circa 13° (33). Numerosi studi hanno dimostrato una stretta associazione tra aumentata antiversione femorale, condromalacia e instabilità rotulea (36). Weber osservò frequentemente tale associazione nei pazienti con sintomatologia femoro-rotulea (36), mentre Eckhoff e Lee dimostrarono che l'incremento dell'antiversione femorale determina un aumento del tilt rotuleo e favorisce la sublussazione laterale della rotula (34),(35).

Dal punto di vista biomeccanico, l'antiversione femorale induce una rotazione interna del femore che aumenta le forze compressive sul compartimento laterale femoro-rotuleo, determinando il caratteristico quadro clinico delle “squinting patellae” (37). Inoltre, Takai documentò nei pazienti con aumentata antiversione una maggiore incidenza di osteoartrosi femoro-rotulea (37).

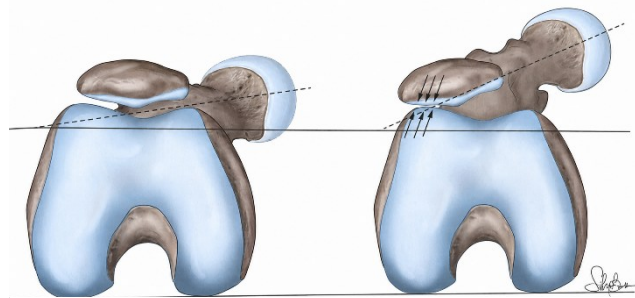


Figura 8 L'aumentata antiversione femorale incrementa il tilt rotuleo e la sublussazione, determinando maggiori forze compressive sul compartimento esterno dell'articolazione femoro-rotulea, con aumentato rischio di danno condrale. (Dejour D, et al. Patellofemoral Pain, Instability, and Arthritis. 2nd ed. Springer; 2020.)

Le deformità rotazionali influenzano l'angolo Q, parametro tradizionalmente utilizzato per descrivere il vettore di forza del meccanismo estensore (38). È l'angolo formato tra la linea di trazione del quadricipite e quella del tendine rotuleo nel loro punto di intersezione al centro della rotula (fig.7). Valori fisiologici sono generalmente compresi tra 8° e 10° nel sesso maschile e intorno a 15° ± 5° nel sesso femminile. Attualmente si ritiene infatti che l'angolo Q rappresenti l'espressione finale dell'interazione tra vincoli ossei statici e vettori muscolari dinamici (39).

Oggi per la valutazione delle deformità rotazionali è considerato più accurato utilizzare la tomografia computerizzata rispetto alla misurazione dell'angolo Q (40). In particolare, la distanza TT-TG (tibial tuberosity–trochlear groove) rappresenta uno dei parametri più affidabili per valutare la lateralizzazione della tuberosità tibiale rispetto al solco trocleare (40). Una distanza TT-TG superiore a 20 mm è considerata patologica ed è associata a un aumentato rischio di instabilità rotulea (40). Tuttavia, poiché la misurazione viene eseguita in estensione completa, essa potrebbe non riflettere accuratamente il comportamento dinamico della rotula durante il movimento (41).

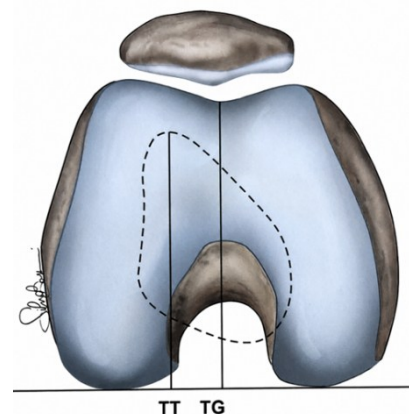


Figura 9 valutazione della centratura rotulea mediante misurazione dello spostamento TT-TG: il punto più profondo trocleare identificato nella sezione assiale e sovrapposto a una seconda sezione assiale nella quale viene individuata la tuberosità tibiale anteriore. Viene quindi misurata la distanza tra questi due (Dejour D, et al. Patellofemoral Pain, Instability, and Arthritis. 2nd ed. Springer; 2020.)

Anche la **torsione tibiale** svolge un ruolo rilevante nella biomeccanica femoro-rotulea. Un'eccessiva torsione tibiale esterna aumenta l'angolo Q (fig.7) e altera il vettore di trazione del quadricipite, favorendo la lateralizzazione della rotula durante la contrazione muscolare (3). Turner dimostrò che i pazienti con instabilità rotulea presentano valori significativamente maggiori di rotazione tibiale esterna rispetto ai controlli (3). Studi tridimensionali successivi confermarono come la torsione tibiale influenzi direttamente il tracking rotuleo e l'area di contatto femoro-rotulea (42),(43).

Vi sono infine le alterazioni del piano coronale, che rappresentano un ulteriore elemento predisponente all'instabilità rotulea.

Nelle **deformità in varo** la rotula tende a dislocarsi lateralmente e la faccetta laterale risulta sottoposta a maggiore stress meccanico, con incremento del rischio di instabilità (44). Vi è una frequente associazione tra varismo e torsione tibiale esterna prossimale (44). Inoltre, la combinazione di varismo o valgismo con torsione tibiale esterna aumenta significativamente il rischio di instabilità femoro-rotulea (45).

Nelle **deformità in valgo**, l'aumento dell'angolo Q e l'eccessiva rotazione interna dell'arto inferiore compromettono ulteriormente la stabilità rotulea dinamica (45). Nei casi più severi, il meccanismo screw-home del ginocchio può risultare alterato o assente, con conseguente instabilità articolare e predisposizione a fenomeni degenerativi del compartimento femoro-tibiale mediale (45). Morlicek et al., in uno studio cadaverico, dimostrarono che il varismo induce in realtà una maggiore rotazione esterna tibiale e un tilt rotuleo laterale significativamente superiore rispetto alla posizione neutra o al valgismo (46).

Infine, è importante sottolineare come il **valgismo dinamico** non debba essere interpretato esclusivamente come una deformità ossea statica. Powers evidenziò infatti che tale alterazione può derivare anche da squilibri muscolari e deficit funzionali dell'anca, del bacino e del piede, capaci di modificare dinamicamente l'allineamento dell'arto inferiore durante il movimento (39). Pertanto, le deformità torsionali e assiali dell'arto inferiore devono essere considerate all'interno di una valutazione globale e multifattoriale dell'instabilità femoro-rotulea, in cui fattori ossei, muscolari e biomeccanici interagiscono reciprocamente nel determinare il quadro clinico del paziente.

1.4 Inquadramento clinico

L'instabilità femoro-rotulea rappresenta una condizione clinica complessa e multifattoriale definita come una “deficienza sintomatica dei vincoli passivi” tale per cui la rotula può dislocarsi parzialmente o completamente dalla propria posizione fisiologica rispetto alla troclea femorale sotto l'azione di forze dislocanti (5); tali forze possono derivare dalla tensione muscolare, dai movimenti articolari oppure da traumi esterni diretti o indiretti (5). Dal punto di vista clinico, i pazienti raramente riferiscono spontaneamente una vera “lussazione di rotula”, anche quando questa costituisce la reale diagnosi (5). Più frequentemente il paziente descrive una sensazione soggettiva di instabilità del ginocchio oppure la percezione che la rotula “si sposti” o “esca di sede” durante specifici movimenti (5).

Può inoltre risultare difficile distinguere anamnesticamente un episodio di vera lussazione rotulea con riduzione spontanea da una semplice sublussazione (5).

Tutti i disturbi femoro-rotulei si presentano generalmente con una combinazione variabile di instabilità e dolore anteriore di ginocchio, che risulta essere il sintomo più frequente. Inoltre, sono spesso correlati a deficit riabilitativi persistenti, debolezza muscolare e insufficiente controllo dinamico dell'arto inferiore (5).

Al contrario, episodi di lussazione pura senza dolore risultano relativamente rari e sono descritti soprattutto in pazienti affetti da sindrome di Down (5).

1.4.1 Anamnesi

Gli obiettivi principali dell'anamnesi comprendono la conferma che l'instabilità della rotula rappresenti effettivamente la diagnosi responsabile della sintomatologia, la valutazione della probabilità di significativa displasia trocleare e/o ipermobilità, la verifica della presenza di una reale perdita funzionale e la determinazione della motivazione del paziente a intraprendere un eventuale percorso chirurgico (5).

Secondo il consenso dell'American Orthopaedic Society for Sports Medicine (AOSSM) e della Patellofemoral Foundation (PFF), l'anamnesi iniziale deve focalizzarsi su specifiche domande chiave (5).

È importante definire il meccanismo traumatico e distinguere eventi ad alta o bassa energia, valutare l'entità del gonfiore immediatamente successivo al trauma,

comprendere la sensazione percepita dal paziente al momento dell'episodio e verificare se vi sia stata una reale visualizzazione della rotula fuori sede oppure la necessità di una riduzione, la presenza di familiarità per instabilità rotulea o sindromi da ipermobilità (5). Nei pazienti con instabilità ricorrente, l'anamnesi deve approfondire ulteriormente la frequenza degli episodi, i fattori scatenanti, la gravità del dolore e del gonfiore, la funzionalità del ginocchio tra gli episodi e l'eventuale bilateralità dei sintomi (5). Un dato particolarmente importante è l'età del primo episodio di lussazione rotulea, poiché un esordio in età prepuberale si associa frequentemente a una significativa displasia trocleare (5). Deve inoltre essere indagata la risposta ai precedenti trattamenti, l'impatto della patologia sulla qualità di vita e sull'attività sportiva (5) .

In soggetti con displasia trocleare o iperlassità sistemica si riscontrano traumi a bassa energia, spesso con modesto versamento articolare e riduzione spontanea della rotula (5). È frequente la presenza di una storia familiare positiva e di sindromi dell'ipermobilità, come la sindrome di Ehlers-Danlos (5) .

Mentre in pazienti con anatomia normale privi di lassità la lussazione avviene tipicamente in seguito a traumi ad alta energia con importante dolore, marcato gonfiore articolare e maggiore rischio di fratture osteocondrali associate (5). In tali casi, la forza necessaria per determinare la dislocazione rotulea è considerevole e la lesione deve essere interpretata come un trauma potenzialmente severo (5). Può essere associata a crack articolare, caduta al suolo ed emartro simulando una lesione del legamento crociato anteriore

1.4.2 Esame Obiettivo

Gli obiettivi dell'esame clinico comprendono la conferma della diagnosi formulata attraverso l'anamnesi, l'esclusione di diagnosi differenziali significative e, nei casi chirurgici, l'acquisizione di informazioni utili alla scelta e all'esecuzione della procedura operatoria (47). Vengono riportati i principali esami come esempio di un esame obiettivo completo e una tabella finale per una trattazione completa.

L'esame può iniziare dalla **valutazione del glide rotuleo**, ovvero lo scivolamento passivo della rotula nelle quattro direzioni all'interno del solco femorale. Viene applicata una leggera pressione in estensione e ai diversi gradi di iniziale flessione, che permette di stimare l'entità della traslazione rotulea e la qualità dell'endpoint percepito (5). Un aumentato glide suggerisce una riduzione dei vincoli mediali di contenimento oppure una retrazione del retinacolo laterale.

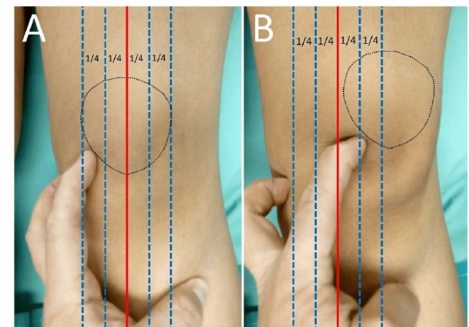


Figura 10 (A) Il ginocchio è posto a 30° di flessione con il quadricipite rilassato. La rotula viene suddivisa in quattro quartili longitudinali. (B) Dopo aver applicato pressione la rotula trasla lateralmente di tre quartili della propria larghezza. (Da Samelis et al., 2023).

Successivamente viene svolto l'**apprehension test** eseguito a circa 30° di flessione e viene applicata una leggera pressione in senso laterale: la comparsa di apprensione soggettiva durante la traslazione laterale della rotula indica una sensazione di imminente lussazione ed è fortemente suggestiva di instabilità laterale (5).

Particolare attenzione deve essere posta alla ricerca del **J-sign** durante l'estensione attiva del ginocchio, segno clinico che evidenzia una brusca lateralizzazione della rotula in estensione terminale dovuta all'insufficienza dei vincoli mediali e alla presenza di una forza laterale predominante (48). Più il movimento appare rilassato e maggiore è la traslazione laterale, più severa risulta generalmente la displasia trocleare sottostante (5). In alcuni casi particolari, la lussazione compare durante la flessione del ginocchio; questa presentazione è tipicamente associata a severa displasia trocleare associata a retrazione del retinacolo laterale (5).

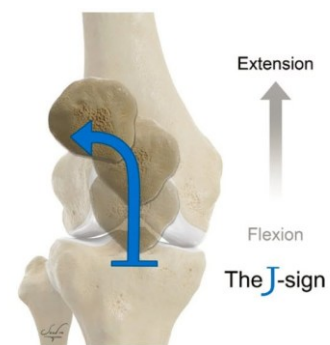


Figura 11 Visione anatomica J-sign. (Da Watts et al., 2023.)

Con il ginocchio flessa a 90°, deve essere **valutata la torsione tibiofemorale e palpata la conformazione della troclea femorale** (5). La perdita della normale gola trocleare oppure una conformazione “a cupola” del femore distale anteriore rappresentano segni clinici di importante displasia trocleare.

Devono inoltre essere **ricercati dolore o dolorabilità** lungo il versante mediale della rotula e del legamento femoro-rotuleo mediale (MPFL), poiché tali reperti possono indicare una lesione recente delle strutture stabilizzatrici mediali (5) inoltre può essere necessaria la **ricerca di versamento articolare**, poiché un importante emartro può suggerire la presenza di una frattura osteocondrale associata. Nei casi in cui dolore e tumefazione rendano impossibile un esame accurato, la valutazione viene rimandata di alcune settimane (5).

Con il paziente in piedi si valuta l'**allineamento rotazionale dell'arto inferiore**, comprendente antiversione femorale, torsione tibiale e iperpronazione del piede; alterazioni frequentemente associate a maltracking rotuleo e aumento delle forze laterali agenti sulla patella (fig.7). L'osservazione dell'allineamento in ortostatismo e del cammino consente di identificare valgismo dinamico e anomalie rotazionali. I test funzionali quali appoggio monopodalico, squat e step-down permettono di valutare forza dell'anca, controllo del core e proprioccezione (5).

Particolare attenzione deve essere dedicata ai pazienti con precedenti interventi chirurgici. In questi casi devono essere ricercati segni di sublussazione mediale iatrogena mediante gravity subluxation test, medial apprehension test e relocation test (5).

Dopo aver completato l'esame, il clinico dovrebbe essere in grado di prevedere i risultati attesi delle successive indagini strumentali e utilizzare score clinici validati come parte integrante del percorso diagnostico e terapeutico (5).

Dal punto di vista patoanatomico, possono essere quindi distinti **tre principali scenari clinici**:

1. **Soggetti con displasia trocleare**: i segni patologici tendono a essere bilaterali e il glide mediolaterale risulta aumentato. In assenza di iperlassità sistemica, il lato sintomatico presenta generalmente una maggiore traslazione rispetto al controlaterale (5). L'apprehension test può talvolta risultare negativo e il malallineamento rotazionale può essere parte integrante di una displasia complessiva dell'arto inferiore.
2. **Soggetti con anatomia normale**: l'elemento fondamentale è rappresentato dal carattere traumatico della lesione: il ginocchio può essere estremamente dolente e tumefatto nella fase iniziale e pertanto il ginocchio controlaterale deve essere attentamente esaminato per confermare la normalità anatomica(5).
3. **Soggetti con anatomia radiologica normale associata a iperlassità**: la valutazione clinica assume ancora maggiore importanza, poiché le alterazioni strutturali possono essere minime o assenti nonostante una marcata instabilità funzionale (5).

La valutazione dell'ipermobilità sistemica mediante **Beighton score** rappresenta un elemento essenziale, con particolare attenzione all'iperestensione del ginocchio (49). Nei pazienti con punteggio $\geq 4/9$ deve essere sospettata una condizione di iperlassità generalizzata, mentre punteggi estremamente elevati possono suggerire sindromi sistemiche come Ehlers-Danlos o Marfan (49).

Tabella 1: *Beighton score*

BEIGHTON SCORE	Test bilaterale	Punteggio
Dorsiflessione passiva del 5° dito MCP oltre 90°	Sì	2
Apposizione passiva del pollice sulla faccia flessoria dell'avambraccio, con gomito esteso e mano pronata	Sì	2
Iperestensione passiva del gomito $\geq 10^\circ$	Sì	2
Iperestensione passiva del ginocchio $\geq 10^\circ$	Sì	2
Flessione anteriore del tronco, ginocchia estese, in modo che i palmi delle mani poggino facilmente sul pavimento	No	1

Tabella 2: *Principali score clinici*

TEST	INDICAZIONE	PROCEDURA
BEIGHTON SCORE (49)	Valutazione della lassità legamentosa generalizzata	Utilizzo del punteggio
PATTERN DEL CAMMINO	Identificazione di anomalie biomeccaniche dell'arto inferiore che possono aumentare le forze avverse sulla rotula	Osservazione della pronazione del piede, rigidità dell'avampiede, "kissing heel sign", deformità del retropiede, contrattura achillea e differenze di lunghezza degli arti
VALUTAZIONE DELL'ALLINEAMENTO DELL'ARTO INFERIORE	Identificazione di alterazioni biomeccaniche predisponenti all'aumento delle forze torsionali rotulee	Valutazione di antiversione femorale, torsione tibiale esterna, valgismo/varismo del ginocchio, deformità del retropiede e pronazione dell'avampiede
ANGOLO Q (48)	Un aumento dell'angolo Q incrementa le forze laterali sul meccanismo estensore favorendo maltracking e instabilità	Misurazione dell'angolo tra linea SIAS-centro della rotula e linea centro della rotula-tuberosità tibiale
TTTG (TIBIAL TUBERCLE–TROCHLEAR GROOVE) (50)	Valutazione della lateralizzazione della tuberosità tibiale rispetto alla gola trocleare	Misurazione della distanza tra tuberosità tibiale e asse della gola trocleare in flessione ed estensione
TROFISMO DEL QUADRICIPITE (51)	L'atrofia del quadricipite riduce la stabilità biomeccanica della rotula	Valutazione ispettiva del trofismo muscolare
APPREHENSION TEST (13)	Identificazione dell'instabilità laterale della rotula	Traslazione laterale della rotula a 30° di flessione con valutazione di dolore o apprensione
MODIFIED APPREHENSION TEST (13)	Isolamento funzionale del MPFL prossimale	Dislocazione laterale distale della rotula per identificare insufficienza del MPFL
BASSETT'S SIGN (13)	Possibile rottura o insufficienza del MPFL	Dolorabilità alla palpazione del tubercolo degli adduttori e dell'epicondilo mediale

PALPAZIONE DEL RETINACOLO MEDIALE	Identificazione di lesioni del retinacolo mediale o del MPFL	Palpazione accurata della faccia mediale della rotula e del retinacolo
PATELLAR GLIDE TEST (13)	Valutazione della stabilità mediolaterale rotulea	Traslazione mediale e laterale della rotula con ginocchio a 30°
PATELLAR TILT TEST (13)	Valutazione della retrazione del retinacolo laterale	Sollevamento del margine laterale della rotula con ginocchio a 20°
GRAVITY SUBLUXATION TEST (52)	Diagnosi di sublussazione mediale iatrogena della rotula	Valutazione dello spostamento mediale della rotula in decubito laterale
VALUTAZIONE DEL VMO (51)	Analisi della stabilità mediale dinamica	Osservazione dell'attivazione del vasto mediale obliquo
QUADRICEPS PULL TEST	Valutazione delle forze laterali agenti sulla rotula	Misurazione dello spostamento laterale della rotula durante contrazione isometrica del quadricipite
POSIZIONAMENTO DELLA ROTULA	Valutazione di patella alta, tilt rotuleo e maltracking	Osservazione statica e dinamica della rotula durante flesso-estensione
J-SIGN (13)	Identificazione della deviazione laterale rotulea in estensione terminale	Osservazione del brusco spostamento laterale della rotula durante l'estensione attiva del ginocchio

1.5 Imaging:

L'imaging riveste un ruolo centrale nella valutazione dell'instabilità femoro-rotulea, poiché consente di identificare e quantificare i principali fattori anatomici predisponenti alla lussazione recidivante di rotula. Già dalle prime esperienze cliniche, lo studio radiografico e tomografico dell'articolazione femoro-rotulea ha permesso di correlare specifiche alterazioni morfologiche con il rischio di instabilità (13). Negli ultimi anni, la risonanza magnetica nucleare ha progressivamente assunto un ruolo sempre più rilevante, non solo per la valutazione delle lesioni osteocondrali e dei tessuti molli, ma anche per l'analisi dei parametri anatomici utili alla pianificazione terapeutica e chirurgica (13).

I principali fattori anatomici da ricercare nell'inquadramento dell'instabilità rotulea sono rappresentati dalla displasia trocleare, dalla patella alta, e dall'aumentata distanza tra tuberosità tibiale e solco trocleare, comunemente indicata come distanza TT-TG (13). Affinché tali parametri siano valutati in modo affidabile, l'esame RM deve essere eseguito con un protocollo adeguato, includendo sia la porzione prossimale della troclea sia la tuberosità tibiale anteriore, così da consentire la misurazione corretta degli indici di instabilità femoro-rotulea.

1.5.1 Displasia trocleare

La displasia trocleare rappresenta uno dei più importanti fattori predisponenti all'instabilità rotulea ed è stata descritta fino al 96% dei pazienti con instabilità femoro-rotulea (13). La classificazione più utilizzata è quella proposta da Dejour, basata su radiografie laterali e sezioni assiali TC, che distingue quattro gradi di displasia trocleare (53) (fig.4). La RM invece permette di valutare con maggiore accuratezza la morfologia cartilaginea della troclea in condizioni più vicine a quelle in vivo, ma presenta limiti nella valutazione del cosiddetto trochlear bump, elemento richiesto nella classificazione di Dejour.

