

Università degli Studi di Padova

CORSO DI LAUREA IN FISIOTERAPIA

PRESIDENTE: *Ch.ma Prof.ssa Veronica Macchi*

TESI DI LAUREA

RIABILITAZIONE POST-INTERVENTO DI RICOSTRUZIONE DEL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE. DIFFERENZA DI EFFICACIA TRA ESERCIZI IN CATENA CINETICA APERTA E CATENA CINETICA CHIUSA E LORO RISCHI.

UNA REVISIONE NARRATIVA DELLA LETTERATURA.

(Post-anterior crucate ligament reconstruction surgery rehabilitation. Difference in effectiveness between open kinetic chain and closed kinetic chain exercises and their risks.

A narrative review of the literature.)

RELATORE: Prof., Dott., Ft., Mauro Cervesato

LAUREANDO: Fabio Maniero

Anno Accademico 2023/2024

INDICE

RIASSUNTO

ABSTRACT

INTRODUZIONE	1
CAPITOLO I: Anatomia e aspetti biomeccanici	2
1.1 Anatomia del ginocchio	2
1.2 Biomeccanica dell'articolazione femoro-tibiale.....	11
1.3 Fattori che determinano la stabilità dell'articolazione femoro-tibiale	14
CAPITOLO II: La patologia - rottura del LCA	17
2.1 Epidemiologia	17
2.2 Eziologia e meccanismi di rottura.....	17
2.3 Fattori di rischio.....	18
2.4 Patofisiologia e modificazioni post trauma.....	21
2.5 Aspetto psicologico e qualità della vita	23
2.6 Processo diagnostico	24
2.7 Trattamento chirurgico	27
2.8 Trattamento fisioterapico	30
CAPITOLO III: Materiali e Metodi	37
3.1 Quesito della tesi.....	37
3.2 Bibliografia e stringhe di ricerca	37
3.3 Criteri di inclusione.....	38
3.4 Criteri di esclusione	38
3.5 Dati della ricerca bibliografica	38
3.6 Qualità metodologica degli studi	39
CAPITOLO IV: Risultati	41
4.1 Partecipanti	41
4.2 Descrizione narrativa dei risultati	41
4.3 Misure di Outcome	46
4.4 Sintesi dei risultati: Tabella Sinottica	47
CAPITOLO V: Discussione	49
CAPITOLO VI: Conclusioni	51
BIBLIOGRAFIA	52

RIASSUNTO

Introduzione: La rottura del legamento crociato anteriore (LCA) in seguito a traumi distorsivi da impatto o meno è un infortunio particolarmente frequente tra gli sportivi professionisti e non. Nonostante la ricerca riguardante le migliori metodiche per la riabilitazione mediante trattamento conservativo abbia fatto notevoli passi avanti, non sempre è possibile raggiungere il miglior risultato possibile a causa di svariate variabili soggettive e l'intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore (ACLR) è spesso l'opzione migliore. Purtroppo ci sono ancora importanti controversie riguardo la scelta del trattamento post-operatorio, soprattutto riguardanti la scelta riguardante l'introduzione precoce o meno di esercizi in catena cinetica aperta (OKC) all'interno di programmi riabilitativi solitamente caratterizzati dalla dominante presenza di esercizi in catena cinetica chiusa (CKC) che secondo la letteratura passata risultavano più sicuri ed efficaci causando spesso la quasi totale esclusione degli esercizi OKC per timore di un infortunio in fase riabilitativa.

Scopo della tesi: Lo scopo di questa tesi è analizzare gli studi primari più recenti (11 anni) per sostenere l'ipotesi che gli esercizi OKC siano sicuri, se ben modulati e che possano essere un'ottima integrazione nelle varie fasi dei progetti riabilitativi post-operatori per la riattivazione e il rinforzo del quadricipite e dei muscoli posteriori della coscia, due gruppi muscolari la cui forza e funzionalità sono di primaria importanza per il raggiungimento di un'ottimale stabilizzazione statica e dinamica dell'articolazione del ginocchio e per un recupero degli efficaci schemi motori necessari per un corretto e funzionale ritorno all'attività sportiva.

Materiali e metodi: Sono stati consultati libri di anatomia e kinesiologia e sono state consultate tre banche dati per la ricerca di articoli scientifici: PubMed, PEDro e Google Scholar. Gli articoli riguardanti il quesito di tesi sono stati reperiti dalle suddette banche dati mediante l'utilizzo di 3 stringhe di ricerca. Sono poi stati cercati ulteriori articoli con ulteriori stringhe per la stesura dei capitoli introduttivi. Alcuni articoli, sia riguardanti l'abstract, sia riguardanti i precedenti capitoli sono stati estratti dalle bibliografie degli articoli analizzati tramite stringa.

Risultati e discussione: Nonostante gli esercizi in catena cinetica chiusa risultino essere l'opzione più efficace tra le due metodiche di esercizi, gli studi dimostrano che l'introduzione di esercizi in catena cinetica aperta, in un determinato ROM e con un'intensità adeguatamente modulata sono una valida integrazione per i progetti riabilitativi post-ACLR in quanto non causano una rilevante lassità dell'innesto operatorio e costituiscono invece un ulteriore e differente stimolo per la riattivazione ed il rinforzo della muscolatura necessaria alla stabilizzazione statica e dinamica dell'articolazione del ginocchio.

Conclusioni: Durante la riabilitazione post-ACLR non è fondamentale la scelta esclusiva tra le due metodiche di esercizio terapeutico trattate in questo studio ma è importante l'integrazione di entrambe le metodiche assieme alle ulteriori tecniche riabilitative che il fisioterapista ha a disposizione. Una continua valutazione e rivalutazione è sempre necessaria per assicurarsi che il trattamento sia sicuro ed efficace per il paziente. La carenza di studi riguardante l'argomento suggerisce però che sia necessario un'ulteriore studio di queste metodiche per arricchirne la letteratura ed aiutare i fisioterapisti a scegliere il miglior progetto riabilitativo per i loro pazienti.

Parole chiave: Catena cinetica aperta, catena cinetica chiusa, ACLR, riabilitazione.

ABSTRACT

Background: The anterior cruciate ligament (ACL) injury following sprain trauma from impact or non-impact is a particularly frequent injury among professional and amateur athletes. Although research regarding the best methods for rehabilitation through conservative treatment has made significant progresses, it's not always possible to achieve the best possible result due to various subjective variables. So the anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR) surgery is often the best option. Unfortunately, there are still important controversies regarding the choice of the right post-operative treatment, especially regarding the choice of the possible early introduction of open kinetic chain (OKC) exercises within rehabilitation programs usually characterized by the almost exclusive presence of closed kinetic chain exercises (CKC) that according to past literature were safer and more effective, often causing the almost total exclusion of OKC exercises because of physiotherapists fear of causing an injury during the rehabilitation phase.

Aim: The purpose of this thesis is to analyse the most recent primary studies (11 years) to support the hypothesis that OKC exercises are safe, if well-modulated and that they can be an excellent integration in the various phases of post-operative rehabilitation projects for the reactivation and strengthening of the quadriceps and the posterior thigh muscles, two muscle groups whose strength and functionality are of primary importance for achieving optimal static and dynamic stabilization of the knee joint and for a recovery of the effective motor patterns necessary for a correct and functional return to sports activity.

Materials and methods: Anatomy and kinesiology books were consulted and three online databases were consulted searching for scientific articles: PubMed, PEDro and Google Scholar. The articles regarding the thesis question were found from the above mentioned databases using 3 specific search strings. Further articles were then searched with additional strings for the drafting of the introductory chapters. Some articles, both regarding the abstract and the previous chapters, were extracted from the bibliographies of the articles chosen by strings.

Results and discussion: Although closed kinetic chain exercises are the most effective option between the two exercise methods studied, literature shows that the input of open kinetic chain exercises, in a given ROM and with an adequately modulated intensity are a valid integration for post-ACLR rehabilitation projects as they don't cause significant laxity of the surgical graft. Instead, they constitute a further and different stimulation for the reactivation and strengthening of the muscles necessary for static and dynamic stabilization of the knee joint.

Conclusions: During post-ACLR rehabilitation, the exclusive choice between the two therapeutic exercise methods discussed in this study is not essential, but the integration of both methods together with the additional rehabilitation techniques that the physiotherapist has available is important. Continuous evaluation and re-evaluation is always necessary to ensure that the treatment is safe and effective for the patient. The lack of studies on the topic suggests, however, that further study of these methods is necessary to enrich the literature and help physiotherapists to choose the best treatment for their patients.

Keywords: Open kinetic chain exercises, Closed kinetic chain exercises, ACLR, rehabilitation.

INTRODUZIONE

La lesione del legamento crociato anteriore del ginocchio è uno degli infortuni sportivi più comune al giorno d'oggi. Tuttavia vi sono ancora molteplici dubbi e controversie riguardo il trattamento di questa patologia, sia sulla scelta del trattamento conservativo piuttosto che chirurgico, sia sul trattamento fisioterapico stesso nell'eventualità della scelta del trattamento chirurgico.

La mancanza di precise linee guida lascia la scelta del miglior progetto riabilitativo direttamente al fisioterapista lasciando molte variabili all'interpretazione soggettiva di quest'ultimo. Questa situazione può presentare delle problematiche in quanto vi è il rischio di lavorare con esercizi sottodimensionati e quindi inefficaci che porterebbero ad una mancata riabilitazione ottimale del soggetto infortunato come vi è il rischio invece di delineare un progetto riabilitativo sovradimensionato per le capacità del paziente andando quindi incontro ad un rischio di recidiva dell'infortunio proprio in fase di trattamento fisioterapico.

Forse è proprio la paura di quest'ultimo rischio a portare molti fisioterapisti ad escludere alcune metodiche e/o varianti di esercizi terapeutici escludendo quindi una variabilità degli stimoli muscolari che potrebbero invece portare i muscoli fondamentali per la stabilizzazione del ginocchio come il quadricipite e gli hamstring ad un livello di riattivazione, rinforzo e ricondizionamento allo sforzo e alla fatica ottimali per un sicuro ed efficace return to sport.

In particolare, in questa revisione narrativa andremo a trattare il controverso argomento degli esercizi in catena cinetica aperta, una metodica di esercizio terapeutico che molti fisioterapisti tendono ad escludere totalmente dal loro progetto riabilitativo oppure a ritardarne la proposta fino agli stadi finali della riabilitazione del paziente. Questo accade poiché nei passati decenni, numerosi studi avevano descritto questi esercizi come particolarmente pericolosi per l'integrità e la lassità dell'innesto sostitutivo dell'LCA a causa di eccessive forze di taglio e trazione che la loro cinematica andava a porre sull'innesto.

Dunque sembra a nostro parere necessario andare a verificare se questa paura sia fondata o meno e, nel caso in cui non lo fosse, andare a dare dei consigli riguardanti l'ottimale integrazione di questi esercizi all'interno delle sedute fisioterapiche. Si ritiene infatti che la paura del paziente sia il fattore dominante nel determinare un'eventuale ritorno al livello di attività precedente l'infortunio e dovrebbe dunque essere uno dei compiti del fisioterapista andare a contenere questa paura, compito particolarmente complicato se è proprio il fisioterapista ad aver per primo paura nella proposta del suo progetto riabilitativo, per mancanza di adeguata informazione o per un'eccessiva cautela.

Andremo dunque in questa revisione narrativa della letteratura a presentare la patologia in questione con particolare attenzione sui vari fattori fisici, psicologici fisiologici o patologici che potrebbero compromettere il processo di riabilitazione. Verranno presentate le variabili in base alle quali i pazienti vengono valutati e classificati per poter scegliere al meglio il trattamento più adeguato. Soprattutto verranno analizzati gli articoli scientifici disponibili più recenti riguardanti l'efficacia e la sicurezza delle metodiche di esercizio terapeutico che sono il focus principale di questa tesi per estrarre infine dei validi consigli operativi.

CAPITOLO I: Anatomia e aspetti biomeccanici

1.1 Anatomia del ginocchio

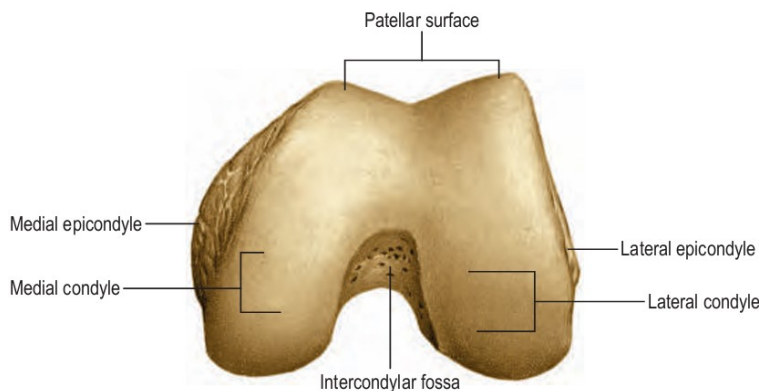
Conoscere l'anatomia e la kinesiologia del ginocchio è un essenziale per comprendere i meccanismi di lesione e intervento terapeutico efficaci riguardanti questa complessa articolazione (1).

Quella del ginocchio è l'articolazione sinoviale di tipo gimblimo angolare più grande del corpo umano (2). In essa troviamo numerose strutture anatomiche come: ossa, muscoli, legamenti, borse sinoviali, tessuto adiposo, strutture cartilaginee e capsulari ed è inoltre zona di passaggio di nervi, vasi sanguigni e linfatici.

È composta da 2 articolazioni che lavorano in sinergia tra loro: l'articolazione femoro-tibiale e quella femoro-patellare.(1) Il movimento del ginocchio avviene su due piani, consentendo la flessione-estensione e l'intra/extra-rotazione, movimenti che come vedremo avvengono spesso in sinergia con quelli delle articolazioni adiacenti (anca e caviglia) per permettere funzioni più o meno complesse.(1)

Componenti ossee

L'articolazione femoro-tibiale è data dalla connessione tra i condili femorali, grandi e convessi, e i condili tibiali, concavi e più piccoli. I **condili femorali** formano la parte distale del femore che è particolarmente ampia per trasferire al meglio il peso corporeo alla tibia (2).



Il condilo laterale è più ampio nella direzione antero-posteriore rispetto a quello mediale. La sua porzione più prominente è l'epicondilo laterale, a cui è ancorato il legamento collaterale laterale. Un piccolo solco, che è più profondo nella parte anteriore, separa inferiormente l'epicondilo laterale dal margine articolare, permettendo al tendine del muscolo popliteo di scorrere in profondità sotto il legamento collaterale laterale, inserendosi inferiormente e anteriormente al punto di attacco del legamento stesso. Accanto al margine articolare si trova una fascia di condilo, larga circa 1 cm, che è intracapsulare e rivestita da membrana sinoviale, tranne nel punto in cui il muscolo popliteo ha la sua inserzione. La superficie mediale di questo condilo forma la parete laterale della fossa intercondiloidea, mentre la superficie laterale si estende oltre la diafisi. All'epicondilo laterale si inserisce anche parte del muscolo gastrocnemio. (2)

Il condilo mediale è particolarmente sporgente e convesso ed è facilmente palpabile. Prossimalmente il suo tubercolo adduttore, di dimensioni molto variabili, da inserzione al grande adduttore. Anteroinferiormente al tubercolo si trova la prominente mediale del condilo, l'epicondilo mediale. La superficie laterale del condilo forma la parete mediale della fossa intercondiloidea. Il condilo sporge distalmente in modo che, nonostante l'obliquità del corpo, il profilo dell'estremità distale sia quasi orizzontale. Una striscia curva intracapsulare,

larga 1 cm dell'epicondilo mediale, adiacente al margine articolare mediale, è coperta da membrana sinoviale e da inserzione al legamento colaterale mediale.(2)

I due condili confluiscono anteriormente per continuare nella diafisi mentre sono posteriormente separati dalla **fossa intercondiloidea** dove possiamo trovare le inserzioni dei legamenti crociati. Quest'ultima è intracapsulare ma in gran parte extrasinoviale (2). La sua parete laterale, la superficie mediale del condilo laterale, presenta una porzione di superficie piatta per l'inserzione prossimale del legamento crociato anteriore. La parete mediale della fossa, la superficie laterale del condilo mediale, presenta un'area simile più ampia, ma molto più anteriormente, per dare inserzione al legamento crociato posteriore. Le superfici di inserzione tibiali sono convesse in tutte le direzioni ma la mediale e la laterale hanno curvature anteroposteriori differenti. I condili femorali si fondono anteriormente dove il **solco intercondiloideo** si articola con la superficie posteriore della rotula, formando l'articolazione femoro-rotulea(2).

La superficie patellare si estende più prossimalmente sul lato laterale. Il suo bordo prossimale è obliquo e decorre distalmente e medialmente, separato dalle superfici tibiali da due piccoli solchi che attraversano obliquamente i condili. Il solco laterale è il più pronunciato dei due, prosegue lateralmente e leggermente in avanti dalla parte anteriore della fossa intercondiloidea e si espande per formare una lieve depressione triangolare, che si appoggia sul bordo anteriore del menisco laterale quando il ginocchio è completamente esteso. Il solco mediale è limitato alla parte mediale del condilo mediale e poggia sul bordo anteriore del menisco mediale in piena estensione. Dove cessa, la superficie patellare continua fino alla parte laterale del condilo mediale formando un'area semilunare adiacente alla regione anteriore della fossa intercondiloidea dove si articolerà con la faccetta verticale mediale della patella in piena flessione (2). Il solco trocleare aiuta a stabilizzare la patella ma se risulta basso e/o anomalo predispone all'instabilità (2).

Nonostante il **perone** non abbia una funzione diretta sul ginocchio, è attaccato lateralmente alla tibia da articolazioni tibio-fibulari prossimali e distali e aiuta a mantenerne l'allineamento. La testa del perone fa da inserzione al bicipite femorale e al legamento collaterale laterale (1).

La tibia ha la funzione primaria di trasferire il peso attraverso il ginocchio e verso la caviglia.

L'estremità prossimale è quindi anch'essa particolarmente sviluppata per ricevere il peso corporeo dal femore ed è costituita dai condili, uno mediale e uno laterale, un'area intercondiloidea e la tuberosità tibiale (1).

Le superfici articolari dei condili sono lisci ma formano una superficie concava grazie ai menischi per contenere i condili femorali, formando i compartimenti mediali e laterali dell'articolazione femoro-tibiale.

La superficie articolare mediale è più grande e leggermente concava, mentre la superficie articolare laterale è più piatta e leggermente convessa. Le superfici articolari sono separate dalla cresta chiamata eminenza intercondiloidea. Le superfici condilari anteriori sono continue con una grande area triangolare il cui apice distale forma la tuberosità tibiale che fa da inserzione per il tendine rotuleo (1).

La rotula, o patella, è il più grande osso sesamoide del nostro corpo, presenta una base curva superiormente e un apice appuntito inferiormente dove si inserisce il tendine rotuleo. La superficie anteriore è convessa mentre la posteriore è ricoperta da cartilagine articolare spessa fino a 4-5 mm, la più spessa del corpo, che aiuta a disperdere le grandi forze di compressione che caratterizzano l'articolazione. Questa superficie

articolandosi con il solco intercondiloideo del femore, da l'articolazione femoro-rotulea. Lungo la superficie posteriore della rotula, una cresta verticale arrotondata si estende longitudinalmente dall'alto verso il basso. Su entrambi i lati di questa cresta c'è una faccetta (laterale e mediale). La faccetta laterale più grande e leggermente concava. I bordi mediale e laterale sono più sottili e convergono distalmente; ad essi si inseriscono i tendini del vasto mediale e laterale (rispettivamente retinacoli patellari mediale e laterale). Il retinacolo laterale riceve anche contributi dal tratto ileotibiale. In corrispondenza della superficie anteriore della patella abbiamo la fusione dei vasti del quadricipite col tendine rotuleo (1).

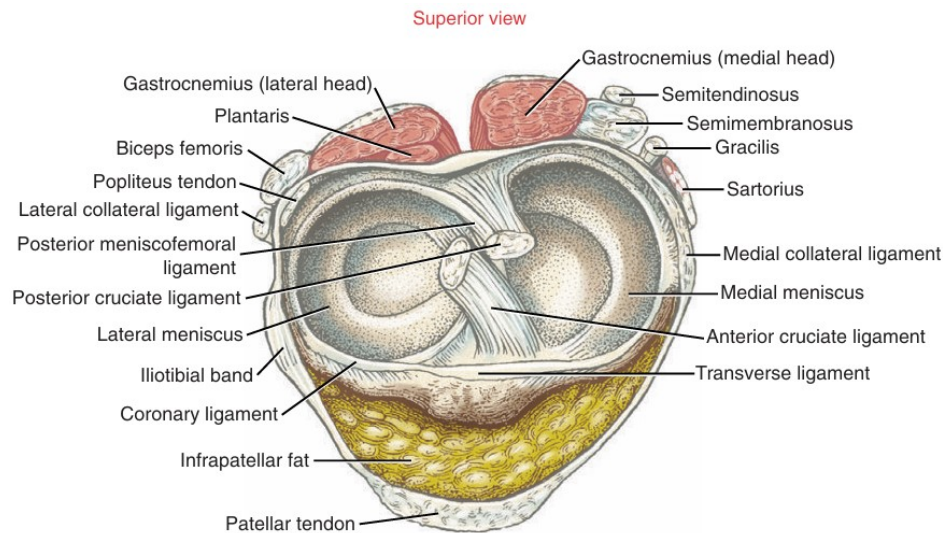


A, Left patella, anterior aspect. Key: 1, area of attachment of rectus femoris; 2, medial border: attachment of medial retinaculum (expansion); 3, apex; 4, area of attachment of vastus intermedius; 5, markings of attachment of tendon of quadriceps femoris; 6, lateral border: attachment of lateral retinaculum (expansion). B, Left patella, articular (posterior) surface. Key: 1, upper lateral facet: in contact with femur in flexion of the knee; 2, lower lateral facet: in contact with femur in extension of the knee; 3, area overlain by edge of circumferential fat pad; 4, upper medial facet: in contact with femur in flexion of the knee; 5, medial vertical ('odd') facet: in contact with femur in extreme flexion of the knee; 6, lower medial facet: in contact with femur in extension of the knee; 7, ridge; 8, area covered by infrapatellar fat pad; 9, area for attachment of patellar ligament. (2)

L'articolazione femoro-tibiale, oltre a queste strutture ossee è caratterizzata dalla presenza di altre strutture altrettanto importanti.

I menischi

Tra queste vi sono i menischi, strutture semilunari, fatti di cartilagine fibrosa. Sono intracapsulari e servono ad adattare i piatti tibiali alle forme più arrotondate delle superfici articolari dei condili femorali. Sono caratterizzati da bordi periferici spessi e convessi e bordi interni sottili e concavi. Le loro regioni esterne sono più vascolarizzate di quelle interne avendo quindi processi di guarigione più rapidi ed efficaci. I corni meniscali sono le porzioni più innervate mentre il terzo centrale del menisco è privo di innervazione. I menischi coprono circa i 2/3 della superficie dei piatti tibiali. Fasci di collagene più sottili paralleli alla superficie rivestono le superfici articolari della parte interna, mentre la porzione esterna è ricoperta dalla sinovia. Questa disposizione strutturale suggerisce funzioni biomeccaniche specifiche per le due regioni: la porzione interna del menisco è adatta a resistere alle forze di compressione mentre la periferia è in grado di resistere alle forze di trazione. (2) Per mantenere un certo grado di conformità e anche per ridurre al minimo la pressione di contatto tra femore e tibia, i menischi hanno una sezione trasversale a forma di cuneo, aumentando così l'area su cui viene distribuita la forza compressiva sul ginocchio. In assenza dei menischi, il carico è sostenuto da un'area di cartilagine molto più piccola, con conseguenti maggiori stress di contatto sulla cartilagine articolare (2).



Ogni ginocchio dispone di due menischi, il mediale ed il laterale.

Menisco mediale

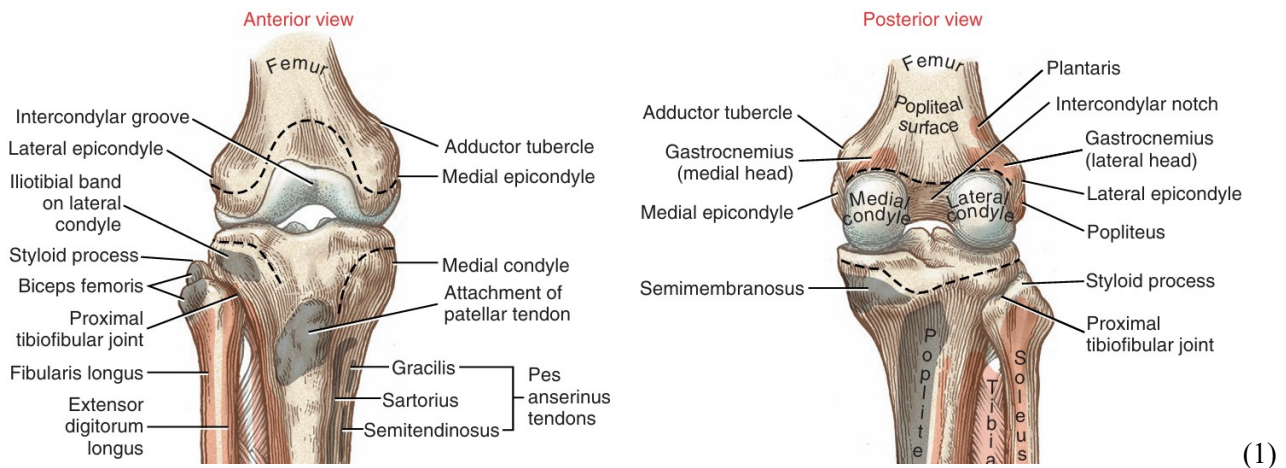
Il menisco mediale è più sviluppato nella porzione posteriore e ha una forma simile a un semicerchio. È collegato tramite il corno anteriore all'area intercondiloidea tibiale anteriore, anteriormente al legamento crociato anteriore; le fibre posteriori del corno anteriore si fondono con il legamento trasverso del ginocchio (se presente). Il corno anteriore si trova in una depressione mediale rispetto alla parte superiore del legamento rotuleo. Il corno posteriore è fissato all'area intercondiloidea tibiale posteriore, tra i punti di inserzione del menisco laterale e del legamento crociato posteriore. Il suo margine periferico è ancorato alla capsula fibrosa e alla superficie profonda del legamento collaterale tibiale. Il punto di attacco del menisco alla tibia è conosciuto come "legamento coronarico o meniscotibiale". Questi punti di attacco insieme assicurano che il menisco mediale sia relativamente fisso e che sia più stabile rispetto al menisco laterale.

Menisco laterale

Il menisco laterale forma invece circa i quattro quinti di un cerchio e copre quindi un'area più ampia del menisco mediale. La sua larghezza, tranne che in corrispondenza delle corna corte e affusolate, è circa uniforme. È solcato posterolateralmente dal tendine del popliteo, che si trova tra esso e il legamento collaterale laterale. Il suo corno anteriore è attaccato anteriormente all'eminanza intercondiloidea, mentre posterolateralmente si fonde parzialmente al legamento crociato anteriore. Il suo corno posteriore è attaccato dietro l'eminanza intercondiloidea, anteriormente al corno posteriore del menisco mediale. Vicino al suo attacco posteriore, solitamente vi è l'inserzione distale del legamento meniscofemorale posteriore che sale superomedialmente dietro il legamento crociato posteriore ad inserirsi al condilo femorale mediale. Un legamento meniscofemorale anteriore può anche collegare il corno posteriore al condilo femorale mediale anteriormente al legamento crociato posteriore. I legamenti meniscofemorali sono spesso le uniche inserzioni del corno posteriore del menisco laterale. Più lateralmente, parte del tendine del popliteo è attaccata al menisco laterale, e quindi la mobilità del suo corno posteriore può essere influenzata proprio dai legamenti meniscofemorali e dal popliteo. Un legamento meniscofibolare è presente nella maggior parte delle articolazioni del ginocchio. Come per il menisco mediale, esiste un attacco tibiale tramite il cosiddetto

legamento coronarico, ma il menisco non ha un attacco osseo periferico nella regione del popliteo; nella letteratura chirurgica questo gap viene chiamato iato popliteo (2).

Capsula e legamenti di rinforzo



La capsula fibrosa del ginocchio racchiude i compartimenti dell'articolazione femoro-tibiale e dell'articolazione femoro-rotulea. Le linee inserzionali della capsula all'osso sono indicate dalle linee tratteggiate nella figura soprastante. La capsula del ginocchio riceve inoltre un rinforzo significativo da muscoli, legamenti e fascia.

Anteriormente la capsula del ginocchio si attacca ai margini della rotula e del tendine rotuleo, essendo rinforzata dal muscolo quadricipite e dalle fibre dei retinacoli rotulei mediale e laterale. Le fibre retinacolari sono collegate a e tra femore, tibia, rotula, quadricipite e tendine rotuleo, legamenti collaterali e menischi.

Lateralmente la capsula del ginocchio è rinforzata dal legamento collaterale laterale (o fibulare), dal retinacolo rotuleo laterale e dalla fascia ileotibiale. La stabilità è fornita inoltre dal bicipite femorale, dal tendine del popliteo e dal capo laterale del gastrocnemio.

La capsula postero-laterale è rinforzata da un insieme di tessuti che è spesso definito come “complesso arcuato”, composto dal legamento popliteo arcuato, dal legamento collaterale laterale e dal muscolo e tendine popliteo.

Posteriormente invece, la capsula è rinforzata dal legamento popliteo obliquo e dal legamento popliteo arcuato. Il legamento popliteo obliquo origina medialmente dalla capsula mediale posteriore e dal tendine semimembranoso. Lateralmente e superiormente, le fibre si fondono con la capsula accanto al condilo femorale laterale. Questo legamento si tende durante la completa estensione del ginocchio, una posizione che naturalmente prevede anche una leggera rotazione esterna della tibia rispetto al femore. Il legamento popliteo arcuato origina invece dalla testa del perone e poi si divide in due fasci. Il più grande e più prominente si inarca (da cui il termine "arcuato") attraverso il tendine del muscolo popliteo per inserirsi all'area intercondiloidea posteriore della tibia. Un fascio più piccolo si inserisce al lato posteriore del condilo femorale laterale e spesso a un osso sesamoide (o fabella) incorporato nel capo laterale del gastrocnemio. Sempre posteriormente vi è anche la stabilizzazione da parte dei muscoli popliteo, gastrocnemio e dalle

estensioni fibrose del tendine semimembranoso. A differenza del gomito, il ginocchio non ha un blocco osseo contro l'iperestensione che è quindi impedita solamente dai muscoli e dalla capsula posteriore.

La capsula mediale del ginocchio si estende dal tendine rotuleo alla capsula posteriore. Il terzo anteriore è stabilizzato da un sottile strato di fascia rinforzato dalle fibre retinacolari rotulee mediali. Il terzo centrale della capsula è rinforzato da un'un'estensione del retinacolo rotuleo mediale e dal legamento collaterale mediale. Il terzo posteriore della capsula è relativamente spesso e viene anche descritto col nome di capsula postero-mediale o legamento obliquo posteriore; va dal tubercolo adduttore fino a fondersi con le espansioni tendinee del semimembranoso e con la capsula posteriore adiacente.

La capsula postero-mediale è infine rinforzata dai tendini della zampa d'oca.

Legamenti, fascia e muscoli che rinforzano la capsula del ginocchio – Tabella riassuntiva (1)

Region of the Capsule	Connective Tissue Reinforcement	Muscular-Tendinous Reinforcement
Anterior	Patellar tendon Patellar retinacular fibers	Quadriceps
Lateral	Lateral collateral ligament Lateral patellar retinacular fibers Iliotibial band	Biceps femoris Tendon of the popliteus Lateral head of the gastrocnemius
Posterior	Oblique popliteal ligament Arcuate popliteal ligament	Popliteus Gastrocnemius Hamstrings, especially the tendon of the semimembranosus
Posterior-lateral	Arcuate popliteal ligament Lateral collateral ligament	Tendon of the popliteus
Medial	Medial patellar retinacular fibers* Medial collateral ligament Thickened fibers posterior-medially†	Expansions from the tendon of the semimembranosus Tendons of the sartorius, gracilis, and semitendinosus

*Often referred to as the medial patellofemoral ligament.

†Often referred to as the *posterior-medial capsule* or the *posterior oblique ligament*.

Legamenti fondamentali:

Legamento collaterale mediale

Il legamento collaterale mediale (tibiale) (MCL) è una struttura piatta e larga avente porzioni superficiali e profonde. La porzione superficiale e più grande è costituita da un fascio di fibre parallele di circa 10 cm di lunghezza. Nasce dall'epicondilo mediale del femore, le fibre superficiali scendono per fondersi con le fibre retiniche rotulee mediali e attaccarsi all'aspetto mediale-prossimale della tibia. Le fibre si attaccano appena posteriormente agli attacchi distali dei tendini del sartorio e del gracile. La parte profonda del MCL è costituita da fibre più corte e oblique, originano leggermente posteriormente e distalmente all'attacco prossimale delle fibre superficiali; si attaccano distalmente alla capsula articolare postero-mediale, al menisco mediale e al tendine del muscolo semimembranoso.

Legamento collaterale laterale

Il legamento collaterale laterale (fibulare) è un cordone rotondo e robusto che decorre quasi verticalmente tra l'epicondilo laterale del femore e la testa del perone. Distalmente, il legamento collaterale laterale si fonde con il tendine del muscolo bicipite femorale. Il MCL, non si attacca al menisco laterale adiacente.

Legamento trasverso del ginocchio

Il legamento trasverso del ginocchio collega il margine convesso anteriore del menisco laterale al corno anteriore del menisco mediale. Varia in spessore e non sempre è presente. Il suo ruolo esatto non è definito, sebbene uno studio abbia scoperto che il legamento è lievemente teso nell'estensione del ginocchio (Tubbs et al 2008); presumibilmente, contribuisce a ridurre la tensione generata nelle fibre circonferenziali longitudinali dei menischi quando il ginocchio è sottoposto a carico. A volte è presente un legamento menisco meniscale anche posteriormente (2).

Legamenti meniscefemorali

I due legamenti meniscefemorali collegano il corno posteriore del menisco laterale al margine interno del condilo femorale mediale. Il legamento meniscefemorale anteriore (legamento di Humphrey) decorre anteriormente al legamento crociato posteriore. Il legamento meniscefemorale posteriore (legamento di Wrisberg) decorre invece posteriormente al legamento crociato posteriore e si attacca prossimalmente al margine di attacco del crociato posteriore(2).