L'importanza della displasia trocleare è confermata dal fatto che, in uno studio RM, essa è stata riscontrata nel 68% dei pazienti con lussazione rotulea recidivante, rispetto al 5,8% del gruppo di controllo (54).

Per una valutazione quantitativa della displasia trocleare sono stati proposti diversi indici:

- **Lateral trochlear inclination:** viene misurato sul piano assiale come l'angolo compreso tra la tangente ai condili femorali posteriori (fig.12, A) e la linea tangente alla faccetta trocleare laterale (fig.12, B) (55). Questo parametro ha dimostrato un buon valore diagnostico nella valutazione della displasia, sebbene la sua affidabilità dipenda fortemente dalla corretta selezione del livello assiale di misurazione (56).

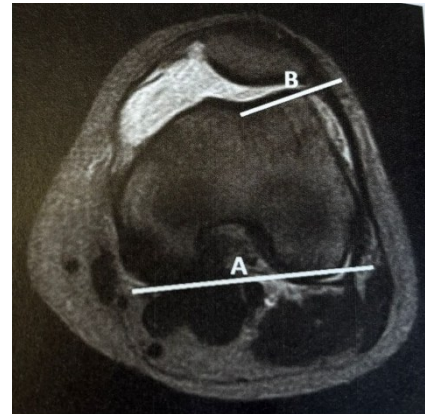


Figura 12 **Lateral Trochlear inclination** (Dejour D, et al. *Patellofemoral Pain, Instability, and Arthritis*. 2nd ed. Springer; 2020.)

- **Profondità trocleare:** definita come la differenza tra l'altezza media dei condili femorali [$(A+B)/2$] e la distanza dal punto più profondo del solco trocleare alla linea tangente ai condili posteriori [fig.13(C)]. La misurazione può essere effettuata a diversi livelli, generalmente a 1, 2 o 3 cm al di sopra della rima articolare; tuttavia, non esiste pieno consenso su quale livello sia il più appropriato (57). Una minore profondità trocleare è associata a un aumento del rischio di lussazione (56).

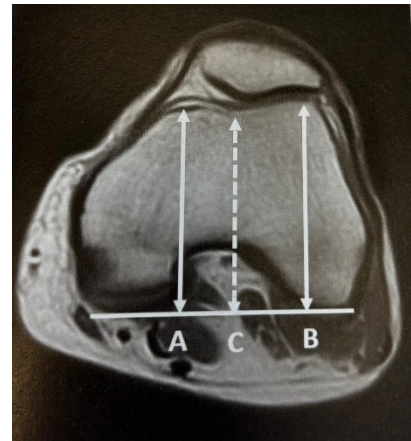


Figura 13 **Trochlear depth** (Dejour D, et al. *Patellofemoral Pain, Instability, and Arthritis*. 2nd ed. Springer; 2020.)

- **Prominenza trocleare ventrale:** misura la distanza tra la tangente alla corticale anteriore del femore distale e il punto cartilagineo più anteriore della superficie trocleare. È stata descritta come un parametro relativamente semplice e affidabile, soprattutto in presenza di sperone sovratrocleare, tipico delle displasie di Dejour tipo B e D (57). Pfirrmann et al. hanno riportato valori superiori a 6,9 mm nei pazienti con troclea displasica, mentre altri autori hanno indicato 5 mm come soglia utile per l'identificazione della displasia (57).

1.5.2 Altezza rotulea e patella alta:

La patella alta è un altro importante fattore predisponente alla lussazione recidivante di rotula. Storicamente, la sua valutazione è stata effettuata mediante radiografie laterali del ginocchio, ma con l'introduzione della RM numerosi autori hanno cercato di adattare gli indici radiografici tradizionali alle sequenze RM, con l'obiettivo di ridurre l'esposizione a radiazioni e ottenere una valutazione più completa dell'articolazione femoro-rotulea (58) (59). Indici di altezza rotulea (fig.5) possono essere applicati anche alla RM, purché venga selezionata correttamente la sezione sagittale che mostra la maggiore estensione longitudinale della rotula e della sua cartilagine articolare (58),(60):

- **Indice di Insall-Salvati:** rapporto tra la lunghezza del tendine rotuleo e la lunghezza della rotula.
- **Indice di Caton-Deschamps:** mette in relazione la distanza tra il margine inferiore della superficie articolare rotulea e il margine antero-superiore della tibia con la lunghezza della superficie articolare rotulea.
- **Indice di Blackburne-Peel:** rapporto tra la distanza tra il margine inferiore della superficie articolare rotulea e il piatto tibiale, e la lunghezza della superficie articolare rotulea.

Tuttavia, gli indici tradizionali di altezza rotulea presentano un limite importante: descrivono la posizione della rotula rispetto alla tibia, ma non chiariscono in modo diretto il rapporto funzionale tra rotula e troclea. Questo aspetto è cruciale nell'instabilità femoro-rotulea, poiché un paziente può presentare patella alta senza instabilità se la troclea è sufficientemente lunga da garantire un buon ingaggio rotuleo; viceversa, un paziente con valori apparentemente normali di altezza rotulea può presentare instabilità in presenza di troclea corta o ridotta superficie articolare rotulea.

Per superare questi limiti sono stati proposti indici RM più specifici, volti a valutare direttamente l'ingaggio femoro-rotuleo:

- **Patellotrochlear index:** misura il rapporto tra la lunghezza della cartilagine trocleare (fig.14, A) e la cartilagine articolare rotulea su una singola sezione sagittale RM (fig.14, B),(60). I valori soglia patologici riportati in letteratura variano tra 0,125 e 0,28 (60),(61). Tale indice può però risultare meno affidabile nei casi in cui la rotula sia lateralizzata, poiché la rotula e la troclea possono trovarsi su piani sagittali differenti (62).



Figura 14: **Patello-trochlear Index** (Dejour D, et al. *Patellofemoral Pain, Instability, and Arthritis. 2nd ed.* Springer; 2020.)

- **Sagittal patellofemoral engagement:** utilizza due sezioni sagittali: una in cui la rotula presenta la maggiore superficie cartilaginea articolare e viene tracciata una linea dal polo superiore a inferiore (fig.15, A); una in cui la cartilagine trocleare si estende più prossimalmente, tracciando una linea parallela alla prima dal margine più superiore della troclea al termine distale della precedente scansione (fig.15, B). Il rapporto tra le due misure fornisce una stima dell'ingaggio sagittale della rotula nella troclea (23).

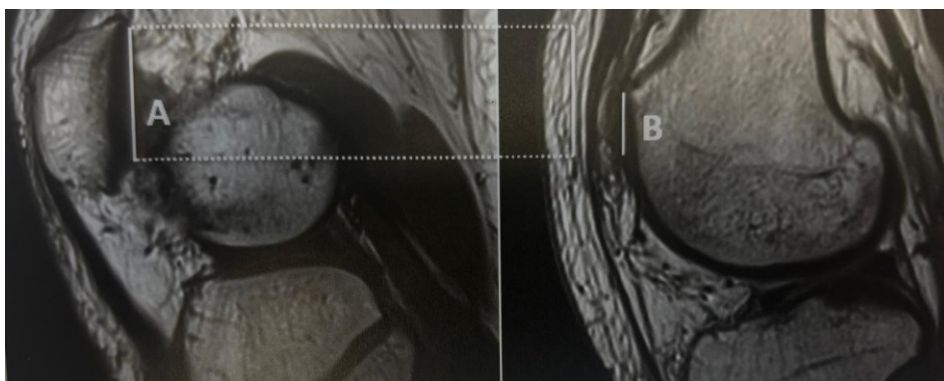


Figura 15 **Sagittal Patellofemoral Engagement** (Dejour D, et al. *Patellofemoral Pain, Instability, and Arthritis. 2nd ed.* Springer; 2020.)

- **Patellar articular overlap:** esprime in percentuale la quota di cartilagine rotulea sovrapposta alla cartilagine trocleare (63) . A differenza di altri indici, questo parametro viene valutato con il ginocchio in flessione e considera la relazione tra superficie articolare rotulea e trocleare.

Figura 16 Patellar articular overlap (Dejour D, et al. Patellofemoral Pain, Instability, and Arthritis. 2nd ed. Springer; 2020.)



- **Axial engagement index:** valuta l'ingaggio femoro-rotuleo sul piano assiale (fig.17). Viene selezionata la sezione assiale che mostra il margine laterale maggiore della troclea e il punto più laterale della troclea (T) viene proiettato sulla linea bicondilare (BC). Successivamente viene selezionata una seconda sezione assiale in cui la rotula è più ampia e vengono trasposti i riferimenti precedenti.

Utilizzando questa sezione, sia il punto cartilagineo più mediale (M) sia quello più laterale (L) della rotula vengono proiettati sulla linea bicondilare.

Viene quindi misurata la distanza tra i punti proiettati MT e ML.

Il rapporto tra queste misurazioni rappresenta l'ingaggio assiale della rotula (MT/ML) (25).

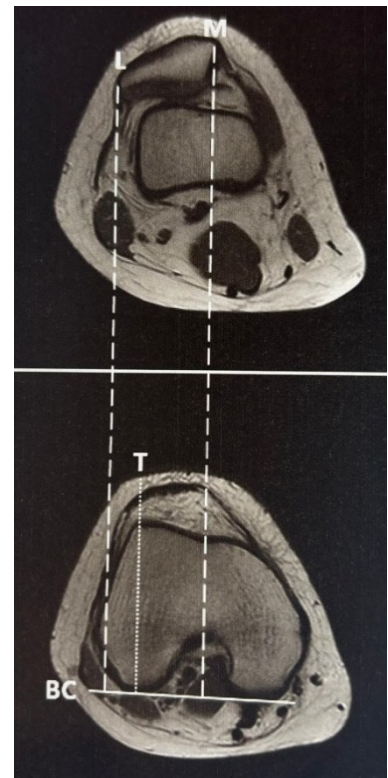


Figura 17 Patellofemoral Axial Engagement Index (Dejour D, et al. Patellofemoral Pain, Instability, and Arthritis. 2nd ed. Springer; 2020.)

Infine, la RM consente una **misurazione diretta della lunghezza del tendine rotuleo**. Neyret et al. hanno riportato che il tendine rotuleo risulta significativamente più lungo nei pazienti con instabilità rotulea rispetto ai soggetti sani, con valori medi di 52 ± 6 mm

contro 44 ± 7 mm. Risultati analoghi erano già stati osservati da Kujala et al. in pazienti con lussazione rotulea recidivante (64). La misurazione viene eseguita sulla sezione sagittale che mostra il maggiore asse longitudinale della rotula, considerando la superficie posteriore del tendine dal polo inferiore della rotula all'inserzione tibiale. Un valore di 52 mm è stato proposto come soglia patologica per definire una patella alta su base tendinea, anche se la valutazione deve tenere conto delle caratteristiche antropometriche del paziente (65),(66).



Figura 18 Eccessiva lunghezza tendine rotuleo (Dejour D, et al. *Patellofemoral Pain, Instability, and Arthritis*. 2nd ed. Springer; 2020.)

1.5.3 Distanza TT-TG

La distanza tra tuberosità tibiale e solco trocleare, o TT-TG, rappresenta uno dei parametri più utilizzati per quantificare la lateralizzazione dell'apparato estensore. La tecnica originaria deriva dalla valutazione radiografica proposta da Goutallier e Bernageau, successivamente adattata alla TC da Dejour nel 1994 (40). Con l'evoluzione dell'imaging, la misurazione è stata applicata anche alla RM, con il vantaggio di evitare l'esposizione a radiazioni ionizzanti.

TT-TG: quantifica, in millimetri, la distanza tra il punto più profondo del solco trocleare cartilagineo (fig.19, TG) e il centro dell'inserzione del tendine rotuleo sulla tuberosità tibiale (fig.19, TT), proiettati sulla linea bicondilare posteriore (fig.19, BC) (40) (fig.9).

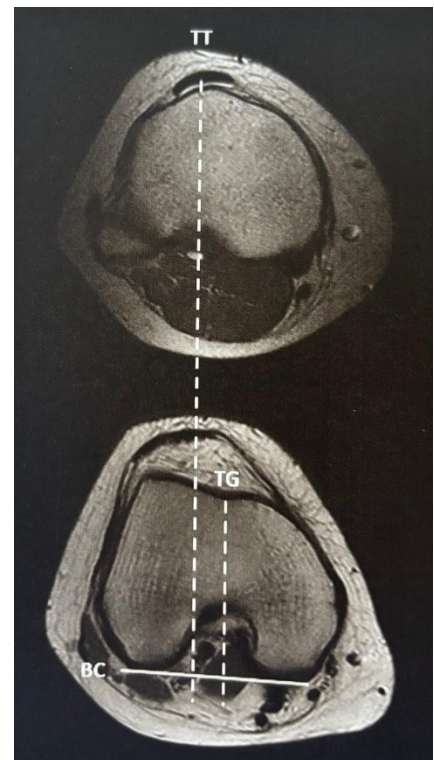


Figura 19 Misurazione TT-TG (Dejour D, et al. *Patellofemoral Pain, Instability, and Arthritis*. 2nd ed. Springer; 2020.)

Nei pazienti con instabilità rotulea oggettiva, i valori medi di TT-TG riportati in letteratura variano da 14,7 a 18,2 mm, mentre nei soggetti di controllo oscillano tra 10,1 e 13,9 mm (67),(68),(69). Tuttavia, la corrispondenza tra misurazioni TC e RM non è assoluta. Alcuni autori non hanno riscontrato differenze significative tra le due metodiche (69), mentre altri hanno evidenziato una tendenza della RM a sottostimare i valori di TT-TG rispetto alla TC (68). Per questo motivo, i valori ottenuti con TC e RM non dovrebbero essere considerati automaticamente intercambiabili.

La TT-TG può essere influenzata da diversi fattori, tra cui la flessione del ginocchio, la rotazione, la displasia trocleare e la lassità rotazionale (70). Inoltre, nei casi di severa displasia trocleare, l'identificazione del punto più profondo del solco può risultare complessa, con conseguente riduzione dell'affidabilità della misurazione.

Per superare alcune di queste limitazioni è stata proposta la distanza tra tuberosità tibiale e legamento crociato posteriore:

TT-PCL: misura la lateralizzazione della tuberosità tibiale rispetto all'inserzione tibiale del legamento crociato posteriore, utilizzando reperi completamente tibiali. La distanza TT-PCL viene calcolata proiettando il margine mediale del PCL e il centro dell'inserzione del tendine rotuleo PT sulla linea tangente alla parete posteriore della tibia PTW (fig.20) (71).

I valori medi di TT-PCL riportati in letteratura variano da circa $11,9 \pm 4,67$ mm a $20,32 \pm 3,45$ mm, a seconda delle popolazioni studiate (70),(71),(72). Valori superiori a 20 mm sono stati considerati patologici da alcuni autori (71),(72),(73), mentre altri hanno proposto soglie differenti, come 21 mm o 24 mm (71), (73). Il ruolo diagnostico della TT-PCL rimane comunque discusso. Può essere utile soprattutto nei pazienti con sintomi di instabilità persistente nonostante valori normali di TT-TG, oppure nei casi di severa displasia trocleare, in cui la definizione del solco trocleare risulta meno affidabile (72).

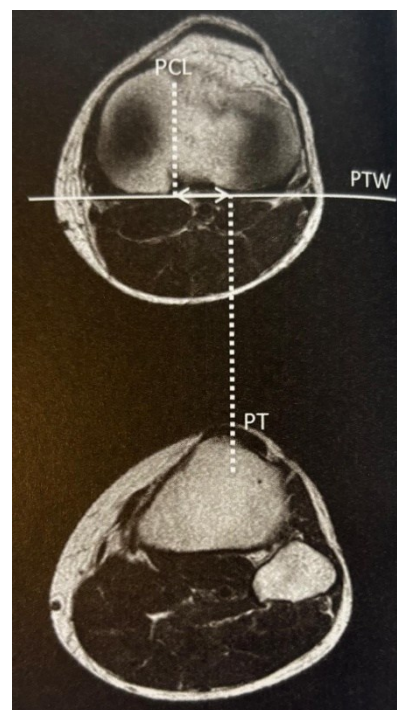


Figura 20 Distanza TT-PCL (Dejour D, et al. Patellofemoral Pain, Instability, and Arthritis. 2nd ed. Springer; 2020.)

1.5.4 Allineamento rotazionale di femore e tibia

Le deformità rotazionali degli arti inferiori possono contribuire all'instabilità femoro-rotulea, ma sono spesso sottostimate dall'esame clinico e dalla radiografia standard (74). Un'aumentata antiversione femorale e un'aumentata torsione tibiale esterna possono infatti determinare un incremento delle forze laterali sull'articolazione femoro-rotulea, favorendo il maltracking e la lussazione rotulea.

La TC è tradizionalmente considerata il gold standard per lo studio delle deformità rotazionali degli arti inferiori, grazie alla possibilità di sovrapporre sezioni assiali acquisite a diversi livelli (75),(76). Tuttavia, la RM è stata proposta come valida alternativa, in particolare per ridurre l'esposizione a radiazioni nei pazienti giovani e per la possibilità di orientare le sezioni in modo parallelo al collo femorale (77),(78).

- **Antiversione femorale:** viene definita come l'angolo compreso tra l'asse del collo femorale e la linea tangente ai condili femorali posteriori. La misurazione prevede l'identificazione dell'asse del collo femorale su una sezione parallela al collo stesso e il suo confronto con la linea bicondylare posteriore su una sezione assiale passante per il centro dei condili femorali (75),(fig.7).

Studi RM hanno riportato valori medi di antiversione femorale variabili: Tomczak et al. hanno descritto un valore medio di $16,2 \pm 9,5^\circ$, mentre Schneider et al. hanno riportato valori di $16,7 \pm 6,3^\circ$ (75),(78). Studi successivi hanno evidenziato valori inferiori, pari a 7° e $9,2 \pm 8,4^\circ$ (79),(80). Nei pazienti con instabilità rotulea, Diederichs et al. hanno osservato valori significativamente maggiori rispetto ai controlli, pari a $20,3 \pm 10,4^\circ$ contro $13,0 \pm 8,4^\circ$ (81). Altri autori, tuttavia, non hanno riscontrato differenze significative tra pazienti con dolore femoro-rotuleo e pazienti con instabilità (82).

Anche per l'antiversione femorale, i valori ottenuti con RM e TC non devono essere considerati perfettamente sovrapponibili. Le differenze possono dipendere dal posizionamento del paziente, dall'uso delle bobine e dalla possibilità di ottenere sezioni parallele al collo femorale mediante RM (78),(79).

- **Torsione tibiale:** definita come la rotazione della tibia prossimale rispetto all'asse articolare distale. La misurazione prevede una sezione assiale appena al di sotto della superficie articolare tibiale prossimale, prossimale alla testa del perone, e una sezione distale appena al di sotto dell'articolazione tibio-tarsica (83). L'angolo ottenuto tra la linea prossimale tangente al corticale posteriore della tibia e la linea distale di riferimento consente di stimare la torsione tibiale. Sono state proposte diverse linee di riferimento distali, inclusa la cosiddetta torsione tibio-fibulare vera, che considera il rapporto tra pilone tibiale e malleolo laterale (84).

I valori medi di torsione tibiale riportati in letteratura sono variabili. Schneider et al. hanno riportato un valore medio di $41,7 \pm 8,8^\circ$ in volontari sani (78), mentre Balcarek et al. hanno descritto valori simili pari a $41,24 \pm 7,28^\circ$ (82). Nonostante questa variabilità, la RM ha dimostrato buona riproducibilità nella valutazione del profilo torsionale degli arti inferiori e può rappresentare un'alternativa affidabile alla TC, soprattutto nei pazienti giovani (81).

2 Trattamento dell'instabilità oggettiva

2.1 Lateral Release

Il Lateral release, o rilascio del retinacolo laterale di rotula, è una procedura chirurgica finalizzata alla sezione controllata delle strutture capsulo-retinacolari laterali della rotula (85),(86). Il suo obiettivo è ridurre la tensione eccessiva del retinacolo laterale, diminuire l'iperpressione sulla faccetta laterale della rotula e migliorare il tracking femoro-rotuleo durante il movimento di flesso-estensione del ginocchio (87),(88).

Indicazioni

L'indicazione principale al Lateral release isolato è rappresentata dalla sindrome da iperpressione laterale della rotula, caratterizzata da: dolore anteriore di ginocchio, tilt laterale rotuleo, retrazione del retinacolo laterale e assenza di vera instabilità femoro-rotulea (89),(87),(90). In questi pazienti la rotula non è necessariamente instabile, ma presenta un maltracking determinato da una trazione laterale eccessiva, con aumento delle pressioni di contatto sulla faccetta laterale e possibile comparsa di dolore femoro-rotuleo o lesioni cartilaginee iniziali (89),(88),(91),(6).

Nel contesto dell'instabilità rotulea oggettiva, invece, il Lateral release isolato non è indicato, poiché non corregge i principali fattori patogenetici dell'instabilità: insufficienza del MPFL, displasia trocleare, patella alta, aumento della distanza TT-TG, malallineamenti assiali o torsionali (6),(92),(93),(94). In questi casi, il trattamento deve essere rivolto alla correzione della causa principale dell'instabilità, mediante ricostruzione del MPFL, osteotomia della tuberosità tibiale anteriore, trocleoplastica o altre procedure di riallineamento, a seconda dell'inquadramento anatomico del paziente. Il Lateral release può eventualmente essere associato solo quando, dopo la correzione principale, persista un tilt laterale fisso o una retrazione laterale chiaramente documentata (86),(93),(94).

Al contrario, rappresentano controindicazioni relative o assolute l'ipermobilità rotulea, la lassità generalizzata, l'assenza di retrazione laterale, l'instabilità mediale, la displasia

trocleare importante non trattata, la patella alta non corretta, il malallineamento dell'arto inferiore e le lesioni cartilaginee avanzate (89),(95),(96).

Richiamo anatomico

Il retinacolo laterale della rotula è una struttura complessa, costituita da più piani anatomici che contribuiscono al controllo del movimento rotuleo. È formato da uno strato superficiale, che comprende fibre provenienti dalla bandelletta ileotibiale e dal vasto laterale, e da uno strato profondo, in cui si riconoscono strutture legamentose quali il legamento patello-femorale laterale e il legamento patello-tibiale laterale (97),(98). Al di sotto del retinacolo è presente uno strato capsulo-sinoviale che partecipa alla continuità con la capsula articolare laterale.