Legamenti crociati

I legamenti crociati sono strutture molto forti e riccamente innervate, così chiamati perché si incrociano tra loro in un punto che si trova un po' posteriormente al centro articolare (2). La membrana sinoviale della capsula articolare del ginocchio passa davanti al legamento crociato anteriore e a quello posteriore, in tal modo questi legamenti sono intracapsulari ma extrarticolari, essendo situati tra la membrana sinoviale e la membrana fibrosa (3). Sono chiamati anteriore e posteriore in riferimento alle loro inserzioni tibiali (2).

Legamento crociato anteriore

Il legamento crociato anteriore origina dall'area intercondiloidea anteriore della tibia, appena anteriormente e leggermente lateralmente al tubercolo intercondiloideo mediale, fondendosi parzialmente con il corno anteriore del menisco laterale. Sale poi posterolateralmente, ruotando su se stesso e aprendosi a ventaglio per inserirsi al margine posteromediale del condilo femorale laterale (Girgis et al 1975). La lunghezza e la larghezza medie di un LCA adulto sono rispettivamente 38 mm e 11 mm. Questo legamento è composto da due, o forse tre, fasci funzionali che non sono distinguibili a occhio nudo ma possono essere separati mediante tecniche di microdissezione. Questi fasci sono denominati anteromediale, intermedio e posterolaterale, in base ai loro attacchi tibiali (Amis e Dawkins 1991) (2).

Legamento crociato posteriore

Il legamento crociato posteriore è più spesso e più forte del legamento crociato anteriore, la lunghezza e la larghezza medie in un adulto sono rispettivamente 38 mm e 13 mm. Origina da un'area che va dalla superficie laterale del condilo femorale mediale alla parte anteriore del tetto della fossa intercondiloidea, dove il suo attacco è esteso in direzione anteroposteriore. Si inserisce distalmente e posteriormente a un attacco abbastanza compatto posteriormente nella regione intercondiloidea e in una depressione tibiale adiacente. Ciò conferisce una struttura a ventaglio con orientamento delle fibre variabile. Questo legamento è formato da due fasci: l'anterolaterale e il posteromediale; sono denominati in base ai loro attacchi femorali. Il fascio anterolaterale si tende in flessione mentre il fascio posteromediale si tende in estensione.. A

differenza del legamento crociato anteriore quindi, non è uniforme durante il movimento del ginocchio, ovvero la distanza tra gli attacchi varia a seconda della posizione del ginocchio. Il legamento crociato posteriore si rompe meno comunemente del legamento crociato anteriore e la rottura è solitamente meglio tollerata dai pazienti rispetto alla rottura del legamento crociato anteriore (2).

Borse e cuscinetti adiposi

La superficie interna della capsula del ginocchio è rivestita dalla membrana sinoviale. Il ginocchio inoltre, ha fino a 14 borse (vedi la tabella sottostante), che si trovano in corrispondenza delle giunzioni intertessutali, caratterizzate da un forte attrito durante il movimento. Queste giunzioni comprendono tendini, legamenti, pelle, ossa, capsula e muscoli. Alcune borse sono semplicemente estensioni della membrana sinoviale, altre invece si formano esternamente alla capsula. Attività che comportano forze eccessive e ripetitive in queste giunzioni intertessutali possono portare alla borsite, ovvero la loro infiammazione. I cuscinetti adiposi sono spesso associati alle borse del ginocchio; i più estesi sono associati alle borse soprapatellari e infrapatellari profonde. Il grasso e il liquido sinoviale riducono l'attrito tra le parti in movimento (1).

Esempi di borse in varie giunzioni inter-tessutali (1):

Inter-tissue Junction	Examples
Ligament and tendon	Bursa between the lateral collateral ligament and tendon of the biceps femoris Bursa between the medial collateral ligament and tendons of the pes anserinus (i.e., gracilis, semitendinosus, and sartorius)
Muscle and capsule	Unnamed bursa between the medial head of the gastrocnemius and the medial side of the capsule
Bone and skin	<i>Subcutaneous prepatellar bursa</i> between the inferior border of the patella and the skin
Tendon and bone	<i>Semimembranosus bursa</i> between the tendon of the semimembranosus and the medial condyle of the tibia
Bone and muscle	<i>Suprapatellar bursa</i> between the femur and the quadriceps femoris (largest of the knee)
Bone and ligament	<i>Deep infrapatellar bursa</i> between the tibia and patellar tendon

Muscoli e loro azioni sull'articolazione femorotibiale

I muscoli che hanno un'influenza diretta sui movimenti del ginocchio sono:

- **Retto femorale:** Origina dalla Spina iliaca anteriore inferiore dell'ileo e dal labbro acetabolare inferiore per inserirsi al margine superiore della rotula e poi fondersi al tendine rotuleo. Estende il ginocchio. (1;3)
- **Vasto intermedio:** Origina dai due terzi superiori della superficie anteriore del femore per inserirsi al bordo superiore della rotula e poi fondersi al tendine rotuleo. Estende il ginocchio. (1;3)
- **Vasto laterale:** Origina dalla linea intertrocanterica, bordi anteriore e inferiore del grande trocantere, tuberosità glutea, metà superiore della linea aspra e intero setto intermuscolare laterale per inserirsi al margine laterale della rotula e poi fondersi al tendine rotuleo. Estende il ginocchio. (1;3)
- **Vasto mediale:** Origina dalla linea aspra e dalla cresta condiloidea mediale e si inserisce poi alla porzione mediale del margine superiore della rotula per poi fondersi al tendine rotuleo. Estende il ginocchio. (1;3)
- **Bicipite femorale:** Origina tramite il capo lungo dalla tuberosità ischiatica e tramite il capo breve dalla metà inferiore della linea aspra e dalla cresta condiloidea laterale per inserirsi alla testa del

perone e al condilo laterale della tibia. (flette il ginocchio ed extraruota la tibia con entrambi i suoi capi) (1;3)

- **Popliteo:** Origina dalla superficie posteriore del condilo laterale del femore inserendosi alla superficie mediale posteriore superiore della tibia. Flette il ginocchio ed intraruota la tibia. (1;3)
- **Semimembranoso:** Origina dalla tuberosità ischiatica e si inserisce alla superficie posteromediale del condilo tibiale mediale. Flette il ginocchio ed intraruota la tibia. (1;3)
- **Semitendinoso:** Origina dalla tuberosità ischiatica per inserirsi alla superficie mediale anteriore superiore della tibia appena sotto il condilo nella zampa d'oca. Flette il ginocchio ed intraruota la tibia. (1;3)
- **Tensore della fascia lata:** Origina dalla spina iliaca anteriore superiore e dall'adiacente superficie laterale e posteriore dell'ileo e si inserisce tramite la bandelletta ileotibiale della fascia lata, al condilo laterale della tibia (2). Ha un contributo minimo all'estensione e all'extrarotazione del ginocchio (4).
- **Sartorio:** Origina dalla spina iliaca anteriore superiore dell'ileo e si inserisce alla superficie mediale anteriore superiore della tibia nella zampa d'oca. (2). Contribuisce a flettere il ginocchio ed intraruotare la tibia (1).
- **Gracile:** Origina dal ramo inferiore del pube, per poi inserirsi alla superficie mediale anteriore superiore della tibia nella zampa d'oca (2). Contribuisce a flettere il ginocchio ed intraruotare la tibia (1).
- **Gastrocnemio:** Origina dai condili femorali per inserirsi poi, tramite il tendine d'Achille al calcagno.(2). Contribuisce a flettere il ginocchio (1).
- **Plantare:** Origina dal ramo laterale della linea aspra e dalla capsula articolare del ginocchio e si inserisce sul calcagno (2). Contribuisce a flettere il ginocchio (1).

Vascularizzazione ed innervazione

Arterie

Esiste un'intricata anastomosi arteriosa che circonda la rotula e i condili femorali e tibiali. Una rete arteriosa superficiale si trova tra la fascia e la cute attorno alla rotula e si insinua nel tessuto adiposo posteriormente al legamento rotuleo. Una rete arteriosa profonda si trova invece sul femore e sulla tibia vicino alle superfici articolari e irrorata di sangue l'osso, la capsula articolare, la membrana sinoviale e i legamenti crociati. I vasi in questione sono i rami genicolari superiore, medio e inferiore dell'arteria poplitea, i rami genicolari discendenti dell'arteria femorale, il ramo discendente dell'arteria femorale circonflessa laterale, l'arteria peroneale circonflessa, e le arterie ricorrenti tibiali anteriore e posteriore. (2)

Vene

Le vene che drenano il ginocchio corrispondono nel nome alle arterie e vi corrono adiacenti; le vene minori confluiscono nelle vene poplitee e femorali. (2)

Nervi

L'articolazione del ginocchio è innervata dal ramo terminale della divisione posteriore del nervo otturatore, da alcuni rami del nervo femorale, e dai rami genicolari dei nervi tibiale e peroneo comune. (2)

1.2 Biomeccanica dell'articolazione femoro-tibiale

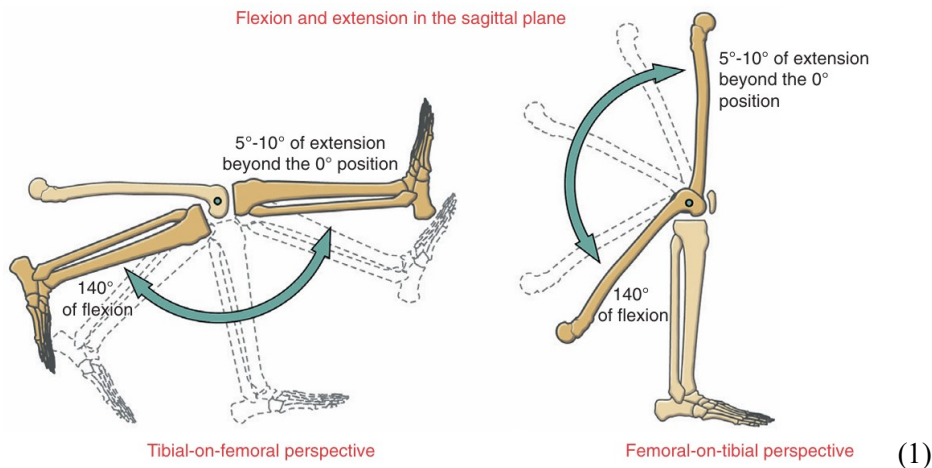
Cinematica del ginocchio

L'articolazione del ginocchio può essere descritta come un gimblimo modificato che consente la flessione-estensione e una misura del movimento rotatorio(2). Sul piano sagittale avvengono i movimenti di flessione ed estensione e, nel caso in cui il ginocchio sia almeno leggermente flesso, rotazione interna ed esterna. Il movimento sul piano frontale del ginocchio è solo passivo e limitato a circa 6-7 gradi (1). Il movimento del ginocchio è normalmente definito come partenza da 0° (posizione neutra), quando la tibia e il femore sono in linea nel piano sagittale. Biomeccanicamente, è importante che il ginocchio raggiunga la posizione neutra in estensione perché ciò consente alla gamba di sostenere il peso corporeo come un semplice montante durante lo standing. Quando il soggetto è in posizione eretta, se il ginocchio è flesso, la linea d'azione verticale del peso corporeo passa posteriormente al centro di rotazione del ginocchio, tendendo a far inclinare il corpo posteriormente. Per controbilanciare, è richiesta una contrazione continua del quadricipite femorale, causando un dispendio di energia. La flessione attiva del ginocchio è di circa 130°, limitata dall'apposizione delle masse dei tessuti molli (coscia posteriore e polpaccio). La flessione passiva può raggiungere i 160, tale flessione profonda è spesso accompagnata da rotazione mediale tibiale (2).

Il movimento del ginocchio ha un ruolo fondamentale durante la deambulazione. Durante lo swing, il ginocchio deve essere flesso per evitare di inciampare; ciò richiede una flessione del ginocchio di circa 67°. Quando la gamba oscillante si avvicina al primo contatto con il terreno, il ginocchio si estende, per spostare il piede in avanti per l'impatto del tallone. Se il ginocchio rimanesse esteso, ciò causerebbe il movimento del corpo in un arco circolare, centrato sulla caviglia, causando lo spostamento del baricentro verso l'alto e poi di nuovo verso il basso, con conseguente maggiore dispendio energetico. Ciò aumenterebbe anche le forze sul ginocchio perché la gamba agirebbe più come un montante rigido, incapace di dissipare le forze di impatto quando il piede colpisce il terreno. Tutti questi problemi vengono superati flettendo il ginocchio di 15° nella fase di appoggio intermedio; il baricentro del corpo può muoversi in avanti a un'altezza approssimativamente costante e l'energia d'impatto viene assorbita allungando il quadricipite femorale(2).

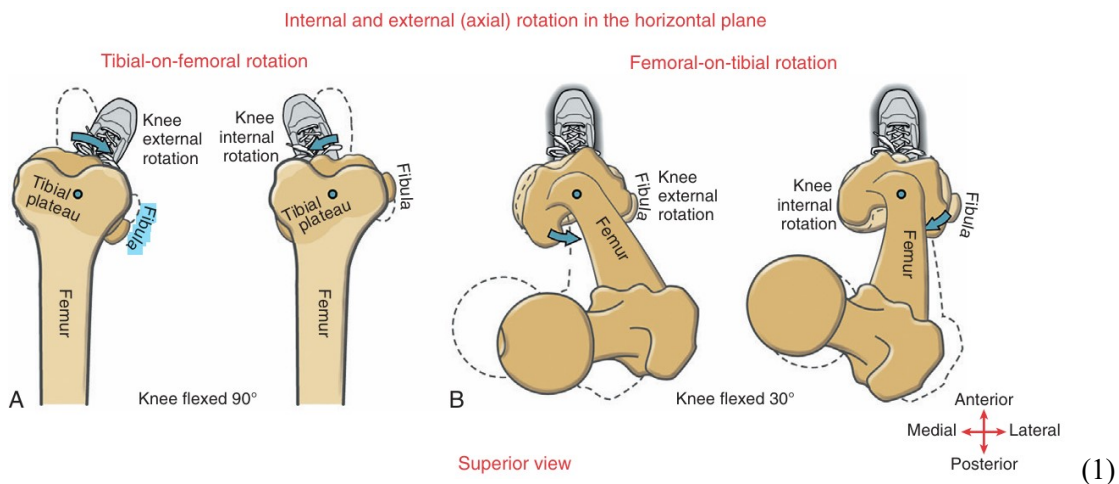
Flesso-estensione

La flessione e l'estensione del ginocchio si verificano attorno a un asse di rotazione latero-laterale. L'ampiezza del movimento varia in base all'età e al sesso, ma in generale il ginocchio sano esegue da 130 a 150 gradi di flessione e circa 5-10 gradi di estensione oltre lo 0 (iperestensione). L'asse di rotazione per la flessione-estensione non è fisso, ma migra all'interno dei condili femorali. Il percorso dell'asse è influenzato dalla curvatura eccentrica dei condili femorali e ha implicazioni biomeccaniche e cliniche. Innanzitutto, l'asse migrante altera la lunghezza del braccio di leva dei muscoli flessori ed estensori del ginocchio variando la coppia interna allo sforzo massimo in base all'ampiezza del movimento (1).



Rotazioni

Le rotazioni interna ed esterna del ginocchio avvengono attorno a un asse di rotazione longitudinale. Questo movimento è anche chiamato rotazione "assiale". Generalmente, il ROM di questo movimento aumenta con una maggiore flessione del ginocchio. Un ginocchio flesso a 90 gradi può eseguire circa 40-45 gradi di rotazione assiale totale. Solitamente il ROM dell'extra rotazione è circa il doppio di quella interna. Quando il ginocchio è in completa estensione, tuttavia, la rotazione del ginocchio è significativamente bloccata dalla tensione passiva dei legamenti, da parti della capsula e da una maggiore congruenza ossea all'interno dell'articolazione. La rotazione assiale del ginocchio fornisce un importante elemento funzionale e può avvenire per rotazione tibia su femore o femore su tibia (o entrambe simultaneamente). La rotazione di tibia su femore del ginocchio si verifica quando la tibia ruota rispetto a un femore stazionario. Al contrario, la rotazione di femore su tibia avviene quando il femore ruota rispetto a una tibia (e piede) stazionari. Tuttavia bisogna porre attenzione all'analisi del movimento, ad esempio, la rotazione esterna femorale su tibia del ginocchio avviene quando il femore ruota internamente rispetto a una tibia (e a un piede) fermo. La distinzione tra rotazione ossea (tibiale o femorale) e rotazione dell'articolazione del ginocchio deve essere sempre chiara per evitare interpretazioni errate. Questo punto è particolarmente importante nella descrizione dell'osteocinematica femoro-tibiale (1).



ARTROCINEMATICA DELL'ARTICOLAZIONE TIBIO-FEMORALE

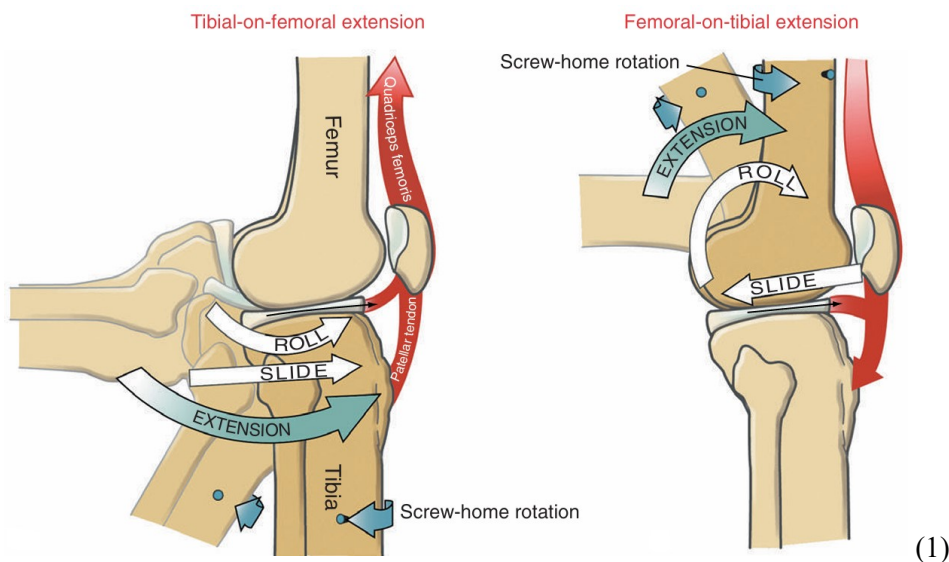
Estensione del ginocchio

Le sezioni sagittali del ginocchio rivelano che gli archi dei condili femorali sono più lunghi della lunghezza antero-posteriore dei piatti tibiali. Ciò significa che se il ginocchio si flettesse con un movimento puramente rotatorio, il femore rotolerebbe via dalla parte posteriore della tibia molto prima che il ginocchio raggiunga la flessione completa. Per evitarlo il femore scivola anteriormente nello stesso momento in cui rotola posteriormente e quindi rimane nella corretta articolazione (2).

Durante l'estensione attiva di tibia su femore, la superficie articolare della tibia rotola e scivola anteriormente sui condili femorali. I menischi vengono tirati anteriormente dal muscolo quadricipite in contrazione. Durante l'estensione di femore su tibia, i condili femorali rotolano simultaneamente anteriormente e scivolano posteriormente sulla superficie articolare della tibia. Questa artrocinematica "di compensazione" limita la traslazione anteriore del femore sulla tibia. Il quadricipite direziona il rotolamento dei condili femorali e stabilizza i menischi contro il taglio orizzontale dato dallo scorrimento del femore (1).

Flessione del ginocchio

Nel ginocchio bloccato e completamente esteso, le superfici articolari femorali anterodistali premono sulle corna anteriori dei menischi. Ciò tende a far scivolare il femore posteriormente, tendendo il legamento crociato anteriore e allentando il legamento crociato posteriore (2). Per sbloccare un ginocchio completamente esteso, l'articolazione deve prima ruotare leggermente internamente. Questa azione è guidata principalmente dal muscolo popliteo. Il muscolo può ruotare il femore esternamente per avviare la flessione femoro-tibiale o può ruotare la tibia internamente per avviare la flessione tibio-femorale (1). Con la flessione del ginocchio, il femore si solleva dalle corna anteriori dei menischi, determinando il contatto tra i raggi più piccoli delle parti posteriori dei condili femorali e il piatto tibiale più le corna posteriori dei menischi. Ciò significa che il centro di contatto si sposta posteriormente nella flessione precoce del ginocchio dove il femore è bloccato nel rotolare ulteriormente indietro dalla tensione nel legamento crociato anteriore (2).



La rotazione "Screw-Home": il bloccaggio del ginocchio in estensione completa richiede circa 10 gradi di rotazione esterna dove il femore ruota internamente rispetto alla tibia fissa, storicamente definita rotazione "Screw-Home", in base alla torsione osservabile del ginocchio durante gli ultimi 30 gradi circa di estensione. La rotazione "Screw-Home" (esterna) è stata descritta come una rotazione congiunta, sottolineando il fatto che è accoppiata meccanicamente alla cinematica di flessione ed estensione e non può essere eseguita in modo indipendente. La rotazione esterna combinata all'estensione del ginocchio massimizzano la superficie di contatto complessiva del ginocchio adulto: 375 mm² nell'articolazione tibiofemorale mediale e circa 275 mm² nell'articolazione tibiofemorale laterale; questo aumenta la congruenza articolare e favorisce la stabilità. La meccanica della rotazione screw-home è guidata da almeno tre fattori: la forma del condilo femorale mediale, la tensione passiva nel legamento crociato anteriore e la leggera trazione laterale del muscolo quadricipite. Il fattore più importante è la forma del condilo femorale mediale che si curva di circa 30 gradi lateralmente, mentre si avvicina al solco intercondiloideo. Poiché la superficie articolare del condilo mediale si estende più anteriormente rispetto al condilo laterale, la tibia è obbligata a "seguire" il percorso curvo lateralmente in estensione tibia su femore completa. Durante l'estensione femore su tibia, il femore segue un percorso curvo medialmente sulla tibia. In entrambi i casi, il risultato è la rotazione esterna del ginocchio in estensione completa (1).

Rotazione interna ed esterna (assiale) del ginocchio

Come descritto in precedenza, il ginocchio deve essere flesso per massimizzare la rotazione assiale indipendente tra tibia e femore. Una volta che il ginocchio è flesso, l'artrocinematica della rotazione interna ed esterna comporta principalmente una rotazione tra i menischi e le superfici articolari di tibia e femore. La rotazione assiale del femore sulla tibia causa una leggera deformazione dei menischi, poiché vengono compressi tra i condili femorali rotanti. I menischi sono stabilizzati da connessioni di muscolatura attiva come il popliteo e il semimembranoso (1).

1.3 Fattori che determinano la stabilità dell'articolazione femoro-tibiale

L'articolazione del ginocchio si affida a vincoli attivi (muscolotendinei) e passivi (capsulo-legamentosi) per mantenere la sua stabilità. I muscoli forniscono il carico per muovere l'articolazione: quadricipite femorale, muscoli posteriori della coscia e gastrocnemio controllano sia la flessione/estensione che la rotazione medio-laterale. Tuttavia, causano anche forze di taglio antero-posteriori che sono contrastate principalmente dai legamenti crociati. Questo effetto di ancoraggio è fondamentale per consentire all'articolazione di muoversi fisiologicamente, mantenendo congruenza e stabilità (1).

Legamenti collaterali: La funzione primaria dei legamenti collaterali è quella di limitare il movimento eccessivo del ginocchio sul piano frontale. A ginocchio esteso, il fascio superficiale del legamento collaterale mediale fornisce la resistenza primaria contro una forza di valgo. Il legamento collaterale laterale, invece, fornisce la resistenza primaria contro una forza di varo (2).

	Valgus Force	Varus Force
Primary restraint	Medial collateral ligament, especially the superficial fibers	Lateral collateral ligament
Secondary restraint	Posterior-medial capsule (includes semimembranosus tendon) Anterior and posterior cruciate ligaments Joint contact laterally Compression of the lateral meniscus Medial retinacular fibers Pes anserinus (i.e., tendons of the sartorius, gracilis, and semitendinosus) Gastrocnemius (medial head)	Arcuate complex (includes lateral collateral ligament, posterior-lateral capsule, popliteus tendon, and arcuate popliteal ligament) Iliotibial band Biceps femoris tendon Joint contact medially Compression of the medial meniscus Anterior and posterior cruciate ligaments Gastrocnemius (lateral head)

*Assume a fully extended knee.

(1)

Una funzione secondaria dei legamenti collaterali è quella di produrre una tensione stabilizzante generalizzata al ginocchio attraverso l'intervallo di movimento del piano sagittale. Sebbene alcune delle fibre che costituiscono i legamenti collaterali siano tese durante l'intera gamma di flessione ed estensione del ginocchio, la maggior parte è posizionata leggermente posteriormente all'asse di rotazione medio-laterale del ginocchio e pertanto è relativamente tesa in estensione completa. Altre strutture che diventano più tese in estensione completa sono la capsula postero-mediale, il legamento popliteo obliquo (rappresentativo della capsula posteriore), i muscoli flessori del ginocchio e i componenti del legamento crociato anteriore. Questi tessuti sono relativamente laschi in flessione e più tesi quando il ginocchio assume la posizione bloccata di estensione completa di femore su tibia. L'estensione completa, che include la cinematica della rotazione, allunga i legamenti collaterali di circa il 20% oltre la loro lunghezza a flessione completa. Sebbene siano uno stabilizzatore prezioso in estensione completa, il legamento collaterale mediale (MCL) e la capsula postero-mediale sono particolarmente vulnerabili alle lesioni da un carico. Inoltre, poiché le fibre più profonde del legamento collaterale mediale sono più corte delle superficiali, subiscono una percentuale maggiore di allungamento quando sottoposte a una sollecitazione valgo (abduzione). I legamenti collaterali e la capsula adiacente forniscono anche resistenza ai gradi estremi di rotazione (1).

Legamenti crociati anteriori e posteriori: Agendo insieme, i legamenti crociati anteriore e posteriore resistono ai gradi estremi di tutti i movimenti del ginocchio. Ancora più importante, tuttavia, i legamenti crociati forniscono la maggior parte della resistenza alle forze di taglio antero-posteriori create tra tibia e femore. Queste forze riflettono la cinematica naturale del piano sagittale associata alla camminata, alla corsa, allo squat e al salto. Oltre a stabilizzare il ginocchio, la tensione nei legamenti crociati anteriore e posteriore guida l'artrocinematica dell'articolazione. Inoltre, poiché i crociati contengono meccanocettori, forniscono al sistema nervoso un feedback propriocettivo. Oltre ad aiutare a controllare il movimento, questi recettori sensoriali svolgono un ruolo protettivo limitando in modo riflesso l'attivazione muscolare che potrebbe creare una tensione eccessiva e potenzialmente dannosa sul legamento crociato anteriore(1).

Legamento crociato anteriore: La tensione e l'orientamento del LCA cambiano quando il ginocchio si flette o estende. Sebbene alcune fibre del LCA rimangano relativamente tese per tutti i gradi di movimento sul piano sagittale, la maggior parte delle fibre, soprattutto quelle del fascio postero-laterale, si tendono maggiormente raggiungendo la completa estensione. Oltre alla maggior parte delle fibre del LCA, anche la capsula posteriore, parti dei legamenti collaterali e tutti i muscoli flessori del ginocchio si tendono in

estensione, aiutando a stabilizzare il ginocchio, soprattutto in carico. La tensione delle fibre allungate del LCA aiuta a limitare l'entità dell'artrocinematica dello scivolamento anteriore della tibia che negli ultimi circa 50-60 gradi di estensione completa del ginocchio viene trascinata anteriormente dalla forza generata dal quadricipite femorale. Nel ginocchio normale infatti, il LCA fornisce circa l'85% della resistenza passiva alla traslazione anteriore della tibia (1).

Legamento crociato posteriore: Quando il ginocchio si flette, il LCP subisce una torsione complessa cambiando lunghezza e orientamento. Alcune fibre all'interno del PCL rimangono tese per la maggior parte della flessione e dell'estensione, sebbene la maggior parte del legamento diventi sempre più tesa con una maggiore flessione. Tra l'estensione completa e circa 30-40 gradi di flessione, la maggior parte del PCL è relativamente allentata; la tensione raggiunge invece il picco tra i 90 e 120 gradi di flessione. L'analisi in vivo tramite risonanza magnetica per immagini (RMI) mostra che, in media, la maggior parte del PCL si allunga di circa il 30% della sua lunghezza tra l'estensione completa e 90 gradi di flessione che corrisponde a un aumento di circa il 3% della lunghezza ogni 10 gradi di flessione. Il PCL fornisce anche un vincolo secondario ai carichi in varo- valgo, e all'eccessiva rotazione assiale. Il PCL limita inoltre lo scivolamento posteriore della tibia che avviene durante la flessione per la forza esercitata dai muscoli flessori del ginocchio. Per questo motivo, i muscoli posteriori della coscia sono spesso indicati come "antagonisti del PCL", specialmente ad angoli di flessione vicini a 90 gradi. Infatti con il ginocchio flesso a circa 90 gradi, il PCL fornisce circa il 95% della resistenza passiva totale alla traslazione posteriore della tibia.

Un'altra funzione del PCL è quella di limitare l'entità della traslazione anteriore del femore rispetto alla gamba inferiore fissa. Attività come la rapida discesa in uno squat profondo possono creare una potenziale traslazione anteriore del femore rispetto alla tibia con l'aiuto del robusto tendine del popliteo. L'importanza della funzione di contenimento del popliteo è più evidente nelle persone con un ginocchio con deficit del PCL (1;2).

Structure	Function	Common Mechanisms of Injury
Medial collateral ligament (and posterior-medial capsule)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Resists valgus (abduction) 2. Resists knee extension 3. Resists extremes of axial rotation (especially knee external rotation) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Valgus-producing force with foot planted (e.g., "clip" in football) 2. Severe hyperextension of the knee
Lateral collateral ligament	<ol style="list-style-type: none"> 1. Resists varus (adduction) 2. Resists knee extension 3. Resists extremes of axial rotation 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Varus-producing force with foot planted 2. Severe hyperextension of the knee
Posterior capsule	<ol style="list-style-type: none"> 1. Resists knee extension 2. Oblique popliteal ligament resists knee external rotation 3. Posterior-lateral capsule resists varus 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hyperextension or combined hyperextension with external rotation of the knee
Anterior cruciate ligament	<ol style="list-style-type: none"> 1. Most fibers resist extension (either excessive anterior translation of the tibia, posterior translation of the femur, or a combination thereof) 2. Resists extremes of varus, valgus, and axial rotation 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Large valgus-producing force with the foot firmly planted 2. Large axial rotation torque applied to the knee (in either rotation direction), with the foot firmly planted 3. Any combination of the above, especially involving strong quadriceps contraction with the knee in full or near-full extension 4. Severe hyperextension of the knee
Posterior cruciate ligament	<ol style="list-style-type: none"> 1. Most fibers resist knee flexion (either excessive posterior translation of the tibia or anterior translation of the femur, or a combination thereof) 2. Resists extremes of varus, valgus, and axial rotation 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Falling on a fully flexed knee (with ankle fully plantar flexed) such that the proximal tibia first strikes the ground 2. Any event that causes a forceful posterior translation of the tibia (i.e., "dashboard" injury) or anterior translation of the femur, especially while the knee is flexed 3. Large axial rotation or valgus-varus applied torque to the knee with the foot firmly planted, especially while the knee is flexed 4. Severe hyperextension of the knee causing a large gapping of the posterior side of the joint

(1)

CAPITOLO II: La patologia - rottura del LCA

2.1 Epidemiologia

Le rotture del legamento crociato anteriore (ACL) sono lesioni muscoloscheletriche prevalenti tra gli individui sportivi e fisicamente attivi e sono più frequentemente osservate nella popolazione di età compresa tra 15 e 25 anni (5). In particolare, sono le lesioni legamentose più comuni del ginocchio, vengono infatti documentati tra i 100.000 e i 200.000 infortuni tra gli atleti all'anno (6) e a risultare particolarmente a rischio di questi infortuni sono gli adolescenti maschi e femmine che competono in sport con la palla che prevedono contatto (7).

Le lesioni del LCA si verificano tramite meccanismi di contatto e non di contatto, con i primi più comuni negli uomini e i secondi più comuni nelle donne (6). L'incidenza complessiva di lesioni non da contatto è di 0,07 ogni 1000 ore di prestazione sportiva del giocatore e di 0,05 ogni 1000 prestazioni sportive del giocatore. La percentuale complessiva di questo tipo di lesione rispetto al totale delle lesioni al LCA è del 55%, oltre la metà di tutte le lesioni del legamento crociato anteriore subite, in particolare il 63% nel totale delle donne e il 50% nel totale degli uomini (8).

L'incidenza di lesioni è più alta nelle atlete (0,14 ogni 1000 ore) rispetto agli atleti (0,05 ogni 1000 ore), una differenza significativa (8,9). Si stima che un'atleta donna multi-sport abbia un rischio di lesioni del legamento crociato anteriore di quasi il 10% durante l'intera carriera (7).

I tassi di infortunio al legamento crociato anteriore sono inoltre maggiori nei giocatori che competono a livelli di gioco più elevati e durante le partite piuttosto che nell'allenamento (9). L'incidenza degli infortuni durante la competizione è infatti 0,48 ogni 1000 ore e 0,32 ogni 1000 prestazioni mentre durante l'allenamento è di 0,04 ogni 1000 ore e 0,02 ogni 1000 prestazioni, anche qui una differenza significativa (8).

2.2 Eziologia e meccanismi di rottura

L'articolazione del ginocchio potenzialmente trasla e ruota su tutti e tre i piani (sagittale, frontale e trasversale). La maggior parte del movimento avviene sul piano sagittale (flessione/ estensione del ginocchio) e il movimento oltre i normali intervalli fisiologici su qualsiasi piano può causare lesioni legamentose (10), in quanto i legamenti hanno proprio la funzione di limitare il movimento eccessivo, soprattutto di traslazione e rotazione dei capi ossei dell'articolazione.

I meccanismi di una lesione del legamento crociato anteriore sono classificati come contatto diretto, contatto indiretto e senza contatto, di cui gli infortuni senza contatto sono i più frequenti e sono causati da forze generate all'interno del corpo dell'atleta (11).

Per quanto riguarda i movimenti che andrebbero a causare la lesione, si è notato che ad essere più comune e frequente è un meccanismo di lesione caratterizzato da un trauma combinato di rotazione interna e valgo senza contatto (12), in associazione ad un ginocchio quasi esteso (13). Più in particolare, una ricerca tramite visione di video con integrazione di metodi in vivo, in vitro (su cadaveri) e in silicone (metodi di modellazione al computer) ha prodotto risultati a supporto di un meccanismo di collasso valgo con potenziali

carichi multiplanari di abduzione tibiale, combinati con traslazione tibiale anteriore o rotazioni tibiali esterne o interne (10).