Questa struttura stratificata spiega perché il Lateral release non sia una semplice incisione cutanea o fasciale, ma una procedura che modifica l'equilibrio fra le forze medial e laterali che agisce sulla rotula. La sezione eccessiva delle strutture laterali può ridurre il contenimento laterale della rotula e predisporre a instabilità mediale iatrogena (99),(96). Dal punto di vista biomeccanico, il retinacolo laterale contribuisce alla stabilità femoro-rotulea, ma il suo ruolo è secondario rispetto ai principali stabilizzatori mediali, in particolare il MPFL, che rappresenta il vincolo più importante alla lateralizzazione rotulea nei primi gradi di flessione (92),(6). Gli studi biomeccanici riportati nel capitolo attribuiscono al retinacolo laterale un contributo limitato alla stabilità laterale, pari a circa il 10% (6),(100). Per questo motivo, la sua sezione non può essere considerata un trattamento eziologico dell'instabilità rotulea: rimuove una forza compressiva laterale, ma non ricostruisce il vincolo mediale danneggiato né corregge i fattori ossei predisponenti.

Valutazione preoperatoria

Prima di indicare un Lateral release è indispensabile distinguere ed individuare una iperpressione laterale rispetto ad una instabilità rotulea oggettiva. Nella sindrome da iperpressione laterale, il sintomo prevalente è il dolore anteriore o laterale di ginocchio, in assenza di veri episodi di lussazione (89),(87),(88).

L'esame clinico deve includere la valutazione dell'allineamento dell'arto inferiore, del Q-angle, della mobilità rotulea, del tilt rotuleo e del patellar glide test. Una traslazione

mediale inferiore a un quadrante suggerisce retrazione laterale, mentre una traslazione superiore a tre quadranti indica ipermobilità e rappresenta una controindicazione al Lateral release (86),(101). Il patellar tilt test è particolarmente importante: se il margine laterale della rotula non può essere sollevato fino a una posizione neutra, la retrazione del retinacolo laterale è clinicamente significativa (86),(101). L'imaging, soprattutto RM e TC, consente di valutare tilt rotuleo, displasia trocleare, altezza rotulea, distanza TT-TG, stato cartilagineo e presenza di eventuali lesioni osteocondrali. Nei pazienti con instabilità, questi parametri sono fondamentali perché orientano verso procedure diverse dal Lateral release, come ricostruzione del MPFL o osteotomia della tuberosità tibiale anteriore.

Tecnica chirurgica e tempi operatori

Il Lateral release può essere eseguito con tecnica artroscopica o a cielo aperto. La tecnica artroscopica è attualmente la più utilizzata, perché consente di valutare direttamente l'articolazione femoro-rotulea, lo stato della cartilagine e il tracking rotuleo durante il movimento. Tuttavia, richiede precisione tecnica, poiché un rilascio insufficiente può non modificare il quadro clinico, mentre un rilascio eccessivo può provocare instabilità mediale iatrogena (102),(96),(6).

Il paziente viene posizionato supino, con possibilità di mobilizzare il ginocchio durante l'intervento. Dopo l'allestimento del campo sterile ed eventualmente il posizionamento di un laccio emostatico, si esegue una prima artroscopia diagnostica attraverso i portali standard antero-laterale e antero-mediale. In questa fase vengono valutati la cartilagine rotulea e trocleare, la presenza di condropatia o lesioni osteocondrali, il grado di tilt laterale, la centratura della rotula nella troclea e il comportamento dinamico della rotula durante la flessione del ginocchio.

Una volta confermata l'indicazione, il rilascio viene eseguito lungo il margine laterale della rotula, incidendo le strutture capsulo-retinacolari laterali. La sezione può essere effettuata con forbici artroscopiche, elettrobisturi o radiofrequenza. Il piano di rilascio comprende sinovia, capsula laterale e retinacolo laterale, procedendo in modo controllato dal polo supero-laterale della rotula verso il polo infero-laterale. Il limite prossimale deve evitare l'estensione eccessiva nel tendine del vasto laterale o nelle fibre del vasto laterale obliquo; il limite distale non deve proseguire inutilmente verso la bandelletta ileotibiale

o il tubercolo di Gerdy (103),(96). La protezione dei vasi genicolati supero-laterali è essenziale, poiché la loro lesione rappresenta una delle principali cause di emartro postoperatori(104),(6).

Durante la procedura è necessario rivalutare più volte la mobilità rotulea. Il risultato non deve essere una medializzazione forzata della rotula, ma una correzione del tilt laterale eccessivo. Un criterio intraoperatorio utile è la possibilità di ottenere una modesta eversione del margine laterale della rotula e una traslazione mediale controllata, senza eccessiva lassità. La letteratura tecnica più recente suggerisce che l'eversione rotulea non debba essere eccessiva: un'eversione fino a circa 30° può essere considerata adeguata, mentre eversibilità molto maggiori, come 60°–90°, indicano un rischio di sovra-rilascio e instabilità mediale (6),(105).

Al termine del rilascio si esegue un controllo artroscopico del tracking femoro-rotuleo durante la flessione-estensione. Si verifica che la rotula si centri meglio nella troclea, che il tilt laterale sia ridotto e che non compaia instabilità mediale. È inoltre necessario ottenere un'emostasi accurata, in particolare nella regione supero-laterale, per ridurre il rischio di emartro. La procedura viene conclusa con lavaggio articolare, chiusura dei portali e bendaggio compressivo.

Negli ultimi anni, in alternativa alla sezione completa del retinacolo laterale, è stato proposto il **Lateral Retinacular Lengthening**, cioè l'allungamento del retinacolo laterale. Questa tecnica, spesso eseguita a cielo aperto mediante plastica a "Z", mira ad allungare le strutture laterali senza interromperne completamente la continuità anatomica. Il razionale è ottenere una riduzione della tensione laterale mantenendo però una funzione di contenimento, con minore rischio di instabilità mediale rispetto alla sezione completa (105),(106). Nella tecnica descritta da Hayden et al., il retinacolo viene considerato come una struttura a due strati: uno superficiale obliquo e uno profondo trasversale; il piano tra questi due strati consente un allungamento controllato mediante plastica a Z, con successiva sutura dei lembi retinacolari alla tensione desiderata.

Vantaggi

Il principale vantaggio del lateral release è la possibilità di ridurre rapidamente la tensione del compartimento laterale femoro-rotuleo. Nei pazienti correttamente selezionati, in particolare in presenza di sindrome da iperpressione laterale, il rilascio può diminuire la pressione sulla faccetta laterale della rotula, migliorare il tracking e ridurre il dolore anteriore di ginocchio (89),(87),(88).

Un ulteriore vantaggio è la possibilità di eseguire la procedura per via artroscopica, con ridotta invasività, visualizzazione diretta dell'articolazione e possibilità di trattare eventuali lesioni associate. Come gesto accessorio, il lateral release può inoltre essere utile quando, durante una procedura principale di stabilizzazione, persiste un tilt laterale non correggibile. In tale contesto, tuttavia, non deve essere considerato un gesto di routine, ma una correzione selettiva basata sul riscontro clinico e intraoperatorio (93),(107).

Svantaggi e complicanze

Il principale limite del Lateral release è che non corregge le cause più frequenti dell'instabilità rotulea oggettiva quali insufficienza del MPFL e/o alterazioni dei fattori anatomici predisponenti (92). Per questo motivo, un Lateral release isolato può risultare inefficace o addirittura dannoso se utilizzato come trattamento principale dell'instabilità. In letteratura sono riportati un tasso di recidiva di instabilità del 35% dopo lateral release isolato (108) e a lungo termine, una riduzione della soddisfazione nei pazienti con instabilità femoro-rotulea dal 72% al 50% (95). Questi dati spiegano perché il lateral release isolato non venga oggi considerato una procedura adeguata alla lussazione recidivante di rotula.

Le complicanze più importanti sono: rigidità, lesioni del meccanismo estensore, debolezza quadricipitale e sindrome dolorosa regionale complessa (96),(104). Inoltre, sono frequenti: emartro, legato soprattutto alla lesione dell'arteria genicolata supero-laterale ed instabilità mediale derivante in genere da un rilascio eccessivamente esteso (96),(104). È stata descritta infine la sublussazione mediale della rotula come complicanza invalidante del lateral release artroscopico, osservando anche atrofia e retrazione del vasto laterale in alcuni pazienti valutati con TC.

2.2 Osteotomia di medializzazione della tuberosità tibiale

L'osteotomia della tuberosità tibiale anteriore, TTO, è una procedura chirurgica di riallineamento distale dell'apparato estensore finalizzata a modificare la posizione della tuberosità tibiale e, di conseguenza, la direzione del vettore di trazione del tendine rotuleo sulla rotula.

Nel tempo sono state descritte diverse tecniche di trasposizione della tuberosità tibiale:

- Secondo **Elmslie-Trillat**: prevede una medializzazione della tuberosità tibiale ed è stata storicamente utilizzata nel trattamento dell'instabilità rotulea recidivante (109),(110).
- Secondo **Maquet**: consiste in un avanzamento anteriore della tuberosità, con lo scopo di ridurre le forze di contatto femoro-rotulee (110).
- Secondo **Fulkerson**: osteotomia di antero-medializzazione, combina medializzazione e anteriorizzazione, permettendo sia la correzione del maltracking laterale sia lo scarico delle aree articolari laterali o distali della rotula (111).

La scelta tra medializzazione pura, antero-medializzazione, distalizzazione o combinazioni di queste dipende dal quadro anatomico e biomeccanico del singolo paziente.

Indicazioni

L'indicazione principale alla medializzazione della tuberosità tibiale è rappresentata dall'instabilità rotulea recidivante associata a un aumento della distanza TT-TG (112),(113). Una distanza TT-TG ≥ 20 mm è considerata patologica, mentre valori compresi tra 15 e 20 mm sono spesso considerati borderline e devono essere interpretati insieme agli altri fattori anatomici del paziente (112),(113). In caso di displasia trocleare severa o alterazioni rotazionali è più opportuno considerare la distanza TT-PCL in quanto risente meno delle alterazioni (114),(113).

Nel paziente con instabilità rotulea oggettiva, la TTO è frequentemente associata alla ricostruzione del legamento patello-femorale mediale, portando a risultati migliori rispetto alla singola ricostruzione MPFL(115),(116). La TTO corregge il malallineamento osseo distale, mentre la ricostruzione del MPFL ripristina il vincolo mediale lesionato.

Oltre all'instabilità, la TTO può essere indicata nel dolore femoro-rotuleo da malallineamento e nella patologia cartilaginea focale della rotula o della troclea. In particolare, l'antero-medializzazione secondo Fulkerson può essere utile quando è necessario scaricare una lesione cartilaginea laterale o distale della rotula, trasferendo le pressioni di contatto verso aree articolari meno danneggiate (111),(117),(118).

Le controindicazioni comprendono invece assenza di malallineamento significativo, TT-TG normale, ipermobilità non sostenuta da lateralizzazione della tuberosità, importante danno cartilagineo mediale in quanto la procedura può portare un aumento del carico sulla componente mediale (118),(119), scarsa qualità ossea, fumo, obesità severa, bassa compliance postoperatoria e impossibilità a rispettare le limitazioni di carico (120),(121).

Richiamo anatomico e biomeccanico

La tuberosità tibiale anteriore rappresenta il punto di inserzione distale del tendine rotuleo e costituisce quindi l'elemento osseo attraverso cui il quadricipite trasmette la propria forza alla tibia. La sua posizione influenza direttamente il vettore dell'apparato estensore e il tracking rotuleo. Una tuberosità eccessivamente lateralizzata aumenta la forza di trazione laterale sulla rotula e contribuisce alla sublussazione laterale, soprattutto nei primi gradi di flessione del ginocchio (122).

Dal punto di vista biomeccanico, la TTO agisce modificando due elementi principali: il vettore di trazione del tendine rotuleo e la distribuzione delle pressioni di contatto femoro-rotulee. La medializzazione riduce la componente laterale della forza esercitata dal tendine rotuleo, favorendo una centratura più mediale della rotula nella troclea. L'anteriorizzazione, invece, aumenta la distanza tra la tuberosità tibiale e l'articolazione femoro-rotulea, riducendo le forze compressive sulla rotula, in modo analogo a quanto descritto originariamente nella procedura di Maquet (110),(111)

Gli studi biomeccanici più recenti confermano che la TTO può migliorare la meccanica di contatto femoro-rotulea nei modelli di instabilità e displasia, ma sottolineano la necessità di personalizzare direzione ed entità dello spostamento in base alla morfologia del paziente (123).

Valutazione preoperatoria

È necessario distinguere il paziente con vera instabilità rotulea, caratterizzata da episodi di lussazione o sublussazione, dal paziente con dolore femoro-rotuleo da malallineamento senza episodi di instabilità (112),(122). All'esame obiettivo il J-sign è particolarmente rilevante, poiché indica una lateralizzazione dinamica della rotula in estensione e può suggerire un maltracking significativo.

L'imaging preoperatorio è indispensabile. Le radiografie standard comprendono proiezione antero-posteriore, laterale e assiale di rotula, spesso secondo Merchant a 45°. La radiografia laterale permette di valutare l'altezza rotulea mediante indici come Insall-Salvati, Blackburne-Peel e Caton-Deschamps (112); La proiezione assiale consente di valutare tilt rotuleo, congruenza femoro-rotulea e segni di displasia trocleare. TC e RM permettono una valutazione più precisa della distanza TT-TG, della morfologia trocleare, del tilt rotuleo, dell'altezza rotulea e delle lesioni cartilaginee o osteocondrali (112). La RM ha il vantaggio di visualizzare anche cartilagine, osso subcondrale, edema osseo, lesioni del MPFL e corpi mobili intra-articolari. Nei pazienti candidati a TTO, la valutazione cartilaginea è fondamentale: la presenza di danno cartilagineo laterale o distale può rafforzare l'indicazione a un'antero-medializzazione, mentre una lesione mediale importante deve rendere più cauti per il rischio di sovraccarico del compartimento mediale (118),(119).

Tecnica chirurgica e tempi operatori

La tecnica chirurgica deve essere pianificata in base alla correzione desiderata. Il principio fondamentale è che lo scorrimento del frammento lungo tale piano può essere scomposto in una componente di medializzazione e in una componente di anteriorizzazione. L'entità relativa dei due spostamenti dipende dall'angolo dell'osteotomia: con un angolo di 30° prevale la medializzazione, con un angolo di 45° le due componenti risultano sostanzialmente equivalenti, mentre con un angolo di 60° prevale l'anteriorizzazione (111),(120).

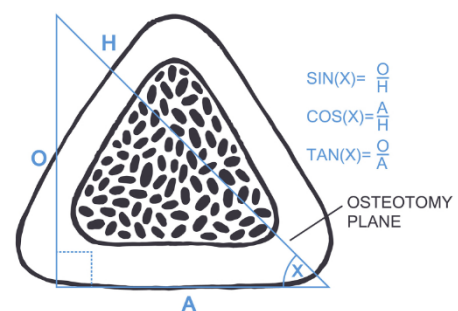


Figura 21: **Illustrazione assiale della tibia** che dimostra la **trigonometria dell'angolo retto** utilizzata per **calcolare l'entità della traslazione** (Dejour D, et al. *Patellofemoral Pain, Instability, and Arthritis*. 2nd ed. Springer; 2020.)

Il paziente viene posizionato supino sul tavolo operatorio. È possibile utilizzare un laccio emostatico alla coscia e un supporto sotto l'anca omolaterale per mantenere l'arto in una posizione favorevole all'accesso chirurgico. Prima della fase aperta si esegue generalmente un'artroscopia diagnostica attraverso i portali standard antero-laterale e antero-mediale. L'artroscopia consente di valutare la cartilagine rotulea e trocleare, identificare corpi mobili, trattare eventuali lesioni condrali o meniscali associate e osservare il tracking rotuleo prima della correzione ossea (120). Se sono previste procedure associate, come ricostruzione del MPFL o lateral release, l'artroscopia permette di completare la diagnosi intraoperatoria e di confermare il piano chirurgico.

Terminata la fase artroscopica, si esegue l'accesso anteriore alla tuberosità tibiale. L'incisione cutanea decorre generalmente in sede antero-laterale, partendo in prossimità della tuberosità tibiale e proseguendo distalmente lungo la cresta tibiale. Dopo la dissezione dei tessuti sottocutanei, si identifica il margine laterale del tendine rotuleo e si espone la tuberosità tibiale. La fascia del compartimento anteriore viene incisa lateralmente alla cresta tibiale, lasciando un margine di tessuto sufficiente per la successiva chiusura. La muscolatura

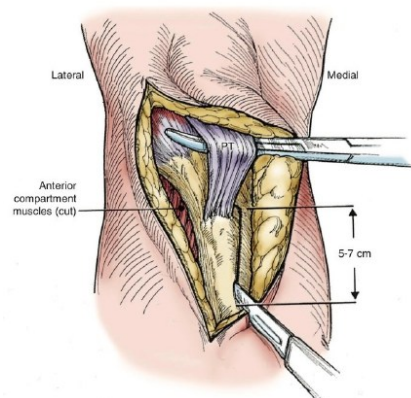


Figura 22: Accesso con piano di taglio, isolamento del tendine quadricipitale. (Insall & Scott, 2015)

del compartimento anteriore viene sollevata in modo subperiosteale dalla tibia laterale, proteggendo le strutture vascolo-nervose e consentendo l'esecuzione sicura dell'osteotomia (120).

Il frammento osteotomizzato viene programmato in genere con una lunghezza sufficiente a garantire stabilità e consolidazione, spesso intorno ai 6–7 cm. Prima del taglio possono essere posizionati fili guida paralleli per definire il piano di osteotomia e la direzione della correzione. L'osteotomia viene quindi eseguita con



Figura 23 Foto intraoperatoria della sega oscillante che incide la corticale mediale della tibia, previo inserimento fili K-wire secondo l'inclinazione dell'osteotomia pianificata (Dejour D, et al. Patellofemoral Pain, Instability, and Arthritis. 2nd ed. Springer; 2020.)

sega oscillante lungo il piano pianificato, mantenendo attenzione alla profondità del taglio e alla protezione dei tessuti molli.

Un aspetto tecnico rilevante è la conservazione di una cerniera corticale distale, cioè di una piccola porzione di corticale anteriore distale non completamente sezionata, che riduce il rischio di frattura tibiale e facilita il controllo del frammento durante la traslazione (124),(125).



Figura 24 Foto intraoperatoria dell'aspetto distale della osteotomia, lasciando 1-2mm di corticale intatta per fungere da cerniera (Dejour D, et al. Patellofemoral Pain, Instability, and Arthritis. 2nd ed. Springer; 2020.)

Dopo aver completato il taglio prossimale e liberato il frammento osteotomico, la tuberosità viene traslata medialmente, o antero-medialmente se necessario, secondo la correzione pianificata. La quantità di traslazione viene misurata intraoperatoriamente e deve corrispondere all'obiettivo preoperatorio, generalmente finalizzato a riportare la TT-TG entro valori fisiologici o comunque a migliorare il tracking rotuleo senza sovra-correzione (112),(113). La tuberosità viene temporaneamente fissata con fili di Kirschner e successivamente stabilizzata con viti corticali, solitamente bicorticali, orientate in modo da ottenere compressione del frammento sulla tibia (120).

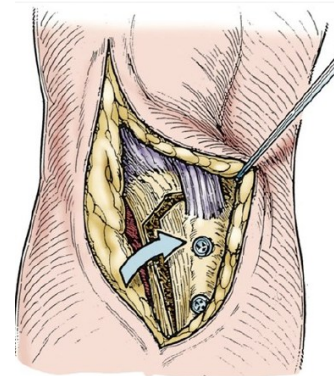


Figura 25 Rappresentazione grafica di fissaggio tuberosità tibiale a doppia vite. (Insall & Scott, 2015)

Dopo la fissazione si rivaluta il tracking rotuleo attraverso la flessione-estensione del ginocchio. Se è prevista una ricostruzione del MPFL, molti autori preferiscono completare prima la correzione ossea e successivamente ricostruire il vincolo mediale, in modo da tensionare il neolegamento su una rotula già riallineata (122),(117).

Nel caso in cui residui un tilt laterale fisso o una retrazione laterale significativa, può essere considerato un gesto laterale selettivo, come lateral lengthening o lateral release, ma non in modo routinario (115). La procedura si conclude con lavaggio, controllo dell'emostasi, chiusura della fascia del compartimento anteriore, dei piani sottocutanei e della cute.

Nel postoperatorio il ginocchio viene generalmente protetto con tutore articolato, spesso bloccato in estensione durante la deambulazione nelle prime settimane. Il carico è progressivo e dipende dalla stabilità della fissazione, dalla presenza di cerniera distale, da eventuali procedure associate e dalla guarigione radiografica. Questo aspetto è importante perché il carico precoce e aggressivo è stato associato a rischio di frattura della tibia prossimale dopo osteotomia secondo Fulkerson (126),(124).

Vantaggi

Il principale vantaggio della TTO è la capacità di correggere direttamente un fattore anatomico predisponente all'instabilità rotulea: la lateralizzazione della tuberosità tibiale. A differenza delle sole procedure sui tessuti molli, la medializzazione modifica il vettore dell'apparato estensore e riduce la forza laterale che tende a portare la rotula fuori dalla troclea (112). Questo la rende particolarmente utile nei pazienti con instabilità recidivante e TT-TG aumentata, nei quali una ricostruzione isolata del MPFL potrebbe essere sottoposta a tensioni eccessive se il malallineamento distale non viene corretto (115),(116). Una revisione sistematica e metanalisi del 2025 ha riportato, dopo TTO per instabilità femoro-rotulea, una recidiva di instabilità compresa tra il 3% e l'8% a seconda del follow-up, con un tasso complessivo di complicanze del 17% (127).

Un secondo vantaggio è la possibilità di modulare la procedura in base alla patologia. La tuberosità può essere medializzata, anteriorizzata, distalizzata o combinata in più direzioni. Ciò permette di trattare non solo l'instabilità, ma anche patella alta e lesioni cartilaginee focali, adattando la correzione al quadro morfologico e funzionale del paziente (118),(120). In particolare, l'antero-medializzazione può ridurre le pressioni di contatto sulle aree laterali e distali della rotula, con possibile beneficio nei pazienti con dolore femoro-rotuleo e danno cartilagineo selettivo (118),(119).