Il meccanismo che causa la lesione del legamento crociato anteriore senza contatto simula quindi il test di pivot-shift. Inoltre la posizione del contatto iniziale con il terreno in o vicino a una posizione a piede piatto (ad esempio, ridotta flessione plantare della caviglia) e l'aumentata flessione dell'anca predispongono il ginocchio alla rottura del legamento crociato anteriore riducendo le capacità di smorzamento dell'impatto da parte dell'arto inferiore e posizionando il compartimento tibiale laterale più vicino alla posizione sublussata (14).

Per quanto riguarda invece le sollecitazioni che vanno effettivamente a causare la lesione del legamento, è probabile che una forza assiale impulsiva esterna sia la forza primaria che causa la lesione del legamento crociato anteriore senza contatto. Una vigorosa contrazione eccentrica del quadricipite che causa forze di taglio anteriori, un allineamento valgo e/o momenti di abduzione del ginocchio possono aumentare la tensione all'interno del legamento crociato anteriore, abbassando così la soglia della forza di compressione assiale necessaria per causare la lesione (15).

Una volta analizzati i movimenti e le forze che causano questa lesione è anche necessario analizzare le cause che portano ad essi. Nei traumi da contatto e da contatto indiretto la causa scatenante è solitamente il contatto con un altro giocatore in situazione di gioco o comunque con un corpo estraneo in una posizione solitamente di iperestensione a portare all'eccessivo stress sul legamento.

Nelle lesioni da non contatto, è solitamente un atterraggio brusco da un salto o una scorretta posizione in un cambio di direzione brusco a causare l'eccessiva sollecitazione. Capire le cause di questi atterraggi e cambi di direzioni eseguiti con posizioni non ottimali e o smorzamento dell'impatto errato può sicuramente essere utile per il fisioterapista nella definizione del piano di trattamento per poter prevenire un ltro infortunio analogo futuro.

Piccole perturbazioni che possono avvenire appena prima dell'atterraggio o della decelerazione nel movimento sono considerati i fattori esterni scatenanti più importanti perchè possono interrompere i normali schemi motori e la coordinazione dei pazienti e/o portare a una posizione errata della gamba al contatto iniziale con il terreno (11,15).

Inoltre qualsiasi deficit o ritardo nella sensibilità o nella pressione o nell'elaborazione dell'attenzione può contribuire all'incapacità di correggere potenziali errori nella coordinazione complessa, con conseguente acquisizione di posizioni del ginocchio o determinazione di movimenti del ginocchio ad alto rischio in condizioni di vincoli temporali elevati, il che pone una sfida al mantenimento del controllo coordinato dei movimenti che aumenta il rischio di lesioni del LCA (13).

2.3 Fattori di rischio

I fattori di rischio sono molteplici e possono essere distinti come intrinseci/estrinseci e/o modificabili/non modificabili (16). I fattori intrinseci non modificabili includono genere, variazioni anatomiche, storia di precedente lesione del legamento crociato anteriore e predisposizione genetica, mentre i fattori intrinseci modificabili includono l'indice di massa corporea (BMI), stato ormonale al momento della partecipazione

sportiva, deficit neuromuscolari e anomalie biomeccaniche. D'altra parte, i fattori estrinseci, che sono modificabili, includono ambiente di gioco, attrezzatura, livello di competizione e tipo di sport (17).

Fattori non modificabili:

Genere: Come abbiamo già visto, il tasso di rottura del legamento crociato anteriore (LCA) è fino a tre volte più alto nelle atlete rispetto agli atleti maschi (18). Possiamo quindi considerare il genere femminile un fattore predisponente alla lesione del LCA. Infatti, fattori intrinseci come l'aumento della pendenza tibiale posteriore ed altre variabili anatomiche e non, possono predisporre maggiormente ragazze e donne a lesioni del LCA (18). Capire cosa possa determinare in particolare questa differenza di incidenza tra i 2 sessi può aiutare particolarmente nella definizione di un piano di riabilitazione ben mirato.

Dopo l'inizio della pubertà, le donne hanno una lassità articolare generalizzata significativamente più elevata rispetto agli uomini.

Inoltre, i maschi sperimentano un aumento di potenza, forza e coordinazione (10), aumento che, secondo la letteratura, per le femmine risulta minore o quasi assente. L'assenza di una fase di crescita neuromuscolare aumenta potenzialmente il rischio di lesioni al ginocchio a causa di possibili carenze nel controllo neuromuscolare e nella capacità di adattarsi alle perturbazioni delle leve ossee più lunghe e alla maggiore massa che accompagna il processo di maturazione. Fortunatamente, prove di laboratorio dimostrano che una fase di crescita neuromuscolare può essere indotta nelle donne con programmi di allenamento neuromuscolare.

Una revisione sistematica ha dimostrato che uomini e donne differiscono nel controllo neuromuscolare e nella biomeccanica del tronco e dell'anca in tutti i piani di movimento (sagittale, coronale e trasversale).

Le femmine mostrano infatti un maggiore spostamento laterale del tronco durante i movimenti e angoli di flessione del tronco e dell'anca differenti nonché un'ampiezza del movimento del tronco maggiore rispetto ai maschi. Presentano inoltre strategie di reclutamento muscolare dell'anca diverse rispetto agli uomini e movimenti del ginocchio sul piano coronale più elevati, angoli e momenti di abduzione del ginocchio maggiori e una ridotta rigidità attiva dell'articolazione del ginocchio rispetto ai maschi maturi (10).

È stato anche dimostrato che le ragazze atterrano da un salto ed eseguono manovre di taglio e rotazione con una minore flessione del ginocchio e dell'anca, un aumento del valgismo del ginocchio, una rotazione interna dell'anca, una rotazione esterna della tibia e un'elevata attività del muscolo quadricipite in relazione al muscolo ischiocrurale, squilibrio che potrebbe porre maggiormente a rischio di lesioni del LCA.

Queste differenze sessuali nelle strategie di movimento e atterraggio combinate con la ridotta rigidità torsionale e l'aumentata lassità articolare nelle femmine possono aumentare il rischio di lesioni al LCA (10).

Gli studi analizzati sono invece discordi sul collegamento tra il ciclo mestruale e le lesioni del LCA, sottolineando tutti la necessità di ulteriori approfondimenti a riguardo.

Età: Gli infortuni al legamento crociato anteriore risultano più frequenti tra i 15 e i 45 anni, il che ci porta ad inserire anche l'età tra i fattori di rischio, questo è dovuto a uno stile di vita più attivo e a un maggiore impegno nello sport nella suddetta fascia di età (11).

Anatomia: In molteplici studi la lassità legamentosa generalizzata è stata associata ad un aumento di rischio di lesione del crociato anteriore (10,17,19). È stato riportato inoltre che una stenosi dell'incisura intercondiloidea o un'incisura intercondiloidea stretta, un'aumentata pendenza tibiale posteriore o laterale, l'aumento dell'angolo alfa di un individuo, la distanza tra la tuberosità tibiale e il solco trocleare, la profondità del plateau tibiale mediale e laterale, possono predisporre gli atleti a lesioni del legamento crociato anteriore come anche la presenza di genu recurvatum che può essere un fattore secondario nella lassità articolare generalizzata.

Anche le caratteristiche direttamente correlate al legamento, una larghezza ridotta, un volume ridotto (dimensione del legamento) e una lunghezza aumentata sono state segnalate come fattori predisponenti per le lesioni (19).

Infine anche alterazioni delle articolazioni adiacenti, anch'esse implicate nello scarico delle sollecitazioni che gravano sugli AAIL sono collegate ad un aumentato rischio di infortunio, come l'aumento della pronazione sottoastragolica o la caduta eccessiva del navicolare a livello del piede (17).

Genetica: Più studi analizzati hanno riportato che la presenza di varianti dei geni del collagene (ad esempio COL1A1, COL12A1) in entrambi i sessi aumenta la probabilità di lesione del LCA (10,17,19).

Famigliarità: gli individui con una storia familiare (primo grado) di lesione del legamento crociato anteriore hanno una maggiore probabilità di lesione (19).

Pregressa lesione: Gli individui con precedente lesione del legamento crociato anteriore hanno una maggiore probabilità di lesione nello stesso ginocchio (19) e anche nel controlaterale (17).

I deficit del controllo posturale di una gamba dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore, come anche l'eventuale carico asimmetrico sugli arti post intervento, espongono l'atleta al rischio di una seconda lesione del legamento crociato anteriore (10).

Fattori modificabili:

Fisiologia: il peso o comunque un BMI superiore alla media possono portare ad un rischio di infortunio maggiore a causa del maggior carico che grava sull'articolazione (17,19).

Fattori neuromuscolari: a determinare una maggiore probabilità di incorrere in infortuni al LCA vi sono anche problematiche neuromuscolari riguardanti il controllo muscolare, eventuali squilibri muscolari, schemi motori non ottimali.

Ad esempio, i deficit del controllo neuromuscolare di anca e tronco dopo rapide perturbazioni possono contribuire a una riduzione del controllo neuromuscolare attivo dell'arto inferiore che può portare a maggiori carichi di abduzione del ginocchio e sollecitazioni sui legamenti (10,17,19).

Alcuni studi hanno riportato che i deficit di forza degli abduttori dell'anca e dei rotatori esterni rispetto al peso corporeo predispongono gli individui agli infortuni. In particolare, il potenziale di squilibrio tra i gruppi muscolari dei muscoli posteriori della coscia e dei quadricipiti può esporre gli individui a un rischio maggiore di infortuni al legamento crociato anteriore (19).

Ad aumentare il rischio di lesione vi è sicuramente anche una meccanica di atterraggio scadente, capacità di attenuazione della forza inadeguate e reclutamento muscolare inefficiente per mancanza di uno schema motorio ben instaurato, aspetto sul quale il fisioterapista deve particolarmente soffermarsi nelle sedute (10).

Anche la mancanza di una adeguata mobilità e flessibilità generale risulta problematica, ad esempio la ridotta flessibilità della bandelletta ileotibiale può essere correlata a un movimento alterato degli arti inferiori, esponendo l'individuo a un rischio (19).

Attività sportiva e livelli di agonismo: sia gli anni di esperienza sia le ore trascorse a praticare sport a settimana non risultano essere predittori significativi dell'insorgenza di infortuni (20). Infatti una maggiore esperienza porta una migliore preparazione ma anche una maggiore esposizione al rischio di infortunio.

Sembra tuttavia essere predittivo il livello di agonismo; nella letteratura è riportato che le atlete di basket e di football americano, che giocano a livelli più alti, hanno circa tre o cinque volte più probabilità di incorrere in un infortunio al legamento crociato anteriore senza contatto delle atlete che competono in categorie non professionistiche (20).

Anche il periodo della stagione sportiva sembra influire, infatti nei giocatori di basket adolescenti maschi viene riportato che il tasso di infortunio diminuisce verso la fine della stagione e durante la post stagione negli adolescenti e nei giovani adulti (20). Durante la partita invece l'affaticamento muscolare aggrava ulteriormente la scarsa biomeccanica che aumenta il rischio di lesioni, in particolare nell'ultima parte dell'attività sportiva (17).

Infine alti livelli di attività post-operatoria possono incidere (17): il ritorno a livelli di attività elevati dopo una lesione del LCA può comportare una probabilità da 15 a 25 volte maggiore di una successiva re-lesione o di una lesione del LCA controlaterale (10).

Attrezzature: Ad aumentare il rischio di infortunio può essere anche l'attrezzatura sportiva e l'ambiente di gioco. Ad essere incriminato può essere il tipo di calzatura, in particolare le scarpe che offrono una maggiore resistenza torsionale con il terreno, come quelle con un numero maggiore e più lungo di tacchetti; o per lo stesso motivo, superfici di gioco che causano un maggiore attrito scarpa-superficie, infatti giocare sull'erba sembra essere meno rischioso del manto erboso artificiale (17), aspetti di cui tenere conto anche durante la riabilitazione volta al ritorno in campo.

2.4 Patofisiologia e modificazioni post trauma

Strutture lesionate: La maggior parte delle lesioni del legamento crociato anteriore, che siano da contatto o non contatto comportano spesso danni ad altre strutture nel ginocchio (11), come una rottura del legamento collaterale mediale (MCL), di altri legamenti o dei menischi. Inoltre, la compressione del condilo laterale con una conseguente contusione ossea o una lesione condrale è spesso associata alla lesione da trauma in valgo (12). Inoltre, a distanza di tempo, fattori strutturali, biologici, meccanici e neuromuscolari post-infortunio portano ad un rischio elevato di sviluppare l'osteoartrite post-traumatica (PTOA) (21).

Maggiore lassità: Come diretta conseguenza della rottura di un legamento come il LCA, importantissima componente della stabilità del ginocchio si ha come conseguenza un'instabilità cronica (22).

Di conseguenza, durante attività funzionali come salto, atterraggio, salita e discesa di scalini e marcia/corsa, il sistema nervoso centrale compensa la stabilità compromessa aumentando l'entità della co-contrazione tra i muscoli quadricipiti e ischiocrurali nell'arto infortunato rispetto all'arto non interessato e ai pazienti di controllo sani (23).

Cinetica alterata: L'ACL, ha una forte influenza sulla cinematica risultante poiché ha un'importante ruolo sull'allineamento sia in statica che in dinamica dei segmenti ossei. Spesso, altre lesioni meniscali o legamentose accompagnano le rotture dell'ACL e peggiorano ulteriormente la cinematica risultante e i risultati clinici (12). Come risultato vi è l'aumento del rischio di incombere in un ulteriore infortunio distorsivo e anche nel presentarsi della PTOA come accennato in precedenza.

Propriocezione alterata e funzione neuromuscolare: La funzione neuromuscolare dell'articolazione del ginocchio dopo una lesione subisce varie modifiche. Per le lesioni del LCA, i deficit di forza e attivazione volontaria risultano infatti evidenti. Inoltre l'eccitabilità corticale risulta diminuita a 24+ mesi, mentre l'eccitabilità spinale-riflessa risulta aumentata. Anche se con evidenze minori sono stati trovati anche deficit nella variabilità della coppia, della velocità di sviluppo della coppia e nel ritardo elettromeccanico (24).

Nonostante la ricostruzione chirurgica e l'ampia riabilitazione, la propriocezione del ginocchio è persistentemente compromessa a 6-24 mesi dopo il trattamento chirurgico delle lesioni del legamento crociato anteriore rispetto ai gruppi di controllo sani (25) e l'inibizione persistente del quadricipite, l'asimmetria dell'andatura e la compromissione funzionale rimangono presenti (26). Questi fattori portano a deficit del controllo posturale dell'AI esponendo l'atleta al rischio di una seconda lesione del legamento crociato anteriore (10).

Studi hanno inoltre dimostrato adattamenti strutturali del sistema nervoso periferico e centrale successivamente all'infortunio e anche all'operazione. I medici e fisioterapisti dovrebbero quindi considerare l'esclusiva lesione, l'intervento chirurgico, l'anestesia e la riabilitazione come influenze sugli adattamenti del sistema nervoso centrale per mitigare la neuroplasticità disadattiva (26).

Inibizione muscolare artrogena (IMA): si tratta di un meccanismo di inibizione motoria riflessa centrale indotto dal trauma articolare che impedisce la completa attivazione dei muscoli (27,28).

Più nello specifico, è un processo causato da un'alterata risposta dei recettori sensoriali presenti nell'articolazione, dovuta a fattori quali versamento, infiammazione, lassità e lesioni alle afferenti nervose articolari. Questo cambiamento nella scarica dei recettori porta, per via riflessa, all'inibizione del pool di motoneuroni del quadricipite, associato a un riflesso spinale che tipicamente facilita i flessori e inibisce gli estensori. Ciò spiegherebbe in parte anche la postura contratta in flessione post-traumatica che è così comune dopo la distorsione del ginocchio.

Secondo recenti studi, le vie riflesse spinali probabilmente coinvolte nel meccanismo dell'IMA comprendono la via inibitoria non reciproca del gruppo 1 (Ib), il riflesso di flessione e il loop gamma (vie riflesse spinali) con possibile interessamento anche delle vie sopraspinali (27).

I risultati attuali indicano che questo fenomeno procede dopo la lesione del LCA, dopo l'ACLR e durante la riabilitazione fino a 12 mesi dopo l'intervento chirurgico (28).

Per combattere questo fenomeno, gli studi suggeriscono l'esercizio terapeutico in CCA e CCC con carico progressivo che preveda un focus sull'estensione, sembrerebbe inoltre aiutare l'inserimento di esercizi volti all'affaticamento dei flessori del ginocchio prima degli esercizi di estensione per ridurre l'attività dei flessori e facilitare gli estensori inibiti. Ancora controverso risulta invece l'utilizzo di crioterapia, TENS ed elettrostimolazione (29).

Atrofia e forza muscolare: L'atrofia muscolare dopo un trauma articolare è dovuta a un'ampia gamma di fattori, tra essi le interruzioni neurologiche, ciò è nettamente diverso dall'atrofia muscolare che si sviluppa dal disuso poiché determina l'interruzione di un sistema funzionante a feedback propriocettivi che aiutano a regolare i livelli di contrazione e quindi la forza espressa e lo sviluppo di trofismo muscolare. Per questo l'atrofia che si verifica dopo una lesione traumatica all'articolazione continua nonostante l'impegno attivo nell'esercizio (30).

L'intervento chirurgico sembrerebbe tuttavia aiutare nella lotta a questa problematica. E' infatti dimostrata una maggiore debolezza dell'estensore, flessore e adduttore dell'anca prima dell'intervento rispetto al post-intervento, indipendentemente dall'arto, e una maggiore forza post-operatoria nonostante la differenza tra l'arto infortunato rispetto a quello non infortunato resti presente prima e dopo l'intervento chirurgico (31).

2.5 Aspetto psicologico e qualità della vita

Dopo l'intervento di legamento crociato anteriore (LCA) si riscontrano comunemente effetti psicologici, in particolare kinesiophobia e paura di un nuovo infortunio, elementi da prendere seriamente in considerazione durante la riabilitazione.

I fattori psicologici positivi del paziente come l'autostima, l'ottimismo, l'automotivazione e il supporto sociale, sono predittivi della compliance alla riabilitazione, del ritorno allo sport e dei sintomi del ginocchio autovalutati. È stato invece dimostrato che i fattori psicologici negativi come lo stress pre e post operatorio e la kinesiophobia sono invece negativamente predittivi dei risultati della riabilitazione, impedendo un ottimale ritorno allo sport, alterando la biomeccanica misurabile del ginocchio e aumentando potenzialmente il rischio di un nuovo infortunio post ricostruzione del LCA. (32,33).

Kinesiophobia e gestione dei sintomi persistenti: Ad avere elevata incidenza dopo l'ACLR è la kinesiophobia, che porta il paziente ad una mancanza di fiducia nel ginocchio operato, ad una esagerazione della consapevolezza delle limitazioni dell'articolazione e alla paura di un nuovo infortunio (33).

I pazienti con punteggi TSK (Tampa Scale of Kinesiophobia) più alti presentano spesso un'ampiezza EMG del bicipite femorale più alta, un indice di co-contrazione antero-posteriore più alto durante l'atterraggio e attività preparatoria del grande gluteo, ma anche una maggiore adduzione dell'anca, così come livelli inferiori di simmetria di attivazione degli arti inferiori e simmetria della forza del quadricipite più bassa, dimostrando una biomeccanica alterata degli AAIL che potrebbe predisporre a nuove lesioni (33).

Inoltre sintomi persistenti al ginocchio (68%) e kinesiophobia (52%) sono stati citati più comunemente come ragioni per il mancato ritorno allo sport rispetto a eventi di vita non correlati al ginocchio (34).

Consapevolezza ed aspettative: È stato dimostrato che aspettative preoperatorie più elevate sono associate a una maggiore insoddisfazione post-operazione, evidenziando l'importanza di una adeguata consulenza al paziente prima dell'operazione ma anche durante la riabilitazione. Gestire le aspettative dell'intervento chirurgico e del recupero è quindi fondamentale e l'equipe sanitaria deve fornire una prospettiva onesta su ciò che i pazienti possono aspettarsi (33).

Importanza percepita dell'esercizio: Non influiscono solo i timori di un nuovo infortunio nel prevedere gli esiti della riabilitazione, ma anche l'importanza personale percepita dell'esercizio. Un tempo maggiore trascorso in attività sportiva è stato infatti previsto da diminuzioni nei timori di un nuovo infortunio e da una maggiore importanza personale dell'esercizio (35). E' infatti fondamentale nella riabilitazione la motivazione nell'esercizio (33).

2.6 Processo diagnostico

Imaging

Una corretta e precisa descrizione delle lesioni di LCA è fondamentale per una pianificazione ottimale della terapia. La risonanza magnetica è lo strumento di conferma per la diagnostica. Può infatti visualizzare con precisione non solo l'ACL e il suo attuale stato di lesione/integrità ma anche le lesioni associate tramite sequenze pesate in T2 (36). La risonanza magnetica presenta ottimi valori di sensibilità (87%) e specificità (90%) (37).



Test clinici per il fisioterapista

I 3 test utilizzati maggiormente nella pratica clinica sono:

Anterior Drawer Test o Cassetto Anteriore: si svolge con il paziente supino avente anca e ginocchio flessi rispettivamente a 45° e 90° e piede fissato dal fisioterapista. Quest'ultimo esegue con le mani sulla zona prossimale della tibia una spinta postero-anteriore. Lo spostamento anteriore della tibia prossimale deve essere paragonato al controlaterale e il test è considerato positivo quando la differenza è maggiore di 6 mm (38). Il test ha sensibilità 87% e specificità 93% (39).

Test di Lachman: Si esegue con il paziente in posizione supina avente ginocchio flesso di circa 15° e leggermente extraruotato. Il fisioterapista fissa con una mano il femore e con l'altra la parte prossimale della tibia a livello dell'emirima e porta in avanti la tibia (38). Il test è considerato negativo quando il fine corsa è percepito come teso, mentre è positivo quando l'end-feel è "morbido" o assente (40). Secondo la

classificazione IKDC, viene considerata normale una traslazione di 0-5 mm, anormale una traslazione di 6-10 mm e gravemente anormale una traslazione maggiore di 10. Il test ha sensibilità 87% e la specificità 91% (37).

Pivot Shift Test: Si esegue con paziente supino. Il fisioterapista con la mano caudale esegue un'abduzione, flessione d'anca e intrarotazione della gamba, applicando un leggero stress in valgo. Il ginocchio viene flesso mantenendo lo stress in valgo e l'intrarotazione fino a 20°, punto dove si rilascia la rotazione interna e il piatto tibiale, non tenuto dal legamento crociato anteriore, scivola in basso per la tensione della bandelletta ileotibiale (41). Il test è positivo quando si evoca un improvviso scatto in rotazione del piatto tibiale sublussato. Il pivot shift test ha sensibilità 49% e specificità 97% (37).

Dei tre test elencati, secondo Benjaminse et al. il Lachman Test sembra però essere il miglior test eseguibile immediatamente dopo il trauma e prima che il ginocchio inizi a gonfiarsi ad esempio durante un evento sportivo (42), tuttavia la scelta del test da utilizzare è variabile. Infatti alcuni test come il Lachman Test hanno un'ottima sensibilità, mentre altri sono più specifici come il Pivot Shift Test. Secondo quello che è il nostro obiettivo eseguendo un determinato test, sceglieremo quello più sensibile o quello più specifico.

Diagnosi funzionale

Oltre alla diagnosi clinica che tramite imaging o test clinici va ad evidenziare la presenza o meno di una lesione a livello strutturale, è fondamentale andare ad effettuare anche una valutazione di tipo funzionale una volta accertata la presenza di una lesione del legamento.

Esistono infatti specifiche scale come la Knee Outcome Survey Activities of Daily Living Scale (KOS-ADLS) o la scala Lysholm Knee Scoring Scale, che saranno presenti nei successivi paragrafi e capitoli, che sono questionari di tipo PROM (patient reported outcome measure). Altre scale funzionali altrettanto importanti sono:

- International Knee Documentation Committee (IKDC)
- Subjective Knee Evaluation Form,
- Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS),
- Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score Physical Function Short Form (KOOS-PS),
- Oxford Knee Score (OKS),
- Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC),
- Activity Rating Scale (ARS),
- Tegner Activity Score (TAS).

Queste scale vanno a valutare il pz. riguardo sintomi e loro impatto sulle ADL fornendo un risultato che permette di valutare nel tempo i miglioramenti a livello funzionale raggiunti dal pz. durante la riabilitazione (43,44).

Vi sono poi altri test più specifici per il ritorno all'attività sportiva come il Test del Salto, che comprende la seguente serie di quattro test di salto (44):

- Un singolo salto per la distanza;
- Un salto incrociato per la distanza, in cui il paziente attraversa un nastro largo 15cm per tre salti consecutivi;
- Un triplo salto dritto per la distanza;
- Un test di salto cronometrato su una distanza di 6 m

Coper / non coper

Una classificazione che deriva dalla diagnosi funzionale è quella che divide i pazienti in coper e non coper.

La maggior parte degli studi raggruppa tutti i soggetti con rottura del LCA o crea gruppi in base al tempo trascorso dall'infortunio, questa classificazione invece, colloca i pz. in base al loro potenziale di stabilizzazione dinamica del ginocchio. Ci sono infatti alcuni individui che, nonostante la rottura del legamento crociato anteriore, non sperimentano instabilità del ginocchio nemmeno con attività ad alto livello e che presentano una lassità anteriore dell'articolazione tibiofemorale del ginocchio significativamente inferiore (45). Questi pazienti, classificati come coper, riescono infatti ad elaborare inconsciamente strategie neuromuscolari efficaci a tal punto da rendere la loro stabilità dinamica del ginocchio paragonabile a quella degli individui sani. I non coper presentano invece una strategia di irrigidimento, consistente in un movimento del ginocchio sul piano sagittale inferiore e una maggiore cocontrazione muscolare, rispetto al loro arto controlaterale e agli individui senza lesioni, per mantenere la stabilità del ginocchio in assenza di supporto legamentoso (44). Questa strategia di irrigidimento non sarebbe tuttavia efficace in quanto un ginocchio più rigido ammortizza meno in fase di atterraggio esponendo l'articolazione ad un più elevato rischio di reinfortunio.

Per classificare correttamente i pazienti in questi 2 gruppi viene dunque effettuato uno screening da eseguire entro 6 mesi dall'infortunio e possibilmente dopo un iniziale periodo di fisioterapia durante il quale il pz. viene informato e preparato sui test che dovrà eseguire e sulle varie opzioni conservative o chirurgiche che potrà scegliere per il trattamento del suo infortunio.

Secondo gli autori (44,45), l'esame di screening consiste in:

- Un test di salto specifico, comprendente:
 - un singolo salto per la distanza
 - un salto incrociato per la distanza, in cui il paziente attraversa un nastro largo 15 cm per tre salti consecutivi
 - un triplo salto dritto per la distanza
 - un test di salto cronometrato di 6 m

- La scala Knee Outcome Survey activities of daily living
- La valutazione globale della funzionalità del ginocchio
- La determinazione del numero di episodi di cedimento dopo l'infortunio

Dopo aver incluso nello screening soltanto i pz. con lesione unilaterale di LCA non associata ad altre lesioni articolari, i potenziali coper sono stati classificati come individui che soddisfacevano tutti i seguenti criteri all'esame di screening: un indice del test del salto dell'80% o più, un punteggio della scala delle attività quotidiane della Knee Outcome Survey pari o superiore all'80%, una valutazione globale della funzionalità del ginocchio pari o superiore a 60 e non più di 1 episodio di cedimento dopo l'infortunio (44,45).

Lo scopo di questa classificazione è capire che paziente può scegliere l'approccio riabilitativo conservativo evitando o rimandando quello chirurgico mantenendo ugualmente un minimo rischio di recidiva nell'infortunio. E' importante inoltre precisare che un paziente classificato inizialmente come non coper può diventare un potenziale coper dopo un adeguato periodo di fisioterapia.

Non è ancora chiaro quanto possano durare gli adattamenti funzionali dei copers e quali siano i risultati a lungo termine ma i pazienti coper che hanno scelto l'approccio conservativo sono stati in grado di ritardare l'intervento chirurgico senza sperimentare ulteriore instabilità del ginocchio (44).

Nonostante ciò, gli autori degli studi analizzati hanno fortemente incoraggiato tutti i pazienti identificati come potenziali copers che scelgono la gestione conservativa a farlo solo dopo aver partecipato a una riabilitazione che include attività di perturbazione. Queste possono essere intese come attività che sfidano l'equilibrio, come stare in piedi su una superficie instabile o rispondere a forze applicate esternamente. Poiché si è scoperto infatti che l'allenamento con perturbazione riduceva le contrazioni congiunte del muscolo quadricipite femorale del ginocchio e del muscolo gastrocnemio quadricipite femorale e normalizzava la cinematica del ginocchio (44).

2.7 Trattamento chirurgico

Essendo un legamento con capacità di guarigione limitata, le rotture del LCA richiedono spesso un intervento chirurgico per riportare il ginocchio alla sua massima funzionalità possibile (22), anche se recenti dati in letteratura hanno dimostrato possibile una gestione conservativa nei pazienti con profilo cooper a 68 settimane post lesione (46). La scelta tra trattamento conservativo o chirurgico varia dunque a seconda di vari fattori come il profilo coper o non coper, il livello di attività del paziente e la presenza di lesioni concomitanti (36).

L'attuale trattamento standard per la rottura del LCA nei soggetti con livello di attività da moderata ad alta è la ricostruzione chirurgica del legamento mediante un innesto autologo o allogenico (22), anche considerando l'importante ruolo della ricostruzione del LCA nella prevenzione della PTOA (21).

Tempismo per l'intervento:

Nonostante spesso si aspettino 6-8 mesi o addirittura anni per l'intervento, un ACLR precoce eseguito entro poche settimane dalla lesione può comportare risultati clinici e funzionali equivalenti o superiori.

Inoltre, spesso vi sono preoccupazioni per le tempistiche nel caso in cui l'infortunio abbia prodotto molteplici lesioni ulteriori che potrebbero a loro volta richiedere il trattamento chirurgico. Tuttavia l'interazione tra ulteriori interventi chirurgici concomitanti con ACLR e tempistica chirurgica deve ancora essere chiarita (47).

Tipi di innesto:

Le principali tecniche chirurgiche sono classificate in autograft e allograft in base al sito di prelievo e al tipo di innesto utilizzato. La modalità di innesto autograft è la più comune e la più utilizzata nei soggetti giovani e sportivi ed utilizza un innesto tendineo estratto dal soggetto stesso. La modalità Allograft utilizza invece un innesto tendineo da donatore (48). L'autograft presenta numerosi vantaggi rispetto all'allograft, come maggior stabilità articolare, tasso di recidiva 15 volte inferiore, maggiore velocità di attecchimento. Tuttavia l'Allograft presenta minor dolore post-chirurgico e minor rischio di dolore femoro-rotuleo e tendinopatia nel caso in cui si utilizzasse un innesto da tendine rotuleo (49).

Tra gli Autograft più utilizzati ricordiamo:

- Patellar tendon autograft BPTB;
- Hamstring tendon autograft HT;
- Quadriceps tendon autograft QT.

A circa 15 anni di follow up, non ci sono significative differenze in termini di lassità anteriore, funzionalità e IKDC scores (un modulo di valutazione soggettiva del ginocchio) tra questi tre tipi di innesto. Il BPTB graft è quello statisticamente più stabile, ma con possibile rischio di lag sign e dolore femoro-rotuleo. Il BPTB è preferibile nei soggetti di sesso femminile che presentano dominanza del quadricipitale e ridotta forza del complesso hamstring post trauma distorsivo. L'HT graft presenta buone qualità meccaniche in vitro ma più lento attecchimento osseo (50,51). Infine, il QT graft presenta buone qualità meccaniche comparabili al BPTB ma ridotto dolore post operatorio rispetto a BPTB e HT (50,51). L'HT è considerato il graft che presenta maggior forza meccanica ai test in vitro (51). L'uso di un autotrapianto HT durante l'intervento è risultato inoltre essere un fattore significativo ($P < 0,05$) per un punteggio più alto di funzionalità al follow-up, rispetto all'uso di un autotrapianto BPTB (52).

Sempre per quanto riguarda l'innesto HT vi è un'ulteriore suddivisione in 2 categorie: NDHT e DHT. Le tecniche NDHT (tendini prelevati conservando l'inserzione distale) forniscono risultati simili alla DHT (tendini prelevati senza inserzione distale) per la ricostruzione del legamento crociato anteriore e tendono a produrre una migliore stabilità e un tasso di nuova rottura inferiore (53).

Vi è infine un altro tipo di autoinnesto che però risulta meno utilizzato ovvero l'autoinnesto da bandelletta ileotibiale (ITB), che ha avuto risultati clinici a lungo termine uguali rispetto all'innesto BPTB ed è raccomandato come un autoinnesto alternativo affidabile per la ricostruzione del LCA. In seguito ad uno

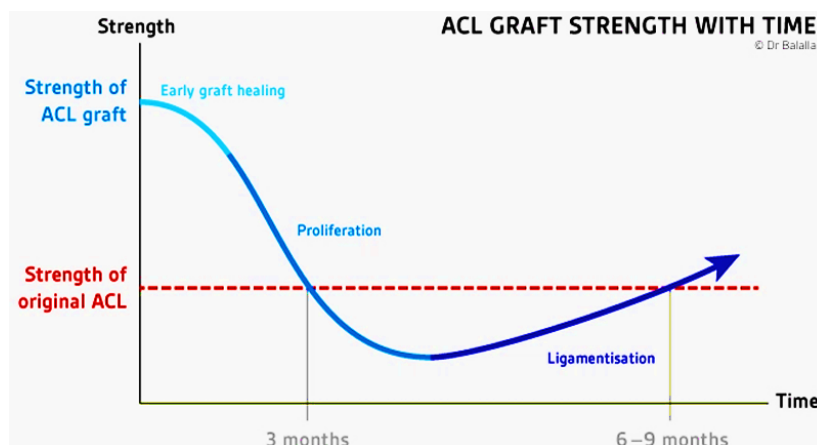
studio prospettico randomizzato di Stensbirk et al., sono stati infatti riscontrati tassi di fallimento dell'innesto e KOOS (punteggio di osteoartrite) simili quando si confrontano individui operati con ITB e BPTB, a un follow-up di 15 anni (54).

Infine, nel caso in cui la ricostruzione del legamento crociato anteriore (ACL) sia una revisione, gli autoinnesti sono preferiti a causa dei loro minori tassi di recidiva e dei migliori risultati funzionali, ma le aspettative dei pazienti devono essere moderate perché i risultati funzionali e il ritorno agli sport pre infortunio sono inferiori a un intervento chirurgico primario (55).