Svantaggi e complicanze

Lo svantaggio principale della TTO è che si tratta di una procedura ossea, più invasiva rispetto alle procedure isolate sui tessuti molli. Richiede osteotomia, fissazione con mezzi di sintesi, tempi di consolidazione e un protocollo riabilitativo più cauto. Questo implica una maggiore attenzione nella selezione del paziente e nella gestione postoperatoria (125),(120),(121).

Le complicanze possono essere divise in precoci e tardive. Tra le complicanze precoci rientrano sanguinamento, ematoma, infezione, deiscenza o ritardo di guarigione della ferita, trombosi venosa profonda, sindrome compartimentale e dolore postoperatorio (125),(120),(121). Tra le complicanze tardive vi sono ritardo di consolidazione, pseudoartrosi, malunione, frattura della tibia prossimale, perdita di fissazione, mobilizzazione del frammento osteotomico, rigidità, artrofibrosi, dolore da mezzi di sintesi e necessità di rimozione delle viti (120),(121).

La frattura della tibia prossimale rappresenta una complicanza rara ma importante. È stata associata soprattutto a osteotomie troppo aggressive, assenza di cerniera distale, tagli trasversali che indeboliscono eccessivamente la corticale tibiale e carico precoce non protetto (124). Per ridurre questo rischio è utile conservare una cerniera corticale distale, evitare angoli di taglio eccessivamente stressanti, utilizzare una fissazione stabile e progredire con il carico solo dopo evidenza clinica e radiografica di guarigione.

Un'altra possibile criticità è la sovra-correzione. Una medializzazione eccessiva può spostare il carico verso il compartimento mediale femoro-rotuleo e generare dolore o maltracking mediale. Questo rischio è particolarmente rilevante nei pazienti con lesioni cartilaginee mediali, nei quali l'antero-medializzazione può aumentare le pressioni su un'area già patologica (118),(119). Per questo motivo la TTO deve essere pianificata con attenzione, evitando di correggere meccanicamente un valore radiografico senza considerare il quadro clinico e cartilagineo complessivo.

2.3 MPFL

La ricostruzione del legamento patello-femorale mediale è una procedura chirurgica finalizzata a ristabilire il principale vincolo statico mediale della rotula. Il MPFL rappresenta infatti il più importante stabilizzatore passivo contro la traslazione laterale della rotula, soprattutto nei primi gradi di flessione del ginocchio, prima che la rotula si ingaggi stabilmente nella troclea femorale (128),(129).

Indicazioni

L'indicazione principale alla ricostruzione del MPFL è l'instabilità rotulea laterale recidivante, in presenza di insufficienza dei tessuti molli mediali. Il paziente ideale è quello che presenta episodi ricorrenti di lussazione o sublussazione laterale, sensazione di apprensione, instabilità soggettiva e documentata lassità mediale, con dolore assente o limitato negli intervalli tra gli episodi (130),(131). In questi casi, la procedura consente di ristabilire la funzione di “check-rein” del legamento, contrastando la tendenza della rotula a lateralizzarsi durante i primi gradi di flessione (130),(10),(132). Al contrario, nei pazienti in cui l'instabilità è prevalentemente sostenuta da anomalie ossee importanti, una ricostruzione isolata può non essere sufficiente e deve essere integrata con procedure correttive associate (133) .

La ricostruzione isolata del MPFL non dovrebbe essere eseguita come trattamento del solo dolore femoro-rotuleo anteriore in assenza di instabilità, poiché il suo razionale è stabilizzante e non decompressivo (128),(130). Allo stesso modo, nei primi episodi di lussazione rotulea, il trattamento conservativo rimane spesso appropriato, soprattutto in assenza di lesioni osteocondrali, corpi mobili, instabilità franca o fattori di rischio anatomici importanti. Tuttavia, nei pazienti ad alto rischio di recidiva, in particolare giovani, sportivi, con displasia trocleare, patella alta, distanza TT-TG aumentata o storia controlaterale di instabilità, la chirurgia può essere considerata più precocemente (134).

Le linee di tendenza più recenti confermano una progressiva maggiore attenzione al trattamento chirurgico nei pazienti con rischio elevato di recidiva. Il consenso ESSKA 2024, pubblicato nel 2025, indica che la ricostruzione del MPFL è la tecnica preferita per il trattamento dei deficit dei tessuti molli mediali e che la correzione associata dei fattori

ossei rilevanti può ridurre ulteriormente il rischio di recidiva e revisione, pur restando dibattute alcune soglie decisionali (134).

Richiamo anatomico e biomeccanico

Il MPFL è un legamento extra-articolare situato nel secondo strato mediale del ginocchio, tra il retinacolo mediale superficiale e la capsula articolare(128),(fig.2). Prossimalmente presenta rapporti stretti con il vasto mediale obliquo, le cui fibre si inseriscono in parte sul MPFL e contribuiscono alla stabilizzazione dinamica della rotula (128),(135). La sua inserzione rotulea è localizzata prevalentemente sul margine supero-mediale della rotula (136),(137). Dal lato femorale, il punto di inserzione è situato in prossimità dell'epicondilo mediale e del tubercolo degli adduttori. L'inserzione femorale presenta una variabilità anatomica, ma viene comunemente descritta in rapporto a questi reperi ossei mediali (136),(137).

Dal punto di vista funzionale, il MPFL contrasta la lateralizzazione della rotula soprattutto tra 0° e 30° di flessione, cioè nella fase in cui la rotula non è ancora completamente contenuta dalla troclea femorale (129),(130). Dopo i 30° di flessione, la stabilità dipende progressivamente di più dalla congruenza ossea femoro-rotulea. Questo spiega perché il MPFL sia fondamentale nelle lussazioni che avvengono in estensione o nei primi gradi di flessione e perché la sua ricostruzione sia efficace nel ridurre la recidiva di instabilità laterale.

Valutazione preoperatoria

La valutazione preoperatoria deve iniziare con un'anamnesi accurata che deve raccogliere tutti i dati tipici di una instabilità recidivante (138),(131). L'esame obiettivo deve comprendere la valutazione dell'allineamento globale dell'arto inferiore, della deambulazione, del valgismo, delle alterazioni torsionali, della lassità generalizzata e del controllo muscolare (130). A livello del ginocchio devono essere ricercati versamento, range of motion, dolore alla palpazione delle faccette rotulee, crepitii, tilt rotuleo, traslazione mediale e laterale della rotula e qualità dell'end-point alla traslazione laterale. Il patellar apprehension test, generalmente eseguito a circa 30° di flessione, è fondamentale per documentare la tendenza alla lussazione laterale (130). Il *J-sign* invece

può indicare un maltracking importante o fattori anatomici non correggibili dal solo MPFL (130),(133),(139).

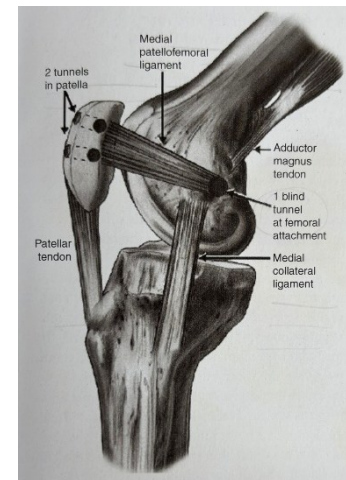
L'imaging preoperatorio permette di decidere se la ricostruzione del MPFL possa essere isolata o debba essere associata ad altre procedure. Tramite radiografie in proiezione laterale viene indagata l'altezza rotulea, mentre in proiezione assiale vengono analizzati tilt e congruenza femoro-rotulea (130). La risonanza magnetica permette di valutare lo stato del MPFL, la sede della lesione, la cartilagine femoro-rotulea, eventuali lesioni osteocondrali, edema osseo post-traumatico e corpi mobili (130),(131). Inoltre, RM e TC consentono di misurare tilt rotuleo, distanza TT-TG o TT-PCL, morfologia trocleare e altezza rotulea (130). Una distanza TT-TG superiore a 20 mm, patella alta significativa o displasia trocleare severa devono far considerare procedure associate alla MPFL reconstruction, come osteotomia della tuberosità tibiale o trocleoplastica, a seconda del caso (130),(133),(139).

Tecnica chirurgica: innesto autologo di tendine semitendinoso

La ricostruzione mediante innesto autologo di semitendinoso prevede una sequenza chirurgica articolata in tempi distinti: prelievo e preparazione dell'innesto, esposizione rotulea con confezionamento dei tunnel patellari, esposizione femorale con identificazione del punto isometrico, preparazione del tunnel femorale, passaggio dell'innesto, fissazione femorale e successiva regolazione della lunghezza e della tensione sul versante rotuleo.

Il paziente viene posizionato supino sul tavolo operatorio. Prima della preparazione sterile è utile eseguire un esame in anestesia per valutare la mobilità rotulea reale, spesso più affidabile rispetto all'esame clinico in paziente sveglio. In questa fase si valuta se la rotula sia dislocabile lateralmente, quale sia il grado di traslazione laterale e se la lussazione avvenga nei primi gradi di flessione (130).

L'artroscopia diagnostica può essere eseguita all'inizio dell'intervento, soprattutto



*Figura 26 Visione schematica anteromediale di un ginocchio dx. Viene mostrata la **ricostruzione MPFL** realizzando un tunnel cieco nel punto di inserzione femorale e due tunnel nella rotula che entrano dal margine articolare mediale ed emergono sulla superficie anteriore (Dejour D, et al. *Patellofemoral Pain, Instability, and Arthritis*. 2nd ed. Springer; 2020.)*

quando si sospettano lesioni cartilaginee, corpi mobili o patologie intra-articolari associate (130).

Il **prelievo del semitendinoso** segue la tecnica descritta da Brown et al. (140). L'innesto viene preparato sul tavolo secondario, dimensionato a circa 240–260 mm e quindi ripiegato a metà, in modo da ottenere un graft raddoppiato ad ansa di almeno 120 mm dopo il trimming. Questo requisito di lunghezza rende generalmente il gracile inadatto per tale tecnica. Una sutura di trazione in poliestere n. 5, o materiale equivalente, viene passata attraverso l'ansa per consentire il successivo trascinamento dell'innesto nel tunnel femorale cieco; l'estremità ad ansa viene rinforzata con una sutura tipo “baseball stitch” per circa 20 mm. Le due estremità libere vengono invece assottigliate e suture con materiale riassorbibile, così da facilitarne il passaggio nei tunnel rotulei.



Figura 27 Innesto preparato costituito da un autotrapianto del tendine semitendinoso raddoppiato, suturato con tecnica whip-stitch per 20mm utilizzando una sutura #0 all'estremità raddoppiata e su ciascun lembo individuale (Dejour D, et al. Patellofemoral Pain, Instability, and Arthritis. 2nd ed. Springer; 2020.)

Il **tempo rotuleo** inizia con un'incisione longitudinale della lunghezza della rotula, centrata sulla giunzione tra il terzo mediale e il terzo centrale, in corrispondenza del margine mediale dell'espansione del tendine rotuleo al polo distale. Viene esposto il quarto mediale della rotula, pari a circa 8–10 mm, mediante dissezione subperiosteale. La dissezione prosegue medialmente attorno alla rotula attraversando gli strati 1 e 2, cioè retinacolo longitudinale e MPFL nativo, arrestandosi dopo la sezione delle fibre trasverse del legamento; a questo livello lo strato capsulare, corrispondente allo strato 3, deve rimanere integro. Il posizionamento dell'innesto tra lo strato 2 e lo strato 3 è preferibile per ragioni anatomiche e biologiche: il vasto mediale si inserisce superficialmente nei 3 cm anteriori del MPFL (141), pertanto una dissezione troppo superficiale può danneggiare inutilmente questa inserzione; inoltre, collocando l'innesto in profondità rispetto al MPFL nativo, quest'ultimo può essere riparato sopra il graft durante la chiusura, mantenendo l'innesto extra-articolare e riducendo il rischio di abrasione intra-articolare. Con un clamp curvo lungo si sviluppa quindi l'intervallo dei tessuti molli fino all'epicondilo mediale femorale.

La **preparazione dei tunnel rotulei** deve essere eseguita nel terzo prossimale della rotula, evitando una posizione troppo distale rispetto all'inserzione nativa del MPFL, perché ciò potrebbe determinare un vincolo patologico del polo rotuleo inferiore. I due tunnel vengono creati con una punta da 3,2 mm, entrando dal margine mediale della rotula, in prossimità del margine articolare, per una profondità di circa 8–10 mm. È fondamentale mantenere una distanza adeguata tra i tunnel e conservarli paralleli, così da prevenire la frattura del ponte osseo interposto. Successivamente si creano i fori di uscita sulla superficie anteriore della rotula, circa 8 mm lateralmente rispetto al margine mediale, completando la connessione tra foro mediale e foro anteriore con una piccola curette angolata. È essenziale evitare la creazione di un tunnel transrotuleo completo, poiché questa configurazione aumenta il rischio di frattura della rotula (142).

Il **tempo femorale** richiede l'identificazione precisa del punto di inserzione femorale del MPFL, che rappresenta uno dei passaggi più critici dell'intervento. L'incisione viene eseguita appena anteriormente alla cresta palpabile compresa tra epicondilo femorale mediale e tubercolo degli adduttori ovvero dove c'è l'inserzione anatomica del MPFL. Una volta individuati epicondilo e tubercolo degli adduttori, il clamp curvo viene reintrodotto dall'incisione rotulea mediale attraverso l'intervallo retinacolare fino alla regione femorale mediale.

L'accuratezza del tunnel femorale è determinante perché anche minimi errori di posizionamento possono modificare significativamente le forze e le pressioni esercitate sulla faccetta mediale della rotula (143),(144). Per questo motivo viene spesso raccomandato il controllo fluoroscopico.

Dopo conferma della posizione, viene realizzato un tunnel femorale cieco con fresa cannulata, di diametro sufficiente ad accogliere l'estremità raddoppiata dell'innesto, generalmente superiore a 7 mm, e con profondità di almeno 25 mm. La fissazione femorale può essere ottenuta con vite a interferenza riassorbibile da 20 mm; poiché l'innesto compie una curva di circa 110° all'uscita dal tunnel femorale, la stabilità della fissazione deve essere particolarmente affidabile.

Dopo la fissazione femorale, le due estremità libere dell'innesto vengono condotte attraverso il tunnel retinacolare e quindi fatte passare separatamente nei rispettivi tunnel rotulei mediante filo guida in acciaio da 18–20 gauge o passafilì curvo. Le estremità entrano dal margine mediale della rotula ed emergono anteriormente, ricreando una configurazione “a ventaglio” che riproduce l'inserzione rotulea fisiologica del MPFL.

La regolazione finale non deve essere basata su una tensione forzata dell'innesto, poiché il MPFL ricostruito deve funzionare come struttura di contenimento, cioè come “checkrein”, e non come vincolo rigido. La rotula viene centrata nella gola trocleare e l'innesto deve rimanere sostanzialmente lasso durante il movimento, diventando teso solo quando la rotula viene traslata lateralmente dalla posizione centrata. Le estremità libere vengono quindi ripiegate su sé stesse medialmente alla rotula e fissate con due punti a materasso a “figure-of-eight” in sutura non riassorbibile su ago rastremato.



Figura 29 Foto intraoperatoria, Innesto fissato al femore. Viene fatto passare grazie al filo guida attraverso il retinacolo

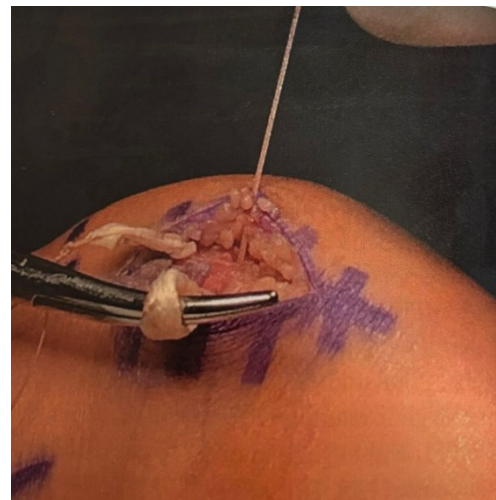


Figura 28 Foto intraoperatoria Passaggio dei bracci dell'innesto attraverso i tunnel rotulei (Dejour D, et al. Patellofemoral Pain, Instability, and Arthritis. 2nd ed. Springer; 2020.)

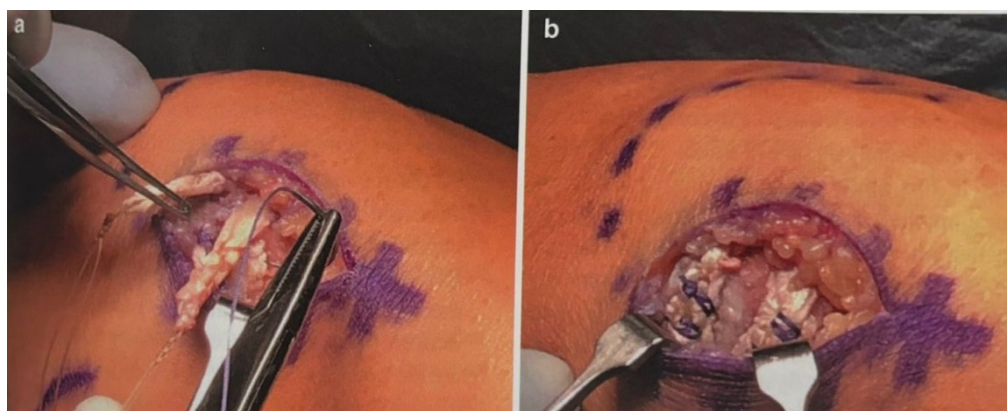


Figura 30 Foto intraoperatoria (a) i lembi dell'innesto sono stati fatti passare attraverso i tunnel rotulei e ripiegati su sé stessi in preparazione alla fissazione finale con suture. (b) Fissazione finale con sutura, resezione della porzione eccedente dell'innesto (Dejour D, et al. Patellofemoral Pain, Instability, and Arthritis. 2nd ed. Springer; 2020.)

Dopo il primo punto è obbligatorio rivalutare la mobilità rotulea: deve essere presente un endpoint valido sia in estensione completa sia a 30° di flessione, il range articolare deve risultare completo e la traslazione laterale della rotula dal centro della troclea non dovrebbe superare circa 7 mm in estensione e 9 mm a 30° di flessione. Se durante la flessione la rotula entra nella troclea dal versante mediale, oppure se a circa 30° di flessione la traslazione laterale è inferiore a 5 mm con una delicata forza manuale, l'innesto deve essere considerato eccessivamente tensionato: in tal caso le suture devono essere rimosse e la lunghezza del graft deve essere nuovamente regolata.

Al termine, l'eccesso di innesto viene resecato, il retinacolo viene chiuso sopra il graft e la ferita viene suturata secondo tecnica standard, senza necessità di drenaggi.

Vantaggi

Il principale vantaggio della ricostruzione del MPFL è la capacità di trattare direttamente il deficit anatomico più frequentemente associato alla lussazione laterale di rotula: la lesione del principale stabilizzatore mediale (128),(130),(131). È una procedura relativamente conservativa sul piano osseo, soprattutto quando non sono presenti fattori anatomici maggiori.

I tassi di recidiva sono generalmente bassi: Schneider et al., in una revisione sistematica, riportano una recidiva di lussazione dell'1,2% nelle ricostruzioni isolate del MPFL (145). Anche revisioni più recenti confermano che la MPFL reconstruction presenta risultati favorevoli e tassi di fallimento generalmente contenuti quando l'indicazione è corretta (146),(147).

Complicanze

Nonostante gli ottimi risultati clinici, la ricostruzione del MPFL non è priva di rischi. La procedura è tecnicamente esigente, soprattutto per quanto riguarda il posizionamento del tunnel femorale e la tensione del graft (148),(144),(149). Una revisione sistematica sulle revisioni di MPFL ha identificato la malposizione del tunnel femorale come causa più frequente di revisione, seguita da displasia trocleare non trattata e frattura rotulea (150).

Una recente revisione sistematica ha evidenziato che le complicanze dopo MPFL reconstruction primaria variano dallo 0% al 32,3%, con fallimenti dallo 0% al 10,7%; le

complicanze individuate sono instabilità residua, rigidità, dolore persistente, fratture rotulee e complicanze di ferita (147).

La frattura della rotula rappresenta una complicanza rara ma importante. Il rischio aumenta quando vengono realizzati tunnel ossei troppo grandi, tunnel trasversi completi o fori multipli che indeboliscono la struttura ossea della rotula (142),(143),(147). Per questo motivo, molte tecniche moderne utilizzano tunnel ciechi, ancore di sutura o fissazioni meno invasive sul versante rotuleo (142),(143),(151).

Un'altra criticità è la mancata correzione dei fattori anatomici associati. Una ricostruzione isolata del MPFL può fallire se vengono ignorati displasia trocleare severa, patella alta, TT-TG marcatamente aumentata, valgismo importante o torsioni patologiche (139),(150). In questi casi il neo-legamento viene sottoposto a forze laterali eccessive e può andare incontro a stiramento, dolore o fallimento.

Nuova tecnica chirurgica: utilizzo del tendine quadricipitale e ancora espandibile in PEEK (152)

La tecnica descritta prevede una ricostruzione anatomica del legamento patello-femorale mediale mediante utilizzo di un lembo di tendine quadricipitale a spessore parziale, mantenuto inserito distalmente sulla rotula e fissato prossimalmente al femore mediante un dispositivo di interferenza espandibile in PEEK, privo di filettatura, denominato TenoLok Anchor.

Il razionale della tecnica deriva da due considerazioni anatomiche e biomeccaniche: da un lato, il MPFL nativo è una struttura ampia e piatta, con inserzioni estese sia sul versante rotuleo sia sul versante femorale; dall'altro, una striscia di tendine quadricipitale di circa 3 mm di spessore e 10 mm di larghezza presenta proprietà biomeccaniche simili a quelle del MPFL nativo in termini di carico massimo, carico allo snervamento e rigidità (53). Per questo motivo, il tendine quadricipitale rappresenta un innesto particolarmente coerente con la morfologia del legamento da ricostruire. Inoltre, mantenendo l'inserzione rotulea del graft, la tecnica evita tunnel ossei o mezzi di sintesi sulla rotula, riducendo il rischio di frattura rotulea, complicanza descritta in altre tecniche di fissazione patellare.