Rimodellamento dell'innesto:

Successivamente all'intervento, il neo-legamento va incontro a innumerevoli cambiamenti biologici, per i quali le sue proprietà meccaniche e fisiche subiscono modificazioni multifattoriali dovute all'attecchimento. Questa fase di rimodellamento ha una durata potenziale di circa 120 mesi (56).

Questo vuol dire che il fisioterapista deve fare attenzione nella pianificazione di trattamento e considerare questo fenomeno che influisce sulla resistenza dell'innesto in varie fasi temporali. Ad esempio, studi recenti dimostrano che la forza dell'innesto è migliore nella prima fase del processo di guarigione rispetto che a 3 mesi dopo, dove l'innesto apparirebbe più vulnerabile meccanicamente e metabolicamente a causa del processo di rivascolarizzazione e di alterazioni sistema-immunitario indotte per poi aumentare nella resistenza a partire dal 6° mese. Questi dati giustificano l'importanza del rispetto dei tempi di recupero per il ritorno allo sport.



Possibili complicanze

L'intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore è ormai una delle procedure ortopediche più comuni nella traumatologia sportiva. Particolarmente ottimizzato negli anni, da buoni risultati nel 75-97% dei casi (57). Può presentare tuttavia diverse complicazioni con una percentuale di insorgenza che varia dall'1 al 15% dei casi.

Complicanze più comuni (39,57,58):

- dolore persistente
- alterazioni sensoriali
- rigidità
- debolezza
- lassità
- infezione
- emartro
- trombosi venosa profonda

- embolia polmonare

Complicanze più rare (57):

- Complicazioni correlate al dispositivo di fissaggio (rottura, migrazione)
- Fratture all'epifisi tibiale o femorale (possono verificarsi per traumi a bassa energia anche mesi dopo la RLC a causa della debolezza ossea correlata al tunnel e potrebbe essere necessario un trattamento chirurgico)
- Infezioni più rare dovute a batteri rari, micobatteri e micosi
- Lesioni vascolari (danni ai vasi minori come le arterie genicolate, trattati con embolia selettiva)
- Lesioni nervose (ramo infrapatellare del nervo safeno o più raramente nervo safeno, nervo peroneo comune o nervo sciatico)

Una delle complicanze più dannose per l'esito dell'ACLR è l'insorgenza di infezioni, la cui incidenza di risulta essere circa dell'1%. Il tempo medio intercorso dall'intervento chirurgico all'insorgenza dei sintomi è di circa 17,1 giorni e secondo la letteratura vi sono numerosi fattori di rischio per questo evento di cui tener conto per una buona prevenzione (59).

Fattori di rischio per l'infezione del sito chirurgico post ACLR (59):

- | | |
|---|--|
| • Sesso maschile | • Alto livello di agonismo |
| • Obesità | • Chirurgia di revisione |
| • Uso di tabacco | • Utilizzo di autoinnesti di tendini del ginocchio |
| • Diabete mellito | • Tenodesi extra-articolare laterale concomitante |
| • Storia di uso di steroidi | • Lungo periodo operatorio |
| • Storia di precedenti interventi chirurgici al ginocchio | |

Per quanto riguarda invece i tassi di fallimento dell'innesto in base alla sua tipologia, secondo dati di coorte longitudinali prospettici, ci sono tassi più elevati di fallimento dell'innesto dopo la ricostruzione tramite allotrapianto piuttosto che con autotrapianto. Inoltre tassi più elevati di fallimento sono osservati negli autotrapianti QT rispetto agli autotrapianti HT (58).

2.8 Trattamento fisioterapico

Concetti base

Alla base del trattamento fisioterapico post-ACLR vi è la mobilizzazione passiva dell'articolazione per il recupero ed il mantenimento del ROM articolare, la terapia manuale allo scopo di ridurre il dolore, l'edema e sciogliere le contratture muscolari di difesa, si possono utilizzare terapie fisiche come crioterapia, tecar-terapia, elettrostimolazione. Tuttavia ad aver fondamentale importanza nel trattamento fisioterapico del paziente con ACLR è l'esercizio terapeutico al fine di un'ottimale recupero del ROM attivo, della forza muscolare, di una buona propriocezione e quindi di conseguenza di un'efficace stabilizzazione statica e dinamica che permetta all'articolazione di resistere alle varie sollecitazioni cui è sottoposta durante le ADL e l'attività sportiva.

Fondamentale sarà quindi lavorare su esercizi a carico progressivo ed adeguato isometrici, concentrici, eccentrici. Bisognerà variare gli stimoli a cui sono sottoposti i muscoli utilizzando varie metodiche di esercizi (nei prossimi capitoli si parlerà del confronto tra esercizi in catena cinetica aperta ed esercizi in catena cinetica chiusa). Importantissimo sarà anche il lavoro sulla propriocezione, sull'equilibrio e sul recupero e riadattamento di schemi motori con o senza perturbazioni esterne.

Per riattivare al meglio la muscolatura e gli schemi di movimento efficaci conosciuti dal paziente viene spesso consigliato di lavorare su esercizi di tipo task-based sfruttando le abilità e gli automatismi pregressi del paziente (come quelli specifici riguardanti l'attività sportiva), per riattivarli più velocemente. Questo può aiutare a valicare problematiche di reclutamento legate al non uso dovuto all'operazione o dovute a processi patologici come l'inibizione artrogenica citata in precedenza.

Riabilitazione per fasi

Non esiste ad oggi un approccio riabilitativo per l'infortunio al LCA gold standard ma, una riabilitazione basata su criteri, una progressione per fasi e raggiungimento di obiettivi intermedi, è considerata essere la migliore strategia di pianificazione.

Secondo Buckthorpe e Della Villa, si può quindi identificare un processo riabilitativo per obiettivi suddivisibile in 5 fasi: fase preoperatoria, precoce-iniziale, intermedia e avanzata-finale RTP (60).

Questa divisione per fasi deriva soprattutto dal fatto che l'innesto stesso ha delle fasi di guarigione e rimodellamento in cui le sue proprietà meccaniche variano, definendo quindi anche quelle che sono le cautele da utilizzare nelle fasi riabilitative. Inoltre le fasi di rimodellamento dell'innesto dipendono anche dal carico a cui esso è sottoposto e questo va ad indicare quindi, non solo in che fasi essere più cauti ma anche in che fasi è necessario aumentare il carico durante la riabilitazione per poter guidare al meglio il processo di guarigione, rimodellamento e rinforzo dell'innesto.(61)

Fase pre-operatoria:

In questa fase è consigliato soffermarsi sull'ottimizzazione del pattern del cammino, sul controllo di gonfiore e dolore e su percezione e reclutamento qualitativi del quadricipite. E' inoltre fondamentale il recupero di una sufficiente mobilità articolare per poter dare una corretta funzionalità all'AI. In questa fase come nella successiva il rinforzo sarà limitato dalla presenza di inibizione artrogenica (61, 62, 63).

Fase precoce-iniziale post-operatoria:

Questa fase coincide con la fase di guarigione precoce dell'innesto, durante la quale quest'ultimo va incontro ad un processo di necrosi ed intensa attività cellulare. Nonostante l'innesto stesso sia particolarmente resistente, dovremo fare attenzione alla tensione a cui potremmo sottoporlo poiché i punti di ancoraggio sono invece ancora deboli (61,65).

Molti ricercatori sottolineano che l'obiettivo prioritario della riabilitazione postoperatoria del legamento crociato anteriore (LCA) dovrebbe essere il ripristino dell'intero ROM. Infatti, l'estensione completa del ginocchio già nell'immediato periodo postoperatorio non danneggia l'innesto o la stabilità dell'articolazione (66).



Attivazioni isometriche assistite del quadricipite in 2 varianti (OKC e CKC)



Esercizio di riattivazione per gli Hamstring



Esercizio per il recupero dell'estensione in carico (CKC)



Leg extension Senza carico con ROM ridotto (45° - 90°)

In questa fase i principali adattamenti motori negativi post operatori come inibizione del quadricipite, iper-reclutamento degli hamstring, aumento del tono nei muscoli postero-laterali d'anca e di soleo e gastrocnemio, rendono poco interessante lavorare su parametri di forza nella prima fase post chirurgica ma è molto più indicato normalizzare quelle alterazioni che dis-regolano l'output neuro-motorio (67).

Per quanto riguarda l'allenamento dell'equilibrio e della propiocezione, hanno un effetto positivo sul senso della posizione articolare, sulla forza muscolare, sulla funzione esperta del ginocchio, sull'esito della capacità funzionale e sul ritorno alla piena attività. L'avvio precoce della locomozione a un livello tollerato dal paziente garantirà il ripristino precoce della propiocezione e faciliterà il progresso nell'esercizio propriocettivo. Non esiste un momento di inizio chiaramente definito per l'allenamento propriocettivo. Tuttavia, il recupero della fiducia, l'assenza di dolore e la volontà di fare esercizio sono fattori che contribuiscono all'inizio dell'allenamento dell'equilibrio (66).

Per poter infine passare alla fase successiva è consigliato l'utilizzo di **criteri specifici** (60):

- Dolore non superiore a 2/10 scala NRS
- Assenza di gonfiore allo stroke test;
- Estensione completa (prone hang test a 0°);
Questo fattore permette una maggior qualità nello schema del cammino e reclutamento del quadricipite.
- Flessione di almeno 120°;
- Reclutamento del quadricipite senza lag sign per almeno 10 secondi;
- Pattern cammino normalizzato.

Fase intermedia:

Questa fase corrisponde alla fase di guarigione dell'innesto detta proliferazione, durante la quale la rivascolarizzazione dell'innesto porta una particolare attività di degenerazione e riorganizzazione del collagene per portare la struttura dell'innesto ad allontanarsi da quella di un tendine ed avvicinarsi a quella di un legamento. In questa fase di degenerazione si avrà quindi una riduzione delle proprietà meccaniche del legamento arrivando al punto, tra i 2 e i 3 mesi post operazione, in cui l'innesto presenta la sua massima fragilità. Sarà dunque necessario essere particolarmente cauti nelle progressioni dei carichi per evitare il sovraccarico, Forelli et al. Del 2023 consiglia infatti una soglia massima del 60% dello sforzo isometrico massimo del muscolo in allenamento. Tuttavia in questa fase sarà comunque di fondamentale importanza andare ad aumentare progressivamente il carico essendo quest'ultimo a guidare il processo di rimodellamento dell'innesto e quindi un'eccessiva cautela e un aumento del carico non sufficiente andrebbe ad ostacolare il processo di riabilitazione (61,65).

In questa fase il focus va sul ripristino della forza muscolare e della qualità del movimento, sul ripristino di schemi motori, della propiocezione e del fitness cardio-respiratorio (60).

Secondo gli studi, è possibile superare indirettamente gli effetti della lassità articolare aumentando la forza muscolare e il controllo neuromuscolare (10).

E' infatti di fondamentale importanza il ripristino almeno sub-totale della forza dei muscoli della coscia e in generale dell'AI. La differenza di espressione della forza tra gli AAII deve essere non superiore al 20% entro la fine della fase intermedia, per poter efficacemente passare alla fase più avanzata del processo riabilitativo. Infatti, un deficit di forza significherebbe una minor capacità di assorbimento eccentrica degli stress

meccanici e differenze di simmetria di forza superiori al 20% sono relazionate a scarsa funzionalità dell'intero AI e ad un aumentato rischio di re-injury futuro (68,69). Tuttavia, i compiti bipedi potrebbero non essere abbastanza sensibili per identificare asimmetrie nel carico degli arti inferiori. Invece, l'incorporazione di test di arto singolo come il salto su una gamba singola potrebbe essere importante per identificare asimmetrie degli arti in forza in questa fase e in atterraggio e schemi di movimento nelle fasi successive (10).

Il rinforzo muscolare è quindi una componente fondamentale della riabilitazione post-ACLR e richiede particolare attenzione nella pianificazione e nella scelta delle metodiche corrette. È importante pianificare un programma che esponga il soggetto a tutti i tipi di carico e soprattutto che crei una tolleranza incrementale. La progressione tra un esercizio e l'altro o tra un carico e l'altro dovrebbe avvenire solamente quando il soggetto è in grado di gestire il compito senza dolore e senza reazioni edemigene indotte nelle successive ore post training (68,69).

Inoltre gli esercizi possono essere arricchito da variabili e determinanti dell'esercizio sulla base del ragionamento clinico e della risposta adattativa o meno del soggetto. Alcune strategie neuro-cognitive, come l'utilizzo di un focus attentivo esterno che faciliterebbe l'eccitabilità cortico-spinale, potrebbero essere utili. Ad esempio, un training neuro-motorio con un gaming approach che funge da bio-feedback enfatizza il divertimento e quindi l'adesione al trattamento (70).

Per quanto riguarda la scelta della metodica di esercizio ottimale da utilizzare in questa fase e nelle precedenti vi sono molti dubbi, causati soprattutto dalla paura dell'arrecare un danno o un aumento della lassità nell'innesto specialmete quiando è il momento di considerare l'inserimento di esercizi CCA nel programma di esercizio terapeutico. Tale controversia verrà approfondita nel capitolo IV.

Anche la coattivazione e la cocontrazione sono aspetti di cui tener conto in fase di rinforzo muscolare. Due studi separati hanno riportato che la coattivazione coordinata dei muscoli posteriori della coscia e del quadricipite potrebbe svolgere un ruolo nel mitigare il rischio di lesioni primarie riducendo lo sforzo dei legamenti e promuovendo la normale meccanica di atterraggio (66).



Squat con facilitazione (CKC)



Leg extension con ROM limitato tra 45° e 90° (OKC)

Fase avanzata

Questo momento corrisponde alla fase di legamentizzazione dell'innesto, fase in cui la sua composizione andrà ad avvicinarsi sempre più a quella di un legamento. Avremo inoltre un importante incremento delle proprietà meccaniche dell'innesto che tornerà quindi ad essere particolarmente resistente permettendo quindi di aumentare particolarmente i carichi allenanti e la varietà di sollecitazioni applicabili all'articolazione. Potremo quindi permetterci di applicare torsioni, perturbazioni, eseguire pliometrie e gesti sportivi specifici (61,65)

L'ultima fase riabilitativa è quella definita avanzata, laddove gli obiettivi sono quelli di tradurre in termini sport-specifici le abilità e capacità create in un ambiente closed skill. Qui il lavoro di strength training, power training, agility, speed training dovrà quindi essere mantenuto in parallelismo a compiti sport specifici che ricreino situazioni di gioco il più realistiche possibile sotto ogni punto di vista: situazionale, motivazionale, di fatica, distrattivo (68,69).



Squat con sovraccarico (CKC)



Leg extension con sovraccarico full ROM (OKC)



Leg curl con sovraccarico (OKC)

Si lavora anche molto sulla prevenzione, l'insegnamento di strategie e sull'ottimizzazione di schemi motori specifici. Ad esempio la modifica delle tecniche di atterraggio e l'educazione alle posture pericolose del ginocchio possono essere importanti strategie di prevenzione delle lesioni in futuro. La riduzione del movimento dell'anca sul piano coronale tramite allenamento neuromuscolare che mira all'anca e al tronco potrebbe essere necessaria per ridurre le posture di abduzione del ginocchio ad alto rischio e, in definitiva, ridurre il rischio di lesione del legamento crociato anteriore (10).

Return to sport

Nonostante gli interventi chirurgici tecnicamente soddisfacenti e la riabilitazione intensiva, però, fino al 50% degli atleti non torna al livello di partecipazione pre-infortunio. Questa percentuale può essere, in parte, dovuta alla mancanza di comprensione degli aspetti psicologici durante il recupero da una lesione del LCA, infatti questi fattori possono determinare una risposta emotiva negativa al trauma e al recupero, con paura di recidive e una generale mancanza di fiducia.

L'Anterior Cruciate Ligament – Return to Sport after Injury Scale (ACL – RSI) è dunque una scala composta da 12 item valutati da 0 a 100 nata per misurare l'impatto psicologico del ritorno allo sport dopo un intervento chirurgico di ricostruzione del legamento crociato anteriore (LCA). Un atleta ad alte prestazioni che ha subito una ricostruzione primaria senza complicazioni postoperatorie e con un punteggio ACL-RSI a 6 mesi ≥ 60 , ha una probabilità significativamente maggiore di tornare allo stesso sport preinfortunio a 2 anni dopo l'intervento chirurgico. Valori inferiori a 56 punti a 6 mesi potrebbero indicare un aumentato rischio di non tornare allo stesso livello pre-infortunio.

In questa fase finale il focus principale sarà sulle attività più specifiche legate allo sport praticato dal paziente e sui movimenti e sollecitazioni maggiormente pericolosi che esso presenta allo scopo di preparare al meglio il paziente alle situazioni più rischiose al fine di prevenire una recidiva dell'infortunio e garantire un adeguato, sicuro ed efficace ritorno all'attività sportiva più o meno agonistica (66,71–75)



Esercizio di condizionamento all'estensione esplosiva in carico (CKC)



Esercizi di atterraggio e stabilità per il return to sport (CKC)

CAPITOLO III: Materiali e Metodi

3.1 Quesito della tesi

La rottura del legamento crociato anteriore è una condizione clinica che si verifica in molti sportivi durante le loro prestazioni nonostante le adeguate preparazioni atletiche. Tuttavia, ancora oggi, non esistono delle vere linee guida internazionali sulla gestione e sul trattamento di tale condizione, il che causa incertezza sia per il paziente che per i professionisti sanitari.