Posizionamento del paziente: Il paziente viene posto in posizione supina con laccio emostatico alla coscia. Deve essere possibile ottenere un movimento del ginocchio tra 0° e 120°. Per facilitare l'uso della fluoroscopia, l'arto controlaterale viene posizionato in litotomia.

Prelievo dell'innesto QT: Il prelievo minimamente invasivo dell'innesto di QT viene eseguito come descritto e illustrato da Fink et al. (53) utilizzando una strumentazione dedicata, nella presente tecnica viene utilizzata la strumentazione fornita da Karl Storz. Con il ginocchio flesso a 90°, viene introdotta una lama larga 2 o 3 cm e spessa 10 mm (opzionalmente 12 mm), partendo dal centro del margine superiore della rotula e procedendo prossimalmente, per ottenere un innesto lungo almeno 9 cm. Successivamente, viene utilizzato un separatore del tendine per creare l'estremità



Figura 31 Foto intraoperatoria, Isolamento e pulizia dell'innesto QT

libera dell'innesto di QT e le fibre muscolari vengono accuratamente rimosse. La striscia di tendine quadricipitale viene quindi scollata dalla superficie ossea della rotula con un angolo di 45° per consentire una rotazione di 90° sul lato mediale del ginocchio. La porzione più mediale dell'innesto viene lasciata attaccata alla superficie rotulea e fissata sul periostio con due suture non riassorbibili n. 2-0 (Ethibond Excel) per evitare ulteriore distacco dall'osso.

Preparazione e fissazione femorale: grazie all'utilizzo del coltello tendineo e del separatore (10 × 3 mm; Karl Storz), non è necessario misurare il diametro dell'innesto di QT e per la fissazione femorale viene utilizzato un TenoLok Anchor da 5 mm con una punta da trapano da 6,5 mm. Viene posizionato un filo in corrispondenza del punto di Schöttle. Successivamente, viene alesato un mezzo tunnel femorale lungo 2 cm mediante una fresa cannulata da 6,5 mm sopra il filo guida.

Viene creato un tunnel tra l'inserzione periostale rotulea e il retinacolo. Una clamp chirurgica viene introdotta nel tunnel da mediale a laterale e l'innesto viene fatto passare attraverso il tunnel. L'estremità libera dell'innesto di QT viene fatta passare attraverso l'asola di sutura alla base dell'impianto TenoLok e tensionata provvisoriamente a 20 mm distalmente rispetto al punto di Schöttle.

La tensione dell'innesto viene ricontrollata osservando la posizione e il tracking della rotula durante flessione ed estensione del ginocchio. Se l'innesto è troppo teso, il sistema viene aperto e l'innesto viene fatto scorrere lasciandolo alcuni millimetri più lungo. L'ancora e il tendine fissato vengono diretti nel foro di trapano e inseriti fino a quando l'impianto risulta a filo con la superficie corticale esterna del femore. È importante mantenere la posizione dell'innesto di QT sotto la base dell'impianto durante l'inserimento, in modo che non scivoli lateralmente al dispositivo compromettendo la fissazione. Il dispositivo viene espanso fino a percepire e udire un forte “click”, indicativo

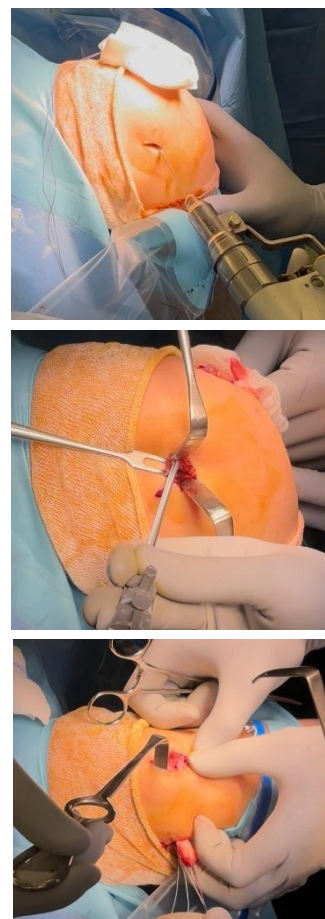


Figura 32, 33, 34. Foto intraoperatoria, posizionamento filo guida, ancoraggio TenoLok, passaggio tendine QT nel tunnel

della completa espansione dell'impianto. L'anello di ritenzione viene quindi rimosso dalle sedi dell'inseritore, il manico viene rimosso e la sutura può essere estratta dall'ancora. Al termine della procedura, la rotula deve presentare uno scivolamento medio-laterale compreso tra 2 e 9 mm.

Il trattamento postoperatorio prevede l'utilizzo di un tutore articolato con range of motion limitato tra 0° e 60° per le prime 3 settimane. In questa fase è consentito un carico sfiorante, mentre vengono incoraggiati esercizi di mobilizzazione passiva fino a un massimo di 60°. A partire dalla terza settimana si avvia la progressione del carico e il recupero completo del range articolare. Il ritorno completo agli sport pivoting è previsto tra il quarto e il quinto mese postoperatorio.

I vantaggi principali della tecnica sono rappresentati dal controllo ottimale della tensione, dall'ampia area di tenodesi, dall'utilizzo di un singolo impianto e dalla rapidità e riproducibilità della procedura. Il TenoLok permette infatti una fissazione piatta del graft grazie all'ansa di sutura posta alla base dell'impianto, senza necessità di preparare la porzione libera del tendine con suture tipo Krackow. Inoltre, l'assenza di tunnel o impianti rotulei riduce il rischio di frattura della rotula e rende la tecnica potenzialmente applicabile anche in chirurgia di revisione. Gli svantaggi includono il costo del dispositivo, la presenza di un impianto non riassorbibile in PEEK, la necessità di almeno 20 mm di socket femorale e di 20 mm di lunghezza aggiuntiva del graft rispetto al punto di Schöttle. Inoltre, tra i possibili pitfalls, vi sono il rischio teorico di osteolisi correlato al PEEK, la necessità di controllare fluoroscopicamente la fisi distale femorale nei pazienti scheletricamente immaturi e il rischio di dolore e maltracking in caso di eccessivo tensionamento del graft.

2.4 Trocleoplastica

La trocleoplastica è una procedura chirurgica di rimodellamento della troclea femorale indicata nel trattamento dell'instabilità femoro-rotulea associata a displasia trocleare di alto grado. Il razionale dell'intervento consiste nel modificare la morfologia patologica della troclea, creando o approfondendo un solco trocleare capace di accogliere la rotula durante la flessione del ginocchio e di ridurre la tendenza alla sublussazione o lussazione laterale(53),(153). Si agisce direttamente sul principale fattore osseo responsabile dell'instabilità nei pazienti con grave displasia ovvero la perdita della normale concavità trocleare e, nei casi più severi, la presenza di una prominenza sovratrocleare che durante il passaggio dall'estensione alla flessione urta contro la rotula e la devia lateralmente, con conseguente sublussazione o lussazione (154), (155).

Le tecniche oggi più utilizzate possono essere suddivise in tre gruppi principali:

- **Lyon technique:** o sulcus-deepening trochleoplasty secondo Dejour, basata sulla creazione di un nuovo solco mediante rimodellamento della troclea;
- **Thin-flap trochleoplasty:** secondo Bereiter, che prevede il sollevamento di un lembo osteocondrale sottile e modellabile;
- **Recession wedge trochleoplasty** secondo Goutallier, che mira soprattutto a ridurre l'altezza della prominenza sovratrocleare mediante resezione di un cuneo osseo (53),(156),(157),(158),(159),(160).

Indicazioni

Le indicazioni più condivise riguardano i pazienti con instabilità rotulea persistente o recidivante, refrattaria al trattamento conservativo, associata a displasia trocleare di alto grado, in particolare Dejour tipo B o tipo D, con presenza di uno sperone sovratrocleare di circa 5–7 mm all'imaging (53),(161).

La trocleoplastica deve essere considerata anche nelle procedure di revisione, soprattutto nei pazienti con displasia di Dejour tipo B o D già sottoposti a procedure isolate sui tessuti molli, come la ricostruzione del MPFL, ma con persistenza di instabilità.

Le controindicazioni principali comprendono l'artrosi femoro-rotulea avanzata, la presenza di cartilagine trocleare gravemente degenerata, osso subcondrale eburneo o sclerotico e, più in generale, condizioni nelle quali il modellamento osteocondrale rischi di provocare fratture, collasso del lembo o ulteriore danno cartilagineo (53),(162). L'im maturità scheletrica e le fisi aperte sono tradizionalmente considerate controindicazioni relative o assolute, per il rischio di arresto di crescita o deformità angolare; tuttavia, alcune esperienze riportano risultati favorevoli con tecniche selezionate anche in adolescenti prossimi alla maturità scheletrica, richiedendo comunque estrema cautela (162),(22).

Richiamo anatomico e biomeccanico

La troclea femorale rappresenta la guida ossea principale della rotula durante la flessione del ginocchio. Con l'aumentare della flessione, la congruenza ossea femoro-rotulea assume un ruolo progressivamente più importante. Nei pazienti con displasia trocleare, questa guida ossea è alterata: la troclea può essere piatta, convessa o caratterizzata da un'elevata prominente sovratrocleare, con perdita del normale effetto contenitivo, (163), (153). La morfologia alterata è descritta dalla classificazione di Dejour, i tipi B e D sono quelli nei quali la prominente ossea assume maggiore rilevanza chirurgica (53).

Dal punto di vista biomeccanico, la displasia trocleare altera la distribuzione delle pressioni femoro-rotulee e modifica la cinematica rotulea. Studi biomeccanici hanno dimostrato che le displasie di Dejour B, C e D sono associate ad aumento delle pressioni di contatto cartilaginee, riduzione dell'area di contatto e alterazioni della stabilità rotulea (153). Studi anatomici e radiologici hanno evidenziato che la trocleoplastica può migliorare parametri morfologici come profondità del solco, posizione della gola trocleare e angolo del solco (22),(164).

Valutazione preoperatoria

La valutazione preoperatoria deve definire con precisione il tipo di displasia, la presenza e l'entità dello sperone sovratrocleare, il tracking rotuleo, l'altezza rotulea, la distanza TT-TG e lo stato cartilagineo. È necessario dimostrare che la displasia trocleare sia un fattore patogenetico dominante.

L'esame obiettivo oltre ai diversi test, deve valutare in particolare il J-sign; un J-sign marcato in un paziente con Dejour B o D suggerisce che lo sperone sovratrocleare interferisca dinamicamente con il percorso della rotula (154), (53).

L'imaging ha un ruolo centrale. La radiografia laterale consente di riconoscere il *crossing sign*, lo sperone sovratrocleare e il *double contour sign*. TC e RM permettono di valutare in modo più accurato la morfologia della troclea, l'entità dello sperone, la profondità del solco, il tilt rotuleo, le lesioni cartilaginee e i rapporti femoro-rotulei.

Tecnica chirurgica e tempi operatori

Il principio comune alle diverse tecniche è ridurre la prominenza sovratrocleare e ristabilire una concavità trocleare più fisiologica, evitando al tempo stesso il danno diretto alla cartilagine articolare, l'eccessiva resezione dell'osso subcondrale e la destabilizzazione del lembo osteocondrale.

La procedura viene generalmente eseguita con paziente supino, laccio emostatico alla coscia e ginocchio mobilizzabile intraoperatoriamente. L'accesso può essere mediale o laterale parapatellare, a seconda della preferenza del chirurgo e delle procedure associate. L'esposizione deve consentire la visualizzazione completa della troclea, della prominenza sovratrocleare, dei margini condilari e del tracking rotuleo. Prima della correzione ossea è utile confermare intraoperatoriamente la presenza dello sperone e la relazione tra rotula e troclea durante il movimento (156).

Tecnica di Lione

La tecnica di Lione prevede la creazione di un lembo osteocondrale relativamente spesso, di circa 3–5 mm, ottenuto indebolendo la troclea dal versante subcondrale con una fresa ad alta velocità. L'obiettivo è rimuovere l'osso subcondrale in eccesso sotto la cartilagine trocleare, preservando un guscio osteocondrale abbastanza spesso da mantenere vitalità e stabilità, ma sufficientemente modellabile da poter essere abbassato nel nuovo letto osseo (53),(156),(165).

Dopo l'esposizione della troclea, vengono identificati i limiti della prominenza sovratrocleare e il futuro nuovo solco. Con una fresa ad alta velocità si svuota progressivamente l'osso subcondrale sotto la superficie cartilaginea, creando uno spazio che permetta al guscio osteocondrale di deformarsi senza fratturarsi. La resezione deve

essere graduale e simmetrica: una fresatura insufficiente rende il guscio troppo rigido e impedisce un adeguato abbassamento, mentre una fresatura eccessiva assottiglia il supporto subcondrale e aumenta il rischio di collasso o danno cartilagineo.

Successivamente viene eseguita un'osteotomia che crea due “shingles”, cioè due lembi osteocondrali modellabili, corrispondenti alle nuove faccette trocleari. Questi vengono abbassati e fissati nella nuova posizione mediante piccole ancore e suture riassorbibili passate sopra ciascun lato, in modo da modellare una nuova troclea più profonda (53). La fissazione deve mantenere il nuovo solco senza creare scalini cartilaginei o prominenze che possano interferire con lo scorrimento rotuleo. Al termine, il ginocchio viene flesso ed esteso per verificare il centraggio rotuleo, la scomparsa del conflitto con lo sperone sovratrocleare e l'assenza di impingement.

Tecnica di Bereiter o “thin-flap trochleoplasty”

La tecnica di Bereiter utilizza un lembo osteocondrale più sottile, generalmente di 2–3 mm, definito anche “flake” o “thin flap” (158). Il razionale è sollevare un lembo cartilagineo-subcondrale sottile e plastico, modellare un nuovo solco nell'osso sottostante e poi adagiare il lembo nel nuovo letto, fissandolo con suture riassorbibili e ancore.

Dopo l'esposizione della troclea, si delimita il lembo osteocondrale lungo i margini della superficie articolare da rimodellare. Il lembo viene sollevato dalla superficie anteriore del femore mediante fresa, osteotomi o una combinazione di strumenti. Questa fase è particolarmente delicata: il flap deve essere abbastanza sottile da essere modellabile, ma non talmente sottile da perdere continuità o andare incontro a necrosi, frattura o collasso. Una volta sollevato, si crea una nuova cavità ossea nel femore distale, modellando il letto che determinerà la profondità e la posizione del nuovo solco trocleare.

Il lembo viene quindi riposizionato e modellato all'interno del nuovo solco. La fissazione viene ottenuta con suture riassorbibili e ancore, spesso passate sopra il lembo, in modo da comprimere delicatamente la superficie osteocondrale nel letto preparato senza creare punti di iperpressione localizzati (158),(166). La forma finale deve garantire una transizione regolare tra cartilagine trocleare e cartilagine condilare, evitando spigoli o gradini che possano danneggiare la cartilagine rotulea.

Trocleoplastica artroscopica

La tecnica artroscopica secondo Blønd è una tecnica mininvasiva derivata dalla thin-flap trochleoplasty. I suoi punti chiave sono la valutazione preoperatoria della LTI, il corretto posizionamento dei portali sovrarotulei, la creazione progressiva di un flap cartilagineo elastico, il modellamento di un nuovo solco trocleare profondo circa 4,5 mm e sufficientemente lateralizzato, la fissazione stabile del flap con ancore e la corretta sequenza con la ricostruzione del MPFL. La procedura consente risultati clinici favorevoli, ma rimane tecnicamente esigente: errori nella lateralizzazione del nuovo solco, nel riconoscimento di TT-TG patologica, nella gestione del retinacolo laterale o nel tensionamento del MPFL possono determinare sublussazione residua, dolore anteriore o necessità di procedure correttive secondarie (167).

Tecnica di Goutallier o “recession wedge trochleoplasty”

La tecnica di Goutallier differisce dalle procedure di approfondimento perché il suo obiettivo principale non è creare un nuovo solco profondo, ma ridurre l'altezza dello sperone sovratrocleare. Essa prevede un'osteotomia al di sotto della troclea, con asportazione di un cuneo osseo e conservazione di una cerniera osteocondrale distale. Il segmento trocleare viene quindi abbassato o “recessed” e fissato, in genere con due o tre viti cancellose da 3,5 mm (159),(160).

Questa tecnica è particolarmente razionale nei casi in cui il problema dominante sia la prominenza anteriore della troclea più che la necessità di creare un solco profondamente concavo. Il vantaggio teorico è ridurre il bump sovratrocleare preservando una maggiore continuità della superficie articolare. Tuttavia, la correzione del solco può essere meno marcata rispetto alle tecniche di deepening, e la procedura richiede un'accurata valutazione della morfologia individuale (159),(160).

Vantaggi

Il principale vantaggio della trocleoplastica è che essa corregge direttamente la displasia trocleare di alto grado, cioè uno dei fattori anatomici più importanti dell'instabilità rotulea recidivante. Nei pazienti con grande sperone sovratrocleare, Dejour B o D e J-sign marcato, nessuna procedura sui soli tessuti molli può eliminare il conflitto meccanico tra rotula e prominente trocleare (53),(154),(168). Inoltre, migliora notevolmente la

cinematica femoro-rotulea. Gli studi biomeccanici e anatomici dimostrano che la trocleoplastica può aumentare la profondità del solco, ridurre la traslazione laterale, aumentare la stabilità e migliorare la distribuzione del contatto femoro-rotuleo (153),(22).

Un ulteriore vantaggio è la possibilità di ridurre il rischio di fallimento della ricostruzione isolata del MPFL nei pazienti con displasia severa. Quando il fattore osseo dominante non viene corretto, il graft del MPFL può essere sottoposto a forze anomale eccessive, con rischio di dolore, allungamento o recidiva. La trocleoplastica, in questi casi, modifica la morfologia articolare e riduce il carico destabilizzante sul neo-legamento (169),(168).

Svantaggi e complicanze

La trocleoplastica è una procedura tecnicamente impegnativa e non priva di rischi. Le complicanze riportate comprendono lesione della cartilagine articolare, collasso subcondrale, ipercorrezione o sottocorrezione, rigidità, artrofibrosi, dolore femoro-rotuleo persistente, recidiva di instabilità, progressione artrosica e necessità di reintervento (170),(156),(171),(172). Song et al. hanno riportato un tasso complessivo di complicanze del 13,4% dopo trocleoplastica, includendo il 6,8% di recidive di lussazione e il 65,9% di pazienti con aumento del dolore femoro-rotuleo; quasi l'8% ha sviluppato progressione dell'artrosi femoro-rotulea a un follow-up medio di 69,9 mesi (170).

La rigidità è una delle complicanze più rilevanti. In alcune casistiche è stata riportata fino al 46% dei casi, anche se studi più recenti indicano percentuali inferiori, generalmente comprese tra 0% e 20% (170),(171),(165),(172),(173). In caso di rigidità significativa, può essere necessaria una mobilizzazione in anestesia o una lisi artroscopica delle aderenze (172),(174),(173). Ad oggi, l'introduzione di protocolli riabilitativi orientati alla mobilizzazione precoce ha ridotto la necessità di LOA/MUA nella loro esperienza.

Un'altra complicanza temibile è il collasso subcondrale. Il rischio è legato al danno diretto della cartilagine durante l'osteotomia, alla lesione termica provocata dalla fresa o a un'eccessiva resezione dell'osso subcondrale. L'utilizzo di guide, misuratori di profondità e una tecnica di fresatura controllata può ridurre questo rischio, rendendo più riproducibile lo spessore del lembo osteocondrale.

3 Studio

3.1 Introduzione

La lussazione femoro-rotulea rappresenta una condizione frequente nei soggetti in età di accrescimento, con un'incidenza stimata pari a 23,2 casi ogni 100.000 persone/anno (1), (2). Il rischio di rilussazione dopo un primo episodio varia tra il 35% e il 45% e aumenta in presenza di fattori anatomici in grado di alterare la biomeccanica femoro-rotulea, tra cui patella alta, displasia trocleare, malallineamento coronale o assiale dell'arto inferiore e immaturità scheletrica (7). In presenza di instabilità rotulea recidivante, la ricostruzione chirurgica del legamento patello-femorale mediale (medial patellofemoral ligament, MPFL), isolata o associata a procedure correttive ossee nei casi selezionati, rappresenta una delle principali opzioni terapeutiche (145).

Dal punto di vista anatomico, il MPFL appartiene allo strato intermedio della regione mediale del ginocchio e presenta un'inserzione femorale situata tra l'epicondilo mediale e il tubercolo adduttorio, mentre a livello rotuleo si inserisce nella metà superiore del versante mediale della rotula. Dal punto di vista biomeccanico, esso costituisce il principale stabilizzatore passivo mediale della rotula nei primi 30° di flessione del ginocchio, contrastandone la traslazione laterale; oltre tale range, il contenimento rotuleo dipende progressivamente dalla congruenza con la troclea femorale (1),(12).

Sono state descritte numerose tecniche per la ricostruzione del MPFL. L'utilizzo di un innesto di tendine quadricipitale presenta potenziali vantaggi: evita la necessità di tunnel rotulei e le possibili complicanze correlate, quali fratture della rotula o lesioni condrali; utilizza un innesto dalla morfologia più simile al MPFL nativo; consente una ricostruzione anatomica; permette di preservare i tendini ischiocrurali per eventuali successive procedure ricostruttive (170).

3.2 Obiettivo dello studio

Lo scopo del presente studio è valutare i risultati clinico-funzionali e la stabilità rotulea di una coorte di pazienti in età di accrescimento affetti da instabilità femoro-rotulea recidivante e sottoposti a ricostruzione del MPFL mediante innesto di tendine quadricipitale. L'analisi si concentra sulla variazione del Lysholm Knee Score, della visual analogue scale (VAS) per il dolore e del livello di attività valutato mediante Tegner Activity Scale tra la condizione preoperatoria e il follow-up registrato come un anno e successivamente a due anni, la variazione dell'indice di Caton-Deschamps e la comparsa di rilussazioni rotulee a due anni.

3.3 Materiali e metodi

È stato condotto uno studio osservazionale retrospettivo monocentrico, su pazienti in età di accrescimento, sottoposti a ricostruzione del MPFL mediante innesto di tendine quadricipitale per instabilità femoro-rotulea recidivante, presso la Clinica Ortopedica e Traumatologica dell'Azienda Ospedaliero-Universitaria delle Marche di Ancona, nel periodo compreso tra il 21 dicembre 2022 e il 14 maggio 2026.

I dati clinici sono stati analizzati in forma anonimizzata. La raccolta dei patient-reported outcome measures è stata effettuata mediante contatto telefonico dei pazienti e, nei soggetti minorenni, con il coinvolgimento del genitore. Lo studio è stato condotto nel rispetto dei principi della Dichiarazione di Helsinki e della normativa vigente in materia di protezione dei dati personali.

3.4 Disegno dello studio e selezione della popolazione

I pazienti sono stati identificati mediante revisione del database di reparto relativo ai soggetti sottoposti a trattamento chirurgico per instabilità o lussazione rotulea. Dopo l'esclusione di due voci riferite a lista d'attesa, sono stati identificati 17 pazienti sottoposti a intervento chirurgico. Sette pazienti sono stati esclusi poiché trattati mediante tecniche differenti dalla ricostruzione MPFL con innesto quadricipitale. Dei 10 pazienti sottoposti alla tecnica QTE nel periodo compreso tra il 21 dicembre 2022 e il 14 maggio 2026, tre pazienti operati tra marzo e maggio 2026 sono stati esclusi dalla coorte analitica per indisponibilità di una valutazione postoperatoria al momento della raccolta dati, conseguente alla recente esecuzione dell'intervento. La popolazione finale analizzata comprendeva pertanto 7 pazienti con follow-up postoperatorio disponibile.

Tabella 3. *Processo di selezione della coorte chirurgica QTE e definizione della coorte analitica con follow-up disponibile.*

Passaggio di selezione	n
Registrazioni iniziali nel database relativo all'instabilità/lussazione rotulea	19
Escluse: voci riferite a paziente in lista d'attesa	2
Pazienti sottoposti a intervento chirurgico dopo pulizia del database	17
Esclusi: tecniche differenti dalla ricostruzione MPFL con innesto quadricipitale	7
Pazienti identificati nella coorte chirurgica MPFL-QTE (21/12/2022-14/05/2026)	10
Esclusi dall'analisi degli outcome: follow-up postoperatorio non ancora disponibile per recente intervento	3
Pazienti inclusi nella coorte analitica con follow-up disponibile	7
Pazienti con follow-up registrato come 2 anni	7

MPFL: medial patellofemoral ligament; QTE: innesto di tendine quadricipitale. Le tre pazienti escluse dalla coorte analitica erano state sottoposte a intervento nel 2026 e non disponevano ancora di valutazione postoperatoria al momento della raccolta dati.

3.5 Raccolta dati

Per ciascun paziente incluso sono state raccolte le caratteristiche demografiche e cliniche disponibili, comprendenti sesso, età al momento dell'intervento, body mass index (BMI), tipo di attività sportiva praticata, livello di attività secondo Tegner e tecnica chirurgica eseguita.

I pazienti selezionati sono stati contattati telefonicamente per la compilazione dei questionari clinico-funzionali. In occasione del contatto, è stato inoltre chiesto al paziente di ricostruire, sulla base del proprio ricordo, la condizione clinica e funzionale precedente all'intervento, allo scopo di consentire un inquadramento generale del quadro preoperatorio. I punteggi preoperatori riportati nella presente analisi sono pertanto dati retrospettivi riferiti dal paziente e devono essere interpretati tenendo conto del possibile bias di richiamo.

La valutazione funzionale longitudinale è stata basata su Lysholm Knee Score, VAS e Tegner Activity Scale, raccolti in fase preoperatoria e ai follow-up riportati nel database come un anno e due anni. Il **Lysholm Knee Score** (Allegato 1) esprime la funzione del ginocchio con un punteggio da 0 a 100, con valori più elevati indicativi di migliore funzione; la **VAS** (Allegato 2) valuta il dolore soggettivo con un punteggio da 0, corrispondente ad assenza di dolore, a 10, corrispondente al massimo dolore riferito; la **Tegner Activity Scale** (Allegato 3) classifica il livello di attività sportiva e funzionale con un punteggio da 0 a 10. Il **Kujala Score** (Allegato 4) è stato raccolto esclusivamente per la valutazione preoperatoria ed è stato pertanto utilizzato soltanto come parametro descrittivo basale, senza confronto longitudinale.

Ai fini dell'analisi, i valori riportati nel database nelle colonne identificate come follow-up a un anno e a due anni sono stati considerati appartenenti ai rispettivi time-point osservazionali. La comparsa di episodi di nuova lussazione rotulea dopo l'intervento è stata rilevata come rilussazione a due anni.

Tramite imaging preoperatorio e postoperatorio è stato calcolato l'indice di Caton-Deschamps, definito come il rapporto tra la distanza tra il polo inferiore della superficie articolare rotulea e l'angolo antero-superiore della tibia e la lunghezza della superficie articolare rotulea. Valori superiori a 1,3 sono stati considerati indicativi di patella alta (32).

3.5.1 Endpoint dello studio

Gli endpoint dello studio sono stati rappresentati dalla variazione del Lysholm Knee Score, della VAS e del Tegner Activity Level tra la valutazione preoperatoria e il follow-up registrati come un anno e due anni. Inoltre, è stata studiata la variazione dell'indice di Caton-Deschamps da preoperatorio ad un anno e la comparsa di rilussazioni rotulee a due anni.

3.5.2 Analisi statistica

Le variabili categoriche sono state descritte mediante frequenze assolute e percentuali, mentre le variabili quantitative continue e gli score clinico-funzionali sono stati riportati come media, deviazione standard (DS) e range, espresso come valore minimo e valore massimo. Per ciascuna analisi è stato indicato il numero di pazienti con dati disponibili.

Il confronto tra i punteggi preoperatori e quelli rilevati al follow-up registrato come un anno è stato effettuato mediante test dei ranghi con segno di Wilcoxon per campioni appaiati, applicato al Lysholm Knee Score, alla VAS e al Tegner Activity Level. In maniera analoga è stato svolto con i valori corrispondenti al follow-up di due anni.

Il confronto dell'indice di Caton-Deschamps è stato effettuato mediante test dei ranghi con segno di Wilcoxon per campioni appaiati. La frequenza di rilussazioni rotulee è stata descritta mediante frequenza assoluta e percentuale sul numero di pazienti con follow-up disponibile.

Tutti i test statistici sono stati condotti a due code; un valore di $p < 0,05$ è stato considerato indicativo di significatività statistica. Le elaborazioni sono state effettuate mediante Python, utilizzando le librerie NumPy e SciPy.

3.5.3 Caratteristiche clinico-demografiche e chirurgiche della coorte

La coorte analitica comprendeva 7 pazienti sottoposti a ricostruzione MPFL con innesto di tendine quadricipitale e con follow-up postoperatorio disponibile, selezionati da una coorte chirurgica QTE complessiva di 10 pazienti. L'età media al momento dell'intervento era pari a $13,1 \pm 1,5$ anni, con range 12–16. Sei pazienti erano di sesso femminile (85,7%) e un paziente era di sesso maschile (14,3%). Il BMI medio era pari a $20,7 \pm 2,3$ kg/m², con range 18–25 kg/m².

Per quanto riguarda i punteggi clinici preoperatori, il Kujala Score medio era pari a $85,6 \pm 24,2$, con range 34–100; il Lysholm Knee Score medio era pari a $84,9 \pm 26,4$, con range 28–100; la VAS media era pari a $1,7 \pm 2,4$ con range 0–6. Le differenti varianti di ricostruzione mediante innesto quadricipitale sono state considerate appartenenti alla stessa coorte: in 3 pazienti (42,9%) era riportata la dicitura QUAD, in 2 (28,6%) QUAD + JuggerKnot, in 1 (14,3%) QUAD + TenoLok e in 1 (14,3%) QUAD + vite.

Tabella 4. *Caratteristiche clinico-demografiche e funzionali preoperatorie della coorte*

Variabile	Coorte MPFL-QTE (n = 7)
Età all'intervento, anni	$13,1 \pm 1,5$ [12–16]
Sesso femminile	6 (85,7%)
Sesso maschile	1 (14,3%)
BMI, kg/m ²	$20,7 \pm 2,3$ [18–25]
Tegner Activity Level preoperatorio	$3,4 \pm 1,1$ [2–5]
Kujala Score preoperatorio	$85,6 \pm 24,2$ [34–100]
Lysholm Knee Score preoperatorio	$84,9 \pm 26,4$ [28–100]
VAS preoperatoria	$1,7 \pm 2,4$ [0–6]

I dati sono espressi come media $\pm$ deviazione standard [range] oppure come frequenza assoluta e percentuale, n (%). BMI: body mass index; DS: deviazione standard; VAS: visual analogue scale.

3.6 Risultati:

3.6.1 Outcome clinico-funzionali al follow-up un anno

I dati necessari per il confronto tra la condizione preoperatoria e il follow-up registrato come un anno erano disponibili per tutti i 7 pazienti inclusi. Il Lysholm Knee Score medio era pari a $84,9 \pm 26,4$ [28–100] in fase preoperatoria e a $90,3 \pm 14,3$ [60–100] al follow-up, senza differenze statisticamente significative ($p = 0,813$). La VAS media era pari a $1,7 \pm 2,4$ [0–6] in fase preoperatoria e a $1,9 \pm 1,3$ [0–4] al follow-up, senza differenze statisticamente significative ($p = 1,000$).

Il Tegner Activity Level medio era pari a $3,4 \pm 1,1$ [2–5] in fase preoperatoria e a $4,0 \pm 1,3$ [3–6] al follow-up registrato come un anno; il confronto non ha evidenziato differenze statisticamente significative ($p = 0,500$). Il Kujala Score non è stato raccolto nel periodo postoperatorio ed è stato pertanto escluso dall'analisi longitudinale.

Tabella 5. Outcome clinico-funzionali preoperatori e al follow-up registrato a un anno.

Outcome	Preoperatorio	1 anno	p value*
Lysholm Knee Score	$84,9 \pm 26,4$ [28–100]	$90,3 \pm 14,3$ [60–100]	0,813
VAS	$1,7 \pm 2,4$ [0–6]	$1,9 \pm 1,3$ [0–4]	1,000
Tegner Activity Level	$3,4 \pm 1,1$ [2–5]	$4,0 \pm 1,3$ [3–6]	0,500
Kujala Score	$85,6 \pm 24,2$ [34–100]	Non raccolto	n.a.

*Dati espressi come media $\pm$ DS [range], calcolati sui 7 pazienti con follow-up a un anno disponibile. *Test dei ranghi con segno di Wilcoxon per campioni appaiati. VAS: visual analogue scale; n.a.: non applicabile.*

3.6.2 Livello di attività secondo Tegner

Analizzando la distribuzione dei livelli di attività secondo Tegner, in fase preoperatoria 1 paziente (14,3%) presentava Tegner livello 2, 4 pazienti (57,1%) Tegner livello 3 e 2 pazienti (28,6%) Tegner livello 5. Al follow-up registrato come un anno, 4 pazienti (57,1%) presentavano Tegner livello 3, 2 pazienti (28,6%) Tegner livello 5 e 1 paziente (14,3%) Tegner livello 6. La stessa distribuzione è stata osservata al follow-up registrato come due anni. Il Tegner Activity Level medio è passato da $3,4 \pm 1,1$ [2–5] nel preoperatorio a $4,0 \pm 1,3$ [3–6] sia al follow-up registrato come un anno sia al follow-up registrato come due anni; il confronto appaiato con il valore preoperatorio non ha evidenziato differenze statisticamente significative ($p = 0,500$ in entrambi i confronti). In termini di variazione individuale, a entrambi i follow-up 6 pazienti mantenevano lo stesso livello di attività preoperatorio, 1 paziente presentava un incremento del Tegner Activity Level e nessun paziente mostrava una riduzione del livello di attività.

Tabella 6. *Distribuzione del Tegner Activity Level nel preoperatorio, al follow-up registrato come un anno e al follow-up registrato come due anni:*

Tegner Activity Level	Preoperatorio, n (%)	1 anno, n (%)	2 anni, n (%)
Livello 2	1 (14,3%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)
Livello 3	4 (57,1%)	4 (57,1%)	4 (57,1%)
Livello 5	2 (28,6%)	2 (28,6%)	2 (28,6%)
Livello 6	0 (0,0%)	1 (14,3%)	1 (14,3%)

Dati espressi come n (%), calcolati sui 7 pazienti inclusi nella coorte analitica. Il confronto statistico del Tegner Activity Level è stato eseguito mediante test dei ranghi con segno di Wilcoxon per campioni appaiati, confrontando i valori di follow-up con il valore preoperatorio.

3.6.3 Rilussazioni rotulee

Nel corso del follow-up a due anni, nessuno dei 7 pazienti inclusi ha riportato episodi di rilussazione rotulea dopo ricostruzione del MPFL mediante innesto di tendine quadricipitale. Il tasso osservato di rilussazione nella coorte analizzata è stato pertanto pari allo 0,0%.

Tabella 7. *Comparsa di rilussazione rotulea nei pazienti in follow-up a due anni.*

Outcome	Pazienti valutabili	n (%)
Rilussazione rotulea postoperatoria	7	0 (0,0%)
Assenza di rilussazione documentata	7	7 (100,0%)

Il denominatore comprende i pazienti con follow-up registrato come due anni disponibile.

3.6.4 Valutazione radiografica: indice di Caton-Deschamps

Considerando la valutazione radiografica invece, il valore medio dell'indice era pari a $1,26 \pm 0,40$ [0,86–1,82] nel preoperatorio e a $1,11 \pm 0,41$ [0,83–1,73] nel postoperatorio a un anno dall'intervento. Il confronto esplorativo non ha evidenziato una differenza statisticamente significativa ($p = 0,125$). Un valore indicativo di patella alta, definito come indice superiore a 1,3, era presente in 1 paziente su 4 sia prima sia dopo l'intervento.

Tabella 8. *Indice di Caton-Deschamps*

Variabile	Preoperatorio	Postoperatorio	p*
Indice di Caton-Deschamps	$1,26 \pm 0,40$ [0,86–1,82]	$1,11 \pm 0,41$ [0,83–1,73]	0,125
Patella alta, indice > 1,3	1/4 (25,0%)	1/4 (25,0%)	n.a.

*Dati espressi come media $\pm$ DS [range] oppure frequenza assoluta/numero valutabile (%). *Test dei ranghi con segno di Wilcoxon per campioni appaiati, interpretato in senso esplorativo per la ridotta numerosità del sottogruppo; n.a.: non applicabile.*

3.6.5 Outcome clinico-funzionali al follow-up due anni

Il follow-up registrato come due anni era disponibile per tutti i 7 pazienti inclusi nella coorte analitica. Il Lysholm Knee Score medio era pari a $99,1 \pm 2,3$ [94–100], la VAS media era pari a $0,3 \pm 0,8$ [0–2] e il Tegner Activity Level medio era pari a $4,0 \pm 1,3$ [3–6]. Il confronto con i rispettivi valori preoperatori, eseguito mediante test dei ranghi con segno di Wilcoxon per campioni appaiati, non ha evidenziato differenze statisticamente significative per Lysholm Knee Score ($p = 0,250$), VAS ($p = 0,375$) e Tegner Activity Level ($p = 0,500$). Il Kujala Score non è stato raccolto nel periodo postoperatorio ed è stato pertanto escluso dall'analisi longitudinale.

Tabella 9: Outcome clinico-funzionali preoperatori e al follow-up registrato a due anni

Outcome	Preoperatorio	2 anni	p value*
Lysholm Knee Score	$84,9 \pm 26,4$ [28–100]	$99,1 \pm 2,3$ [94–100]	0,250
VAS	$1,7 \pm 2,4$ [0–6]	$0,3 \pm 0,8$ [0–2]	0,375
Tegner Activity Level	$3,4 \pm 1,1$ [2–5]	$4,0 \pm 1,3$ [3–6]	0,500
Kujala Score	$85,6 \pm 24,2$ [34–100]	Non raccolto	n.a.

Dati espressi come media $\pm$ DS [range], calcolati sui 7 pazienti con follow-up a due anni disponibile.

**Test dei ranghi con segno di Wilcoxon per campioni appaiati, confronto tra valore preoperatorio e follow-up registrato come due anni. DS: deviazione standard; VAS: visual analogue scale; n.a.: non applicabile.*

3.7 Discussione

Il principale risultato dello studio è rappresentato dal buon esito clinico complessivo osservato dopo ricostruzione del MPFL mediante innesto di tendine quadricipitale. Al follow-up registrato come un anno, i pazienti presentavano valori favorevoli degli score clinico-funzionali, con un Lysholm Knee Score medio pari a $90,3 \pm 14,3$ [60–100], una VAS media pari a $1,9 \pm 1,3$ [0–4] e un Tegner Activity Level medio pari a $4,0 \pm 1,3$ [3–6]. Al follow-up registrato come due anni, disponibile per 7 pazienti, i risultati si mantenevano favorevoli, con Lysholm Knee Score medio pari a $99,1 \pm 2,3$ [94–100], VAS media pari a $0,3 \pm 0,8$ [0–2] e Tegner Activity Level medio pari a $4,0 \pm 1,3$ [3–6]. Il confronto appaiato con i valori preoperatori non ha evidenziato differenze statisticamente significative per nessuno degli outcome clinico-funzionali analizzati a due anni.

Il dato di maggiore rilevanza clinica rimane l'assenza di episodi di rilussazione rotulea nel follow-up disponibile. Questo risultato è direttamente coerente con il razionale biomeccanico della ricostruzione del MPFL, il cui obiettivo principale è ripristinare il più importante stabilizzatore passivo mediale della rotula e contrastarne la traslazione laterale nei primi gradi di flessione. Pertanto, nella valutazione dell'efficacia della procedura, la mancata comparsa di nuovi episodi di lussazione rappresenta un outcome particolarmente significativo e direttamente correlato al razionale dell'intervento.

La mancata evidenza di differenze statisticamente significative negli score clinico-funzionali sia al follow-up registrato come un anno sia al follow-up registrato come due anni non deve essere interpretata come assenza di beneficio clinico. Nel presente studio, tale valutazione riflette il fatto che, prima degli episodi traumatici o delle rilussazioni che hanno determinato l'indicazione chirurgica, i pazienti inclusi presentavano una funzione del ginocchio complessivamente conservata. Questo aspetto è confermato dagli elevati valori basali del Lysholm Knee Score e del Kujala Score e dalla bassa VAS preoperatoria. Di conseguenza, la possibilità di documentare un miglioramento quantitativo rilevante dopo l'intervento risulta limitata; i risultati devono quindi essere interpretati soprattutto come recupero e mantenimento della funzione clinica vicino o al pari della condizione precedente al trauma.

In questa prospettiva, anche il Tegner Activity Level fornisce un'informazione clinicamente rilevante. Il valore medio è risultato pari a $4,0 \pm 1,3$ [3–6] sia al follow-up registrato come un anno sia al follow-up registrato come due anni, senza riduzione rispetto al livello preoperatorio medio. Inoltre, la distribuzione dei livelli Tegner si è mantenuta sovrapponibile tra il primo e il secondo anno di follow-up: nessun paziente ha presentato una riduzione del livello di attività, 6 pazienti hanno mantenuto lo stesso livello preoperatorio e 1 paziente ha mostrato un incremento. Tale andamento suggerisce che la stabilizzazione chirurgica non abbia comportato una limitazione dell'attività riferita dai pazienti e che il controllo dell'instabilità sia stato ottenuto senza una perdita funzionale apprezzabile.

I risultati osservati appaiono coerenti con quanto riportato nelle principali esperienze cliniche dedicate all'impiego del tendine quadricipitale per la ricostruzione del MPFL nei soggetti in età di accrescimento riportate in letteratura (175),(176).

Il presente studio presenta inevitabilmente alcuni limiti. Il principale è rappresentato dalla ridotta numerosità campionaria. Inoltre, la natura retrospettiva dello studio e la raccolta di alcuni dati preoperatori mediante rivalutazione telefonica possono introdurre possibili bias di memoria. Tuttavia, la coorte analizzata rappresenta una popolazione omogenea per tecnica chirurgica e per età di accrescimento, permettendo una prima valutazione dei risultati ottenuti con questa procedura nel nostro Centro.

3.8 Conclusioni

I risultati ottenuti risultano clinicamente promettenti. In una popolazione di pazienti in età di accrescimento con instabilità rotulea recidivante, la ricostruzione del MPFL mediante innesto di tendine quadricipitale si è associata a buona funzione clinica, dolore assente o contenuto, mantenimento del livello di attività e assenza di episodi di rilussazione nel follow-up disponibile.

Anche al follow-up registrato come due anni, gli outcome clinico-funzionali si sono mantenuti favorevoli, pur senza raggiungere differenze statisticamente significative rispetto ai valori preoperatori. Questo dato deve essere interpretato alla luce della ridotta numerosità campionaria e degli elevati valori funzionali basali, che limitano la possibilità di documentare un miglioramento quantitativo marcato.

Tali osservazioni sono concordanti con le casistiche pubblicate su popolazioni numericamente più ampie e sostengono il razionale anatomico e chirurgico della tecnica. Sarà necessario proseguire lo studio ampliando la numerosità della coorte e mantenendo un follow-up più lungo, al fine di confermare la stabilità dei risultati clinico-funzionali e l'efficacia della procedura nella prevenzione delle rilussazioni rotulee.

4 Bibliografia

1. Arendt EA, Fithian DC, Cohen E. Current concepts of lateral patella dislocation. Clin Sports Med. 2002 Jul 1;21(3):499–519. doi:10.1016/S0278-5919(02)00031-5 PubMed PMID: 12365240.
2. Sanders TL, Pareek A, Hewett TE, Stuart MJ, Dahm DL, Krych AJ. Incidence of First-Time Lateral Patellar Dislocation: A 21-Year Population-Based Study. Sports Health. 2017 Mar 1;10(2):146–51. doi:10.1177/1941738117725055 PubMed PMID: 28795924.
3. Schutzer SF, Ramsby GR, Fulkerson JP. The evaluation of patellofemoral pain using computerized tomography. A preliminary study. Clin Orthop Relat Res. 1986;204:286–93.
4. Dejour D, Levigne C, Dejour H. Postoperative low patella. Treatment by lengthening of the patellar tendon. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot. 1995;81(4):286–95.
5. Post WR, Fithian DC. Patellofemoral Instability: A Consensus Statement From the AOSSM/PFF Patellofemoral Instability Workshop. Orthop J Sports Med. 2018 Jan 11;6(1):2325967117750352. doi:10.1177/2325967117750352 PubMed PMID: 29410972.
6. Senavongse W, Amis AA. The effects of articular, retinacular, or muscular deficiencies on patellofemoral joint stability: a biomechanical study in vitro. J Bone Joint Surg Br. 2005;87(4):577–82.
7. 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(1):56–62.
8. Desio SM, Burks RT, Bachus KN. Soft tissue restraints to lateral patellar translation in the human knee. Am J sports Med. 1998;26(1):59–65.
9. Philippot R, Boyer B, Testa R, Farizon F, Moyon B. The role of the medial ligamentous structures on patellar tracking during knee flexion. Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy . 2012;20(2):331–6.

10. Fithian DC, Balen PF, Stone ML, Daniel DM, Mishra DK. Instrumented measurement of patellar mobility. *Am J Sports Med.* 1995;23(5):607–15.
11. Carson WG Jr, James SL, Larson RL, Singer KM, Winternitz WW. Patellofemoral disorders: physical and radiographic evaluation. Part II: Radiographic examination. *Clin Orthop Relat Res.* 1984;185:178–86.
12. Nomura E, Inoue M, Kobayashi S. Generalized joint laxity and contralateral patellar hypermobility in unilateral recurrent patellar dislocators. *Arthroscopy.* 2006;22(8):861–5.
13. Dejour H, Walch G, Nove-Josserand L, Guier C. Factors of patellar instability: an anatomic radiographic study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1994;2:19–26.
14. Tanaka MJ. Editorial commentary: which came first, the patella or the trochlea? Morphological relationships in patients with patellar instability. *Arthroscopy.* 2018;34(6):1929–30.
15. Senavongse W, Farahmand F, Jones J, Andersen H, Bull AMJ, Amis AA. Quantitative measurement of patellofemoral joint stability: force-displacement behavior of the human patella in vitro. *J Orthop Res.* 2003;21(5):780–6.
16. Shih Y-F, Bull AMJ, Amis AA. The cartilaginous and osseous geometry of the femoral trochlear groove. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2004;12(4):300–6.
17. Dejour H, Walch G, Neyret P, Adeleine P. Dysplasia of the femoral trochlea. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1990;76(1):45–54.
18. Drew D. Dislocation of the patella; operation; cure. *Proc R Soc Med.* 1908;1:11–3.
19. Pollard B. Old dislocation of patella reduced by intrarticular operation. *Lancet.* 1891;1:1–988.
20. Dejour D, Le Coultre B. Osteotomies in patello-femoral instabilities. *Sports Med Arthrosc Rev.* 2007;15(1):39–46.

21. Yamada Y, Toritsuka Y, Yoshikawa H, Sugamoto K, Horibe S, Shino K. Morphological analysis of the femoral trochlea in patients with recurrent dislocation of the patella using three-dimensional computer models. *J Bone Joint Surg Br.* 2007;89(6):746–51.
22. Amis AA, Oguz C, Bull AMJ, Senavongse W, Dejour D. The effect of trochleoplasty on patellar stability and kinematics: a biomechanical study in vitro. *J Bone Joint Surg Br.* 2008;90(7):864–9.
23. Dejour D, Ferrua P, Ntagiopoulos PG, Radier C, Hulet C, Rémy F, et al. The introduction of a new MRI index to evaluate sagittal patellofemoral engagement. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2013;99:391–8.
24. Thévenin-Lemoine C, Ferrand M, Courvoisier A, Damsin J-P, Ducou le Pointe H, Vialle R. Is the Caton-Deschamps index a valuable radio to investigate patellar height in children? *J Bone Joint Surg Am.* 2011;93(8):e35.
25. Guilbert S, Chassing V, Radier C, Hulet C, Rémy F, Dejour D. Axial MRI index of patellar engagement: a new method to assess patellar instability. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2013;99(8):399–405.
26. Yamaguchi GT, Zajac FE. A planar model of the knee joint to characterize the knee extensor mechanism . *JBiomech.* 1989;22(1):1–10.
27. Insall J, Goldberg V, Salvati E. Recurrent dislocation and the high-riding patella. *Clin Orthop Relat Res.* 1972;88:67–9.
28. Blackburne JS, Peel TE. A new method of measuring patellar height. *J Bone Joint Surg Br.* 1977;59(2):241–3.
29. Hirokawa S. Three-dimensional mathematical model analysis of the patellofemoral joint. *J Biomech.* 1991;24(8):659–71.
30. Luyckx T, Didden K, Vandenuecker H, Labey L, Innocenti B, Bellemans J. Is there a biomechanical explanation for the anterior knee pain in patients with patella alta? Influence of patella height on patellofemoral contact force, contact area and contact pressure. *J Bone Joint Surg Br.* 2009;91(3):344–50.

31. 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(9):1749–55.
32. Singerman R, Davy DT, Goldberg VM. Effects of patella alta and patella infera on patellofemoral contact forces. *J Biomech.* 1994;27(8):1056–65.
33. Blaimont P, Schoon R. À propos de deux cas de gonarthrose associée à un vice de torsion interne du tibia. *Acta Orthop Belg.* 1977;43:476–80.
34. Eckhoff DG, Montgomery WK, Kilcoyne RF, Stamm ER. Femoral morphometry and anterior knee pain. *Clin Orthop Relat Res.* 1994;302:64–8.
35. Lee TQ, Anzel SH, Bennett KA, Pang D, Kim WC. The influence of fixed rotational deformities of the femur on the patellofemoral contact pressures in human cadaver knees. *Clin Orthop Relat Res.* 1994;(302):69–74.
36. Weber U. Malrotation of distal femur. *Z Orthop Ihre Grenzgeb.* 1977;115:707–15.
37. Takai S, Sakakida K, Yamashita F, Suzu F, Izuta F. Rotational alignment of the lower limb in osteoarthritis of the knee. *Int Orthop.* 1985;9:209–15.
38. Brattstrom H. Shape of the intercondylar groove normally and in recurrent dislocation of patella. A clinical and X-ray-anatomical investigation. *Acta Orthop Scand Suppl.* 1964;68:1–148.
39. Powers CM, Ward SR, Fredericson M, Guillet M, Shellock FG. 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.* 2003;33:677–85.
40. Goutallier D, Bernageau J, Lecudonnec B. The measurement of the tibial tuberosity: patella groove distanced technique and results. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1978;64(5):423–8.
41. Carlson VR, Sheehan FT, Shen A, Yao L, Jackson JN, Boden BP. The relationship of static tibial tubercle-trochlear groove measurement and dynamic patellar tracking. *Am J Sports Med.* 2017;45(8):1856–63.

42. van Kampen A, Huiskes R. The three-dimensional tracking pattern of the human patella. *J Orthop Res.* 1990;8(3):372–82.
43. Hsieh MS, Jackson WT, Saddemi SR, Hsieh YE. Effects of tibial rotations on patellar tracking and patello-femoral contact areas. *J Biomed Eng.* 1992;14(4):329–43.
44. Fujikawa K, Seedhom BB, Wright V. Biomechanics of the patello-femoral joint. Part II: A study of the effect of simulated femoro-tibial varus deformity on the congruity of the patello-femoral compartment and movement of the patella. *Eng Med.* 1983;12:13–21.
45. Coscia PL, Fenoglio E, Cerlon C, Mautino F. Fisiopatologia delle lesioni degenerative del ginocchio nei vizi di torsione tibiale. *Minerva Ortop.* 1983;34:497–504.
46. Worlicek M, Moser B, Maderbacher G, Zentner R, Zeman F, Grifka J, et al. The influence of varus and valgus deviation on patellar kinematics in healthy knees: an exploratory cadaver study. *Knee.* 2017;24(4):711–7.
47. Smith TO, Clark A, Neda S, Arendt EA, Post WR, Garsleane PR, et al. The intra- and inter-observer reliability of the physical examination methods used to assess patients with patellofemoral joint instability. *Knee.* 2012;12(4):404–10.
48. Brattstrom H. Patella alta in non-dislocating knee joints. *Acta Orthop Scand.* 1970;41:578–88.
49. Beighton P, Horan F. Orthopaedic aspects of the Ehlers-Danlos syndrome. *J Bone Joint Surg Br.* 1969;51(3):444–53.
50. Shakespeare D, Fick D. Patellar instability—can the TT-TG distance be measured clinically? *Knee.* 2005;12(3):201–4.
51. Boden BP, Pearsall AW, Garrett WE Jr, Feagin JA Jr. Patellofemoral instability: evaluation and management. *J Am Acad Orthop Surg.* 1997;5(1):47–57.
52. Nonweiler DE, DeLee JC. The diagnosis and treatment of medial subluxation of the patella after lateral retinacular release. *Am J sports Med.* 1994;22(5):680–6.

53. Dejour D, Saggin P. The sulcus deepening trochleoplasty-the Lyon's procedure. *Int Orthop*. 2010;34(2):311–6.
54. Steensen RN, Bentley JC, Trinh TQ, Backes JR, Wiltfong RE. The prevalence and combined prevalences of anatomic factors associated with recurrent patellar dislocation: a magnetic resonance imaging study. *Am J Sports Med*. 2015;43(4):921–7.
55. Carrillon Y, Abidi H, Dejour D, Fantino O, Moyon B, Tran-Minh VA. Patellar instability: assessment on MR images by measuring the lateral trochlear inclination-initial experience. *Radiology*. 2000;216(2):582–5.
56. Paiva M, Blond L, Holmich P, Steensen RN, Diederichs G, Feller JA. Quality assessment of radiological measurements of trochlear dysplasia: a literature review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2018;26(3):746–55.
57. Pfirrmann CW, Zanetti M, Romero J, Hodler J. Femoral trochlear dysplasia: MR findings. *Radiology*. 2000;216(3):858–64.
58. Miller TT, Staron RB, Feldman F. Patellar height on sagittal MR imaging of the knee. *Am J Roentgenol*. 1996;167(2):339–41.
59. Shabshin N, Schweitzer ME, Morrison WB, Parker L. MRI criteria for patella alta and baja. *Skelet Radiol*. 2004;33(8):445–50.
60. Biedert RM, Albrecht S. The patellotrochlear index: a new index for assessing patellar height. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2006;14(8):707–12.
61. Ali SA, Helmer R, Terk MR. Patella alta: lack of correlation between patellotrochlear cartilage congruence and commonly used patellar height ratios. *AJR Am J Roentgenol*. 2009;193(5):1361–6.
62. Staubli HU, Durrenmatt U, Porcellini B, Rauschning W. Anatomy and surface geometry of the patellofemoral joint in the axial plane. *J Bone Joint Surg Br*. 1999;81(3):452–8.

63. Munch JL, Sullivan JP, Nguyen JT, Mintz D, Green DW, Shubin Stein BE. Patellar articular overlap on MRI is a simple alternative to conventional measurements of patellar height. *Orthop J Sports Med.* 2016;4(7):2325967116656328.
64. Kujala UM, Osterman K, Kormano M, Nelimarkka O, Hurme M, Taimela S. Patellofemoral relationships in recurrent patellar dislocation. *J Bone Joint Surg Br.* 1989;71(5):788–92.
65. Neyret P, Robinson AHN, Le Coultre B, Lapra C, Chambat P. Patellar tendon length - the factor in patellar instability? *Knee.* 2002;9(1):3–6.
66. Navali AM, Jafarabadi MA. Is there any correlation between patient height and patellar tendon length? *Arch Bone Joint Surg.* 2015;3(2):99–103.
67. Skelley N, Friedman M, McGinnis M, Smith C, Hillen T, Matava M. Inter- and intraobserver reliability in the MRI measurement of the tibial tubercle-trochlear groove distance and trochlea dysplasia. *Am J Sports Med.* 2015;43(4):873–8.
68. Ho CP, James EW, Surowiec RK, Gatlin CC, Ellman MB, Cram TR. Systematic technique-dependent differences in CT versus MRI measurement of the tibial tubercle-trochlear groove distance. *Am J Sports Med.* 2015;43(3):675–82.
69. Schoettle PB, Zanetti M, Seifert B, Pfirrmann CW, Fucentese SF, Romero J. The tibial tuberosity-trochlear groove distance; a comparative study between CT and MRI scanning. *Knee.* 2006;13(1):26–31.
70. Anley CM, Morris G V, Saithna A, James SL, Snow M. Defining the role of the tibial tubercle-trochlear groove and tibial tubercle-posterior cruciate ligament distances in the work-up of patients with patellofemoral disorders. *Am J Sports Med.* 2015;43(6):1348–53.
71. Seitlinger G, Scheurecker G, Hogler R, Labey L, Innocenti B, Hofmann S. Tibial tubercle-posterior cruciate ligament distance: a new measurement to define the position of the tibial tubercle in patients with patellar dislocation. *Am J Sports Med.* 2012;40(5):1119–25.
72. Daynes J, Hinckel BB, Farr J. Tibial tuberosity-posterior cruciate ligament distance. *J Knee Surg.* 2016;29(6):471–7.

73. Boutris N, Delgado DA, Labis JS, McCulloch PC, Lintner DM, Harris JD. Current evidence advocates use of a new pathologic tibial tubercle-posterior cruciate ligament distance threshold in patients with patellar instability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018;26(9):2733–42.
74. Staheli LT, Corbett M, Wyss C, King H. Lower-extremity rotational problems in children. Normal values to guide management. *J Bone Joint Surg Am.* 1985;67(1):39–47.
75. Tomczak RJ, Guenther KP, Rieber A, Mergo P, Ros PR, Brambs HJ. MR imaging measurement of the femoral antetorsional angle as a new technique: comparison with CT in children and adults. *AJR Am J Roentgenol.* 1997;168(3):791–4.
76. Murphy SB, Simon SR, Kijewski PK, Wilkinson RH, Griscom NT. Femoral anteversion. *J Bone Joint Surg Am.* 1987;69(8):1169–76.
77. Galbraith RT, Gelberman RH, Hajek PC, Baker LA, Sartoris DJ, Rab GT. Obesity and decreased femoral anteversion in adolescence. *J Orthop Res.* 1987;5(4):523–8.
78. Schneider B, Laubenberger J, Jemlich S, Groene K, Weber HM, Langer M. Measurement of femoral antetorsion and tibial torsion by magnetic resonance imaging. *Br J Radiol.* 1997;70(834):575–9.
79. Botser IB, Ozoude GC, Martin DE, Siddiqi AJ, Kuppuswami S, Domb BG. Femoral anteversion in the hip: comparison of measurement by computed tomography, magnetic resonance imaging, and physical examination. *Arthroscopy.* 2012;28(5):619–27.
80. Sutter R, Dietrich TJ, Zingg PO, Pfirrmann CW. Assessment of femoral antetorsion with MRI: comparison of oblique measurements to standard transverse measurements. *AJR Am J Roentgenol.* 2015;205(1):130–5.
81. Diederichs G, Kohlitz T, Kornaropoulos E, Heller MO, Vollnberg B, Scheffler S. Magnetic resonance imaging analysis of rotational alignment in patients with patellar dislocations. *Am J Sports Med.* 2013;41(1):51–7.

82. Balcarek P, Radebold T, Schulz X, Vogel D. Geometry of torsional malalignment syndrome: trochlear dysplasia but not torsion predicts lateral patellar instability. *Orthop J Sports Med.* 2019;7(3):2325967119829790.
83. Stuberg W, Temme J, Kaplan P, Clarke A, Fuchs R. Measurement of tibial torsion and thigh-foot angle using goniometry and computed tomography. *Clin Orthop Relat Res.* 1991;272:208–12.
84. Tamari K, Tinley P, Briffa K, Breidahl W. Validity and reliability of existing and modified clinical methods of measuring femoral and tibiofibular torsion in healthy subjects: use of different reference axes may improve reliability. *Clin Anat.* 2005;18(1):46–55.
85. Aderinto J, Cobb AG. Lateral release for patellofemoral arthritis. *Arthroscopy.* 2002;18(4):399–403.
86. Lattermann C, Toth J, Bach BRJ. The role of lateral retinacular release in the treatment of patellar instability. *Sports Med Arthrosc.* 2007;15(2):57–60.
87. Ficat P. The syndrome of lateral hyperpressure of the patella. *Acta Orthop Belg.* 1978;44(1):65–76.
88. Christensen F, Søballe K, Snerum L. Treatment of chondromalacia patellae by lateral retinacular release of the patella. *Clin Orthop Relat Res.* 1988;(234):145–7.
89. Lattermann C, Drake GN, Spellman BS, Bach BRJ. Lateral retinacular release for anterior knee pain: a systematic review of literature. *J Knee Surg.* 2006;19(4):278–84.
90. Merchant AC, Mercer RL. Lateral release of the patella: a preliminary report. *Clin Orthop Relat Res.* 1974;(103):40–5.
91. Krompinger WJ, Fulkerson JP. Lateral retinacular release for intractable lateral retinacular pain. *Clin Orthop Relat Res.* 1983;(179):191–3.
92. Colvin AC, West R V. Patellar instability. *J Bone Joint Surg Am.* 2008;90(12):2751–62.

93. Ricchetti ET, Mehta S, Sennett BJ, Huffman GR. Comparison of lateral release versus lateral release with medial soft-tissue realignment for the treatment of recurrent patellar instability: a systematic review. *Arthroscopy*. 2007;23(5):463–8. doi:10.1016/j.arthro.2007.01.007
94. Pastides PS, Dodd M, Gupte CM. Patellofemoral instability: anatomy, classification, aetiology, and review of treatment options. *Ann Orthop Rheumatol*. 2014;2(4):1035.
95. Panni AS, Tartarone M, Patricola A, Paxton EW, Fithian DC. Long-term results of lateral retinacular release. *Arthroscopy*. 2005;21(5):526–31.
96. Hughston JC, Deese M. Medial subluxation of the patella as a complication of lateral retinacular release. *Am J Sports Med*. 1988;16(4):383–8.
97. Merican AM, Amis AA. Anatomy of the lateral retinaculum of the knee. *J Bone Joint Surg Br*. 2008;90(4):527–34.
98. Thawait SK, Soldatos T, Thawait GK, Cosgarea AJ, Carrino JA, Chhabra A. High resolution magnetic resonance imaging of the patellar retinaculum: normal anatomy, common injury patterns, and pathologies. *Skeletal Radiol*. 2012;41(2):137–48.
99. Ostermeier S, Holst M, Hurschler C, Windhagen H, Stukenborg-Colsman C. Dynamic measurement of patellofemoral kinematics and contact pressure after lateral retinacular release: an in vitro study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2007;15(5):547–54.
100. Christoforakis J, Bull AMJ, Strachan RK, Shymkiw R, Senavongse W, Amis AA. Effects of lateral retinacular release on the lateral stability of the patella. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2006;14(3):273–7.
101. Clifton R, Ng CY, Nutton RW. What is the role of lateral retinacular release? *J Bone Joint Surg Br*. 2010;92(1):1–6.
102. McGinty JB, McCarthy JC. Endoscopic lateral retinacular release: a preliminary report. *Clin Orthop Relat Res*. 1981;(158):120–5.

103. Woods GW, Elkousy HA, O'Connor DP. Arthroscopic release of the vastus lateralis tendon for recurrent patellar dislocation. *Am J Sports Med.* 2006;34(5):824–31.
104. Elkousy H. Complications in brief: arthroscopic lateral release. *Clin Orthop Relat Res.* 2012;470(10):2949–53.
105. Hayden DJ, Doshi C, Parikh SN. Lateral Patellar Retinaculum Z-Lengthening. *Arthrosc Tech.* 2021;10(7):e1883–7. doi:10.1016/j.eats.2021.04.010
106. Feingold CL, Lin EH, Barcenas AB, Young BA, Chin JS, Stone A V, et al. Isolated lateral release or lateral lengthening for non-instability indications: A systematic review. *J Orthop.* 2026;75:62–6. doi:10.1016/j.jor.2026.02.020
107. Fauré F, Erard J, Batailler C, Magnussen RA, Lustig S, Servien E. Lateral Retinacular Release During MPFL Reconstruction: A Randomized Clinical Trial. *Am J Sports Med.* 2025;53(12):2869–74. doi:10.1177/03635465251366306
108. Dainer RD, Barrack RL, Buckley SL, Alexander AH. Arthroscopic treatment of acute patellar dislocations. *Arthroscopy.* 1988;4(4):267–71.
109. Trillat A, Dejour H, Couette A. Diagnosis and treatment of recurrent dislocations of the patella. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1964;50:813–24.
110. Maquet P. Advancement of the tibial tuberosity. *Clin Orthop Relat Res.* 1976;(115):225–30.
111. Fulkerson JP. Anteromedialization of the tibial tuberosity for patellofemoral malalignment. *Clin Orthop Relat Res.* 1983;(177):176–81.
112. Ferguson AB, Brown TD, Fu FH, Rutkowski R. Relief of patellofemoral contact stress by anterior displacement of the tibial tubercle. *J Bone Joint Surg Br.* 1979;61(2):159–66.
113. Camp CL, Heidenreich MJ, Dahm DL, Bond JR, Collins MS, Krych AJ. A simple method of measuring tibial tubercle to trochlear groove distance on MRI: description of a novel and reliable technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24(3):879–84.

114. Camp CL, Stuart MJ, Krych AJ, Levy BA, Bond JR, Collins MS. CT and MRI measurements of tibial tubercle-trochlear groove distances are not equivalent in patients with patellar instability. *Am J Sports Med.* 2013;41(8):1835–40.
115. Buuck DA, Fulkerson JP. Anteromedialization of the tibial tubercle: a 4- to 12-year follow-up. *Oper Tech Sports Med.* 2000;8(2):131–7.
116. Franciozi CE, Ambra LF, Albertoni LJB, Debieux P, Jr GGSM, Kubota MS, et al. Anteromedial Tibial Tubercle Osteotomy Improves Results of Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction for Recurrent Patellar Instability in Patients With Tibial Tuberosity-Trochlear Groove Distance of 17 to 20 mm. *Arthroscopy.* 2019;35(2):566–74. doi:10.1016/j.arthro.2018.10.109
117. Pidorian AJ, Weinstein RN, Buuck DA, Fulkerson JP. Correlation of patellar articular lesions with results from anteromedial tibial tubercle transfer. *Am J Sports Med.* 1997;25(4):533–7.
118. Gillogly SD, Arnold RM. Autologous chondrocyte implantation and anteromedialization for isolated patellar articular cartilage lesions: 5- to 11-year follow-up. *Am J Sports Med.* 2014;42(4):912–20.
119. Palmer SH, Servant CTJ, Maguire J, Machan S, Parish EN, Cross MJ. Surgical reconstruction of severe patellofemoral maltracking. *Clin Orthop Relat Res.* 2004;(419):144–8.
120. Stokes DJ, Elrick BP, Carpenter ML, Raji Y, McQuivey KS, Sherman SL, et al. Tibial Tubercle Osteotomy: Indications, Outcomes, and Complications. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2024;17(11):484–95. doi:10.1007/s12178-024-09915-w
121. Shah AK, Uppstrom TJ, Rizy ME, Gomoll AH, Strickland SM. Incidence of Complications After Tibial Tubercle Osteotomy and Tibial Tubercle Osteotomy With Distalization. *Am J Sports Med.* 2024;52(5):1274–81. doi:10.1177/03635465241235883
122. Stephen JM, Dodds AL, Lumpaopong P, Kader D, Williams A, Amis AA. The ability of medial patellofemoral ligament reconstruction to correct patellar

- kinematics and contact mechanics in the presence of a lateralized tibial tubercle. *Am J Sports Med.* 2015;43(9):2198–207.
123. Lamplot JD, Jahandar A, Meyers KN, Gomoll AH, Maher SA, Strickland SM. Anteromedialization Tibial Tubercle Osteotomy Improves Patellar Contact Forces: A Cadaveric Model of Patellofemoral Dysplasia. *Am J Sports Med.* 2023;51(2):453–60. doi:10.1177/03635465221138287
 124. Stetson WB, Friedman MJ, Fulkerson JP, Cheng M, Buuck D. Fracture of the proximal tibia with immediate weightbearing after a Fulkerson osteotomy. *Am J Sports Med.* 1997;25(4):570–4. doi:10.1177/036354659702500422
 125. Payne J, Rimmke N, Schmitt LC, Flanigan DC, Magnussen RA. The incidence of complications of tibial tubercle osteotomy: a systematic review. *Arthroscopy.* 2015;31(9):1819–25.
 126. Bellemans J, Cauwenberghs F, Brys P, Victor J, Fabry G. Fracture of the proximal tibia after Fulkerson anteromedial tibial tubercle transfer: a report of four cases. *Am J Sports Med.* 1998;26(2):300–2.
 127. DeNovio AC, Holle A, Pan X, Saris DBF, Krych AJ, Hevesi M, et al. Incidence of Complications, Recurrent Instability, and All-Cause Reoperations After Tibial Tubercle Osteotomy for Patellofemoral Instability: A Systematic Review and Meta-analysis of the Literature. *Orthop J Sports Med.* 2025;13(9):23259671251374308. doi:10.1177/23259671251374307
 128. Diduch DR, Kandil A, Burris MT. Lateral patellar instability in the skeletally mature patient: evaluation and surgical management. *J Am Acad Orthop Surg.* 2018;26(12):429–39. doi:10.5435/JAAOS-D-16-00052
 129. Conlan T, Garth WP, Lemons JE. Evaluation of the medial soft-tissue restraints of the extensor mechanism of the knee. *J Bone Joint Surg Am.* 1993;75(5):682–93. doi:10.2106/00004623-199305000-00007
 130. Christensen TC, Sanders TL, Pareek A, Mohan R, Dahm DL, Krych AJ. Risk factors and time to recurrent ipsilateral and contralateral patellar dislocations. *Am J Sports Med.* 2017;45(9):2105–10. doi:10.1177/0363546517704178

131. Crosby E, Insall J. Recurrent dislocation of the patella: relation of treatment to osteoarthritis. *J Bone Joint Surg Am.* 1976;58(1):9–13.
132. Hautamaa P V, Fithian DC, Kaufman KR, Daniel DM, Pohlmeier AM. Medial soft tissue restraints in lateral patellar instability and repair. *Clin Orthop Relat Res.* 1998;349:174–82. doi:10.1097/00003086-199804000-00021
133. Smith TO, Walker J, Russell N. Outcomes of medial patellofemoral ligament reconstruction for patellar instability: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007;15(11):1301–14. doi:10.1007/s00167-007-0390-0
134. Balcarek P, Blønd L, Beaufils P, Askenberger M, Stephen JM, Akmeşe R, et al. Management of first-time patellar dislocation: The ESSKA 2024 formal consensus-Part 2. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2025;33(12):4197–206. doi:10.1002/ksa.12637 PubMed PMID: 40053919.
135. Hinckel BB, Gobbi RG, Kaleka CC, Camanho GL, Arendt EA. Medial patellotibial ligament and medial patellomeniscal ligament: anatomy, imaging, biomechanics, and clinical review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018;26(3):685–96. doi:10.1007/s00167-017-4469-y
136. Nomura E, Inoue M, Osada N. Anatomical analysis of the medial patellofemoral ligament of the knee, especially the femoral attachment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2005;13(7):510–5. doi:10.1007/s00167-004-0607-4
137. LaPrade MD, Kallnback SL, Aman ZS, Moatshe G, Storaci HW, Turnbull TL, et al. Biomechanical evaluation of the medial stabilizers of the patella. *Am J Sports Med.* 2018;46(7):1575–82.
138. Fithian DC, Paxton EW, Stone M, Lou SP, Davis DK, Elias DA. Epidemiology and natural history of acute patellar dislocation. *Am J Sports Med.* 2004;32(5):1114–21. doi:10.1177/0363546503260788
139. Wagner D, Pfalzer P, Hingelbaum S, Huth J, Mauch F, Bauer G. The influence of risk factors on clinical outcomes following anatomical medial patellofemoral ligament reconstruction using the gracilis tendon. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(1):318–24. doi:10.1007/s00167-012-2015-5

140. Brown CH, Sklar JH. Endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction using doubled gracilis and semitendinosus tendons and endobutton femoral fixation. *Tech Knee Surg.* 2004;3(4):215–37. doi:10.1016/S1060-1872(99)80027-6
141. Tuxøe JI, Teir M, Winge S, Nielsen PL. The medial patellofemoral ligament: a dissection study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2002;10(3):138–40. doi:10.1007/s00167-001-0261-z
142. Shah JN, Howard JS, Flanigan DC, Brophy RH, Carey JL, Lattermann C. A systematic review of complications and failures associated with medial patellofemoral ligament reconstruction for recurrent patellar dislocation. *Am J Sports Med.* 2012;40(8):1916–23. doi:10.1177/0363546512442330
143. Elias JJ, Cosgarea AJ. Technical errors during medial patellofemoral ligament reconstruction could overload medial patellofemoral cartilage. *Am J Sports Med.* 2006;34(9):1478–85. doi:10.1177/0363546506287486
144. Sanchis-Alfonso V. Guidelines for medial patellofemoral ligament reconstruction in chronic lateral patellar instability. *J Am Acad Orthop Surg.* 2014;22(3):175–82. doi:10.5435/JAAOS-22-03-175
145. Kita K, Tanaka Y, Toritsuka Y, Amano H, Uchida R, Takao R, et al. Factors affecting the outcomes of double-bundle medial patellofemoral ligament reconstruction for recurrent patellar dislocations evaluated by multivariate analysis. *Am J Sports Med.* 2015;43(12):2988–96. doi:10.1177/0363546515606102
146. Kay J, Memon M, Ayeni OR, Peterson D. Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction Techniques and Outcomes: a Scoping Review. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2021;14(6):321–7. doi:10.1007/s12178-021-09719-2 PubMed PMID: 34893964.
147. Jackson GR, Tuthill T, Gopinath V, Mameri ES, Jawanda H, Sugrañes J, et al. Complication Rates After Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction Range From 0% to 32% With 0% to 11% Recurrent Instability: A Systematic Review. *Arthroscopy.* 2023;39(5):1345–56. doi:10.1016/j.arthro.2023.01.098 PubMed PMID: 36764559.

148. McNeilan RJ, Everhart JS, Mescher PK, Abouljoud M, Magnussen RA, Flanigan DC. Graft choice in isolated medial patellofemoral ligament reconstruction: a systematic review with meta-analysis of rates of recurrent instability and patient-reported outcomes for autograft, allograft, and synthetic options. *Arthroscopy*. 2018;34(4):1340–54. doi:10.1016/j.arthro.2017.11.027
149. Koenen P, Shafizadeh S, Pfeiffer TR, Wafaisade A, Bouillon B, Kanakamedala AC, et al. Intraoperative fluoroscopy during MPFL reconstruction improves the accuracy of the femoral tunnel position. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2018;26(12):3547–52. doi:10.1007/s00167-018-4983-6
150. Walker M, Maini L, Kay J, Siddiqui A, Almasri M, D de S. Femoral tunnel malposition is the most common indication for revision medial patellofemoral ligament reconstruction with promising early outcomes following revision reconstruction: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2022;30(4):1352–61. doi:10.1007/s00167-021-06603-x PubMed PMID: 33963878.
151. Migliorini F, Driessen A, Quack V, Schenker H, Tingart M, Eschweiler J. Patellar fixation graft via suture anchors versus tunnel techniques during isolated MPFL reconstruction for recurrent patellofemoral instability: a systematic review of the literature. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2020;140(9):1201–10. doi:10.1007/s00402-020-03420-8 PubMed PMID: 32318817.
152. Farinelli L, Appierto V, Carletti MA, Grassi M, Radaelli S, Meena A, et al. Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction With Quadriceps Tendon Using an Expanding PEEK Anchor. *Arthrosc Tech*. 2025 Jun 1;14(6). doi:10.1016/j.eats.2025.103531
153. Van Haver A, De Roo K, De Beule M, Labey L, De Baets P, Dejour D. The effect of trochlear dysplasia on patellofemoral biomechanics: a cadaveric study with simulated trochlear deformities. *Am J sports Med*. 2015;43:1354–61.
154. Post WR. Clinical evaluation of patients with patellofemoral disorders. *Arthroscopy*. 1999;15(8):841–51.

155. Johnson L L, Van Dyk GE, Green Jr 3rd, Pittsley AW, Bays B, Gully SM. Clinical assessment of asymptomatic knees: comparison of men and women. *Arthroscopy*. 1998;14(4):347–59.
156. Dejour D, Byn P, Ntagiopoulos PG. The Lyon’s sulcus-deepening trochleoplasty in previous unsuccessful patellofemoral surgery. *Int Orthop*. 2013;37(3):433–9.
157. Masse Y. Trochleoplasty. Restoration of the intercondylar groove in subluxations and dislocations of the patella. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 1978;64(1):3–17.
158. Metcalfe AJ, Clark DA, Kemp MA, Eldridge JD. The Bristol experience of the Bereiter trochleoplasty: indications and technique. *Oper Tech Sports Med*. 2015;23(2):123–8.
159. Thaunat M, Bessiere C, Pujol N, Boisrenoult P, Beaufils P. Recession wedge trochleoplasty as an additional procedure in the surgical treatment of patellar instability with major trochlear dysplasia: early results. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*. 2011;97(8):833–45.
160. Goutallier D, Raou D, Van Driessche S. Retro-trochlear wedge reduction trochleoplasty for the treatment of painful patella syndrome with protruding trochleae: technical note and early results. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 2002;88(7):678–85.
161. Carstensen SE, Menza HM, Diduch DR. Patellar instability: when is trochleoplasty necessary? *Sports Med Arthrosc Rev*. 2017;25(2):92–9.
162. LaPrade RF, Cram TR, James EW, Rasmussen MT. Trochlear dysplasia and the role of trochleoplasty. *Clin Sports Med*. 2014;33(3):531–45.
163. Fuentes EE, Zingg PO, Schmitt J, Pfirrmann CWA, Meyer DC, Koch PP. Classification of trochlear dysplasia as predictor of clinical outcome after trochleoplasty. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2011;19(10):1655–61.
164. Ntagiopoulos PG, Byn P, Dejour D. Midterm results of comprehensive surgical reconstruction including sulcus-deepening trochleoplasty in recurrent patellar

- dislocations with high-grade trochlear dysplasia. *Am J Sports Med.* 2013;41(5):998–1004.
165. McNamara I, Bua N, Smith TO, Ali K, Donell ST. Deepening trochleoplasty with a thick osteochondral flap for patellar instability. *Am J Sports Med.* 2015;43(11):2706–13.
 166. Metcalfe AJ, Clark DA, Kemp MA, Eldridge JD. Trochleoplasty with a flexible osteochondral flap. *Bone Joint J.* 2017;99-B(3):344–50.
 167. Coughlin KM, Incavo SJ, Churchill DL, Beynnon BD. Tibial axis and patellar position relative to the femoral epicondylar axis during squatting. *J Arthroplasty.* 2003;18(8):1048–55.
 168. Balcarek P, Rehn S, Howells NR, Eldridge JD, Kita K, Dejour D. Results of medial patellofemoral ligament reconstruction compared with trochleoplasty plus individual extensor apparatus balancing in patellar instability caused by severe trochlear dysplasia: a systematic review and meta-analysis. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy.* 2017;25(12):3869–77.
 169. Hiemstra LA, Kerslake S, Lafave MR. Quality-of-life outcomes of patients following patellofemoral stabilization surgery: the influence of trochlear dysplasia. *J Knee Surg.* 2017;30(9):887–93.
 170. Song GY, Hong L, Zhang H, Zhang J, Li X, Li Y. Trochleoplasty versus nontrochleoplasty procedures in treating patellar instability caused by severe trochlear dysplasia. *Arthroscopy.* 2014;30(4):523–32.
 171. Rouanet T, Gougeon F, Fayard JM, Rémy F, Migaud H, Pasquier G. Sulcus deepening trochleoplasty for patellofemoral instability: a series of 34 cases after 15 years postoperative follow-up. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research.* 2015;101(4):443–7.
 172. Verdonk R, Jansegers E, Stuyts B. Trochleoplasty in dysplastic knee trochlea. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy.* 2005;13(7):529–33.

173. von Knoch F, Böhm T, Bürgi ML, von Knoch M, Bereiter H. Trochleaplasty for recurrent patellar dislocation in association with trochlear dysplasia: a 4- to 14-year follow-up study. *J Bone Joint Surg Br.* 2006;88(10):1331–5.
174. Donell ST, Joseph G, Hing CB, Marshall TJ. Modified Dejour trochleoplasty for severe dysplasia: operative technique and early clinical results. *Knee.* 2006;13(4):266–73.
175. Nelitz M, Dreyhaupt J, Williams SRM. Anatomic reconstruction of the medial patellofemoral ligament in children and adolescents using a pedicled quadriceps tendon graft shows favourable results at a minimum of 2-year follow-up. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy.* 2018 Apr 1;26(4):1210–5. doi:10.1007/s00167-017-4597-4 PubMed PMID: 28601942.
176. Ji PA, Semeschenko D, Halliburton C, Bosio S, Puigdevall M. Manejo quirúrgico de la luxación patelofemoral usando injerto autólogo del tendón cuadricipital para la reconstrucción del ligamento patelofemoral medial. Resultados clínicos y funcionales de una cohorte retrospectiva de pacientes pediátricos. *Acta Ortop Mex.* 2025;39(4). doi:10.35366/120454

5 Allegati:

Lysholm Knee Score

Punteggio massimo: 100 punti

Voce	Risposta (punti)
1. Zoppia	
a Nessuna	5
b Leggera o episodica	3
c Grave e costante	0
2. Ausilio alla deambulazione	
a Nessuno	5
b Bastone o canadese	2
c Carico impossibile	0
3. Blocco articolare	
a Nessuna sensazione di blocco	15
b Sensazione di rigidità ma non di blocco	10
c Blocco occasionalmente	6
d Blocco frequentemente	2
e Blocco al momento dell'esame	0
4. Instabilità	
a Nessuna instabilità	25
b Raramente durante l'attività sportiva o altre attività pesanti	20
c Frequentemente durante l'attività sportiva o altre attività pesanti, oppure impossibilità alla partecipazione	15
d Occasionalmente nelle attività quotidiane	10
e Spesso nelle attività quotidiane	5
f Ad ogni passo	0
5. Dolore	
a Nessuno	25
b Incostante e leggero durante esercizi pesanti	20
c Notevole durante l'esercizio pesante	15
d Notevole durante o dopo aver camminato più di 2 km	10
e Notevole durante o dopo aver camminato meno di 2 km	5
f Costante	0
6. Gonfiore	
a Nessuno	10
b Durante un'attività pesante	6
c Durante un'attività abituale	2
d Costante	0
7. Salire le scale	
a Nessun problema	10
b Qualche difficoltà	6
c Uno scalino alla volta	2
d Impossibile	0
8. Accovacciarsi	
a Nessun problema	5
b Qualche difficoltà	4
c Non oltre 90°	2
d Impossibile	0

Allegato 1: Lysholm Knee Score. (Tegner Y, Lysholm J. Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 1985;(198):43-49)



Allegato 2: Scala numerica/visuo-analogica per la valutazione soggettiva del dolore. [Adattata da Huskisson EC. Measurement of pain. *Lancet*. 1974;2(7889):1127-1131; e da Jensen MP, Karoly P, Braver S. The measurement of clinical pain intensity: a comparison of six methods. *Pain*. 1986;27(1):117-126]

Scala del livello di attività di Tegner

Tegner Activity Level Scale

Punteggio da 0 a 10; valori più elevati indicano maggiore livello di attività

Livello	Descrizione dell'attività
Livello 10	Sport agonistico: calcio, football americano, rugby (élite nazionale).
Livello 9	Sport agonistico: calcio, football americano, rugby (divisioni inferiori), hockey su ghiaccio, lotta, ginnastica, basket.
Livello 8	Sport agonistico: racquetball o bandy, squash o badminton; atletica leggera (salti, ecc.); sci alpino.
Livello 7	Sport agonistico: tennis, corsa, speedway/automobilismo, pallamano. Sport ricreativi: calcio, football americano, rugby, bandy, hockey su ghiaccio, basket, squash, racquetball, corsa.
Livello 6	Sport ricreativi: tennis e badminton, pallamano, racquetball, sci alpino; jogging almeno 5 volte alla settimana.
Livello 5	Lavoro: mansioni pesanti (costruzioni, ecc.). Sport agonistico: ciclismo, sci di fondo. Sport ricreativi: jogging su terreno irregolare almeno 2 volte alla settimana.
Livello 4	Lavoro: mansioni moderatamente pesanti (es. guida di camion, ecc.).
Livello 3	Lavoro: mansioni leggere (es. infermieristica, ecc.).
Livello 2	Lavoro: mansioni leggere. Camminare su terreno irregolare è possibile, ma non è possibile fare trekking o escursioni con zaino.
Livello 1	Lavoro: attività sedentaria (es. lavoro di segreteria, ecc.).
Livello 0	Congedo per malattia o pensione di invalidità a causa di problemi al ginocchio.

Allegato 3: Scala del livello di attività di Tegner. (Tegner Y, Lysholm J. Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. Clinical Orthopaedics and Related Research. 1985;(198):43-49)

Kujala anterior knee pain scale			
Azione	Punti	Azione	Punti
Zoppia		Posizione seduta prolungata a ginocchia flesse	
1) Nessuna	5 punti	1) Nessuna difficoltà	10 punti
2) Leggera o periodica	3 punti	2) Dolore dopo esercizio	8 punti
3) Costante	0 punti	3) Dolore costante	6 punti
Carico		4) Dolore all'est. temporanea delle ginocchia	4 punti
1) Carico completo senza dolore	5 punti	5) Impossibile	0 punti
2) Doloroso	3 punti	Dolore	
3) Carico impossibile	0 punti	1) Nessuno	10 punti
Perimetro di marcia		2) Leggero occasionale	8 punti
1) Illimitato	5 punti	3) Tale da disturbare il riposo notturno	6 punti
2) Più di 2km	3 punti	4) Occasionalmente intenso	3 punti
3) 1-2 km	2 punti	5) Costantemente Intenso	0 punti
4) Impossibile	0 punti	Gonfiore	
Scale		1) Nessuno	10 punti
1) Nessuna difficoltà	10 punti	2) Dopo esercizi pesanti	8 punti
2) Leggero dolore alla discesa delle scale	8 punti	3) Dopo attività quotidiane	6 punti
3) Dolore sia alla salita che alla discesa	5 punti	4) Ogni sera	4 punti
4) Impossibile	0 punti	5) Costante	0 punti
Accovacciarsi		Movimenti rotulei anomali dolorosi (sublussazioni)	
1) Nessuna difficoltà	5 punti	1) Nessuno	10 punti
2) Accovacciamenti ripetuti dolorosi	4 punti	2) Occasionali nelle attività sportive	6 punti
3) Doloroso ogni volta	3 punti	3) Occasionali nelle attività quotidiane	4 punti
4) Possibile ma con carico parziale	2 punti	4) Almeno una lussazione documentata	2 punti
5) Impossibile	0 punti	5) Più di 2 lussazioni	0 punti
Correre		Atrofia della coscia	
1) Nessuna difficoltà	10 punti	1) Nessuna	5 punti
2) Dolore dopo più di 2 km	8 punti	2) Leggera	3 punti
3) Leggero dolore dall'inizio	6 punti	3) Intensa	0 punti
4) Dolore intenso	3 punti	Deficit di flessione	
5) Impossibile	0 punti	1) Nessuno	5 punti
Saltare		2) Leggero	3 punti
1) Nessuna difficoltà	10 punti	3) Grave	0 punti
2) Leggera difficoltà	7 punti		
3) Dolore costante	2 punti		
4) Impossibile	0 punti	Punteggio Totale(/ 100) :	

Allegato 4: Kujala Anterior Knee Pain Scale (Kujala UM et al. Arthroscopy, 1993)