Attualmente sono in molti a scegliere il trattamento conservativo che però non sempre è la soluzione ottimale. Per chi sceglie la strada del trattamento chirurgico, il percorso riabilitativo post-intervento è di fondamentale importanza per un ottimale e sicuro ritorno all'attività sportiva, tuttavia anche in questo caso sono necessari la stesura di linee guida più chiare e il chiarimento di alcuni dubbi che vedono i fisioterapisti scegliere proposte di trattamento opposte tra loro.

In particolare, questo elaborato di tesi avrà lo scopo di capire, nei vari periodi della riabilitazione, se la scelta di esercizi in catena cinetica chiusa sia effettivamente la più efficace e sicura, o se invece la scelta di un programma di trattamento che comprenda entrambe le metodiche di esercizio terapeutico sia una scelta altrettanto sicura e maggiormente efficace.

Per rispondere al quesito della tesi, nei successivi capitoli di questa revisione narrativa si andranno ad analizzare le evidenze scientifiche attuali, le quali metteranno in luce le metodiche più efficaci nella gestione dei pazienti post operazione di ricostruzione del LCA.

3.2 Bibliografia e stringhe di ricerca

Per questa revisione narrativa della letteratura sono stati consultati libri di anatomia e chinesiologia (Gray's, Platzer, Floyd, Neumann) e banche dati scientifiche internazionali (PubMed e PEDro).

Sono stati considerati clinical trial, RCT, studi osservazionali e case report pubblicati in lingua italiana e inglese negli ultimi 11 anni.

Per accedere alla lettura del full text degli articoli è stato utilizzato il servizio Proxy fornito dall'Università degli Studi di Padova.

La ricerca è stata eseguita tra luglio e agosto 2024.

Sono state utilizzate le seguenti stringhe di ricerca:

	PubMed	PEDro	Google Scholar
Stringhe	(anterior cruciate ligament) AND ((surgery) OR (reconstruction)) AND ((open kinetic chain) OR (closed kinetic chain))	ACL reconstruction kinetic chain	acl reconstruction rehabilitation kinetic chain

3.3 Criteri di inclusione

Al fine della ricerca, utilizzando il sistema PICO, sono state estrapolate le caratteristiche dei pazienti, la tipologia di intervento attuato e gli outcome clinici e si sono considerati gli studi che hanno incluso i seguenti criteri:

- Partecipanti: Uomini e donne con diagnosi di rottura del legamento crociato sottoposti ad intervento chirurgico di ricostruzione dello stesso;
- Intervento: trattamento mediante esercizio terapeutico svolto dalla figura del fisioterapista;
- Outcome: dolore, forza e trofismo dei muscoli degli AAII, stabilità dell'articolazione e lassità dell'innesto, funzionalità e qualità della vita.
- Tipologia degli studi: studi primari, fra cui studi RCT, clinical trial, studi osservazionali e di coorte;
- Data di pubblicazione: studi pubblicati negli ultimi 11 anni, tra il 2013 e il 2024;
- Lingua: Italiano e Inglese;
- Età: nessun limite.

3.4 Criteri di esclusione

Sono stati esclusi gli studi che prendevano in considerazione:

- Partecipanti: pazienti con diagnosi di malattie muscoloscheletriche, neurologiche, sistemiche o metaboliche oppure con lesioni ossee o legamentose associate;
- Intervento: sono stati esclusi studi che includevano nella ricerca pazienti trattati con metodo conservativo;
- Tipologia degli studi: non sono stati presi in considerazione studi secondari;
- Data di pubblicazione: sono stati esclusi studi con data di pubblicazione antecedente al 2013;
- Lingua: diversa da Italiano e Inglese.

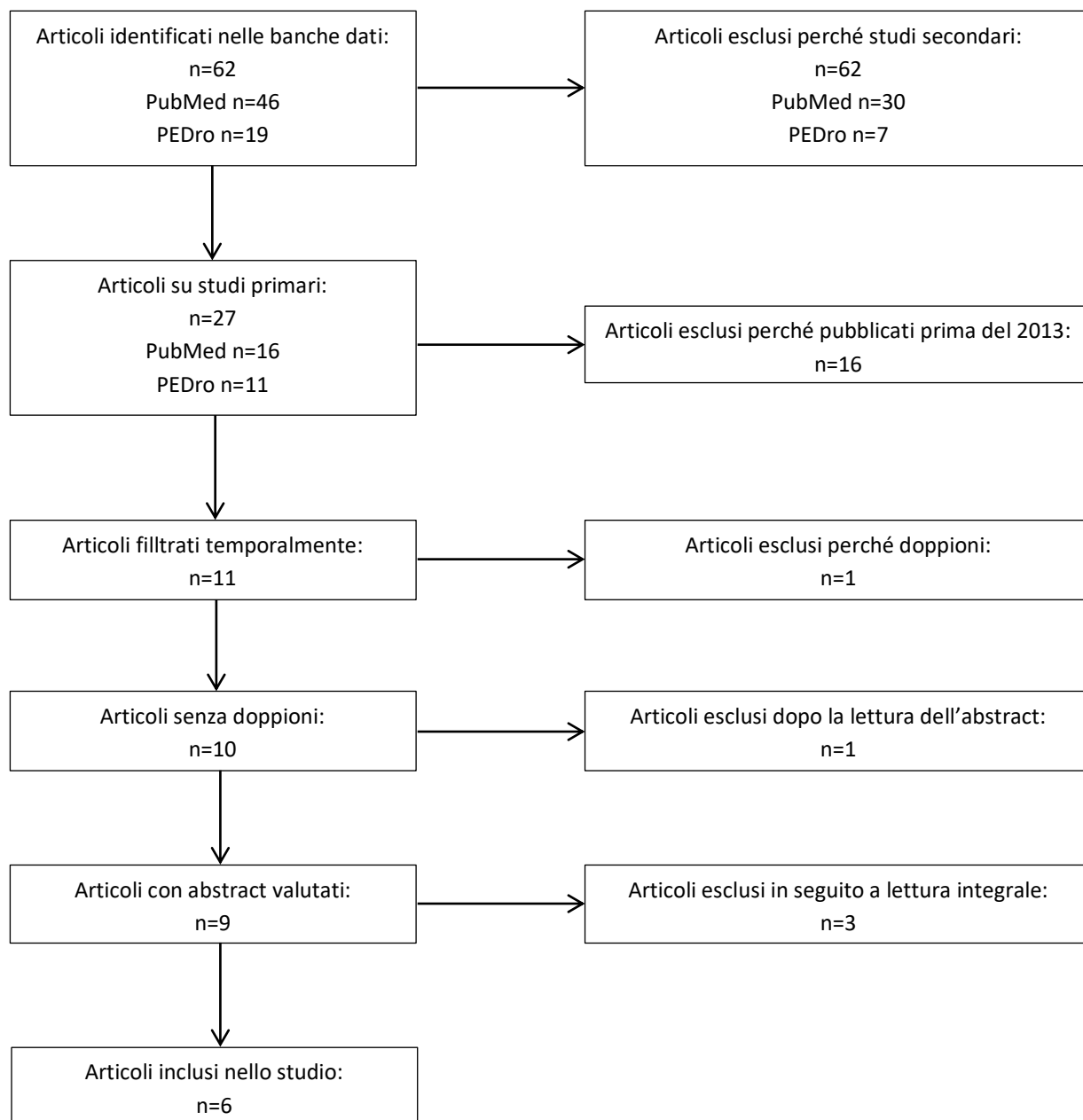
3.5 Dati della ricerca bibliografica

La ricerca bibliografica eseguita tra luglio e agosto 2024 tramite le banche dati PubMed e PEDro ha prodotto un totale di 62 articoli così divisi:

- PubMed: 46 articoli
- PEDro: 19 articoli

Successivamente sono stati eliminati dalla lista gli studi secondari arrivando ad un totale di 27 articoli, aggiungendo il filtro temporale che includeva soltanto il materiale pubblicato negli ultimi 11 anni il numero di articoli totali è sceso a 11. E' stato infine eliminato un doppione, un articolo scartato dalla lettura

dell'abstract e 3 articoli scartati dopo la lettura del full text arrivando ad un totale definitivo di 6 articoli validi.



3.6 Qualità metodologica degli studi

La qualità metodologica degli studi scelti è stata valutata mediante la scala PEDro . Essa valuta la qualità metodologica degli RCT ed è composta da 11 criteri con un punteggio totale che va da 0 a 10 (il primo criterio non è incluso nel calcolo del punteggio finale), dove 0 indica la qualità peggiore e il 10 la migliore. Il punteggio di ogni studio si ricava mediante la risposta binaria(“SI” oppure “NO”) ai seguenti quesiti di valutazione:

1. Eligibility criteria: i criteri di eleggibilità sono stati specificati
2. Random allocation: i soggetti sono stati assegnati in maniera randomizzata ai gruppi;
3. Concealed allocation: l’assegnazione dei soggetti ai gruppi intervento o di controllo è stata nascosta;

4. Baseline comparability: i gruppi erano simili all'inizio dello studio per quanto riguarda i più importanti indicatori prognostici;
5. Blind subjects: tutti i soggetti erano ciechi rispetto al trattamento;
6. Blind therapists: tutti i terapisti erano ciechi rispetto al trattamento somministrato
7. Blind assessors: tutti i valutatori erano ciechi rispetto ad almeno uno degli obiettivi principali
8. Adequate follow-up: c'è stato un follow-up adeguato; di almeno l'85% dei pazienti iniziali
9. Intention-to-treat analysis: è stata condotta un'analisi "intention to treat", cioè nel caso in cui i soggetti che non hanno ricevuto il trattamento (o la condizione di controllo) siano comunque stati analizzati come se l'avessero ricevuto;
10. Between group comparison: i risultati della comparazione statistica tra i gruppi sono riportati per almeno uno degli obiettivi principali;
11. Point-estimates and variability: lo studio fornisce sia misure di grandezza che di variabilità per almeno uno degli obiettivi principali;

Sono stati considerati di qualità bassa gli studi con punteggio minore di 4, i punteggi pari a 4 o 5 sono stati collegati ad una qualità discreta mentre i punteggi maggiori o uguali a 6 sono stati considerati correlabili ad una qualità ottima dello studio. Nella valutazione tramite questa scala bisogna tener conto però che in fisioterapia difficilmente fisioterapista e paziente sono all'oscuro del trattamento (criteri 5 e 6).

L'analisi dei punteggi della Scala PEDro è stata riassunta nella seguente tabella:

	Forelli et al., 2023	Fukuda et al., 2013	Nadeem et al., 2022	Forelli et al., 2024	Uçar et al., 2014	Chrzan et al., 2013
Criterio 1	SI	NO	SI	SI	NO	SI
Criterio 2	NO	SI	SI	NO	SI	SI
Criterio 3	SI	SI	NO	SI	SI	NO
Criterio 4	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Criterio 5	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Criterio 6	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Criterio 7	NO	SI	SI	NO	NO	NO
Criterio 8	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Criterio 9	NO	SI	NO	NO	NO	NO
Criterio 10	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Criterio 11	SI	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Punteggio Tot</i>	5	8	6	5	6	5
<i>Qualità studio</i>	Discreta	Ottima	Ottima	Discreta	Ottima	Discreta

CAPITOLO IV: Risultati

Nella ricerca degli articoli sono stati inclusi soltanto gli studi primari. La ricerca di articoli appartenenti all'ultimo decennio è stata particolarmente complessa e si è deciso di allargare di un anno il range temporale per poter includere degli articoli giudicati particolarmente validi.

La ricerca si è concentrata sugli articoli che comparassero il trattamento mediante esercizi in catena cinetica aperta, associati o meno a quelli in catena cinetica chiusa a quello che invece utilizza esclusivamente esercizi in catena cinetica chiusa.

Sono stati ricercati gli studi che valutassero non solo il dolore, la funzionalità e la variazione della forza ma anche il grado di lassità/allungamento dell'innesto per poter valutare non solo l'efficacia ma anche la sicurezza delle suddette metodiche di esercizio.

4.1 Partecipanti

Il numero totale di partecipanti nei 6 studi inclusi è di 325; con una variazione del numero di pazienti inclusi nei singoli articoli che va da 35 a 103. L'età dei partecipanti varia da 16 a 50 anni.

4.2 Descrizione narrativa dei risultati

“Evaluation of Muscle Strength and Graft Laxity With Early Open Kinetic Chain Exercise After ACL Reconstruction A Cohort Study” (Forelli et al., 2023)(76)

Lo studio aveva lo scopo di determinare se l'uso di esercizi a catena cinetica aperta (OKC) e a catena cinetica chiusa (CKC) migliora la forza del quadricipite e dei muscoli posteriori della coscia nella fase iniziale della riabilitazione dopo ACLR e se l'uso precoce di esercizi OKC influisce sulla lassità dell'innesto a 3 e 6 mesi dopo l'intervento in pazienti con autoinnesto da tendine del ginocchio con tendini di semimuscoli e gracile.

Lo studio è iniziato nella fase immediatamente post-operatoria durando poi fino al sesto mese post intervento.

Un totale di 103 pz. è stato suddiviso in 2 gruppi. Il gruppo d'intervento (n = 51) è stato sottoposto ad un piano di trattamento che prevedeva la somministrazione di esercizi CKC sin dalla prima settimana post-operazione combinati con esercizi OKC, introdotti nel programma dopo 4 settimane dall'intervento se i pz. mostravano un range di movimento completo tra 0° e 110°, il sollevamento della gamba sola senza ritardo e lassità dell'innesto a 134 N <1,5mm. Al gruppo di controllo (n = 52) sono invece stati somministrati solamente esercizi CKC.

Gli esercizi OKC sono stati eseguiti mediante l'utilizzo di una macchina isocinetica con leg extension e leg curl da seduti. Comprende 10 serie da 8 ripetizioni in isocinetica a 60°/s per quadricipiti e hamstring, nonché 8 serie da 8 ripetizioni, 3 volte a settimana di leg extension e leg curl da seduti. Le modalità di contrazione erano le stesse, indipendentemente dal tipo di esercizio, con 3 secondi di contrazione concentrica, 1 secondo di contrazione isometrica e 3 secondi di contrazione eccentrica. Il carico applicato era pari al 60% della resistenza massima. Dai 3 mesi in poi, l'intensità era variabile tra ciascun paziente perché il

tempo non era un criterio assoluto e i programmi dovevano essere individualizzati sulla base di altre variabili oggettive, ma non c'erano comunque differenze significative tra i 2 gruppi.

Dopo 3 mesi e 6 mesi, i partecipanti sono stati sottoposti a una valutazione della forza muscolare isocinetica per il quadricipite e gli hamstring utilizzando un dinamometro isocinetico Humac Norm (versione 15.000.0273; Computer Sports Medicine).

Prima di effettuare la valutazione isocinetica, ciascun partecipante ha effettuato un riscaldamento standardizzato con 10 minuti di camminata su un tapis roulant a 5 km/h. L'obiettivo di questa valutazione era misurare il PT/ BW (coppia/ peso corporeo) per il quadricipite e gli hamstring durante i movimenti di estensione e flessione del ginocchio per entrambe le gambe per analizzare la variazione della forza intrapaziente e interpaziente. La simmetria è stata espressa in percentuale dall'LSI (limb symmetry index), che è stato calcolato come PT/BW dell'arto lesionato diviso per il PT/BW dell'arto illeso, moltiplicato per 100. Tronco e coscia dell'arto testato sono stati legati con cinghie per ridurre al minimo i movimenti del corpo. Ogni pz. ha eseguito 1 serie di 4 estensioni e flessioni del ginocchio a 60 gradi/s variando da 0° a 100°. La serie è stata eseguita prima sull'arto operato e poi sull'arto non operato.

Dopo la valutazione della forza, è stata eseguita la valutazione della lassità dell'innesto con l'artrometro GNRB.

A 3 mesi, si sono notate differenze significative del 29,2% nell'LSI per i quadricipiti ($P < 0.001$; Cohen $d = -1,3$) e del 21,8% nell'LSI per gli hamstring ($P < 0.001$; Cohen $d = -0,9$), a favore del gruppo di intervento. A 6 mesi, risultati simili sono stati osservati, con differenze significative del 29,2% nel LSI per i quadricipiti ($P < 0.001$; Cohen $d = -1,2$) e del 9,5% nell'LSI per gli hamstring ($P = 0.024$; Cohen $d = -0,4$), favorendo anche in questo caso il gruppo di intervento. Risultati simili sono stati osservati nel confronto tra PT/BW, con una differenza significativa a 3 mesi di 0,96 Nm/kg nella forza relativa del quadricipite ($1,81 \pm 0,75$ vs $0,85 \pm 0,50$ Nm/kg, con $P < 0,001$; Cohen $d = -1,5$) e 0,42Nm/kg nella forza degli hamstring ($1,09 \pm 0,36$ vs $0,67 \pm 0,39$ Nm/kg, con $P < 0,001$; Cohen $d = -0,9$), favorendo il gruppo di intervento. Questi valori di resistenza significativamente più elevati nel gruppo di intervento erano presenti anche a 6 mesi, con una differenza tra i gruppi nella forza del quadricipite di 1,01 Nm/kg ($P < 0.001$; Cohen $d = -1,3$) e nella forza dei muscoli posteriori della coscia di 0,35 Nm/kg ($P < 0,001$; Cohen $d = -0,6$).

La lassità era sostanzialmente la stessa a 3 mesi tra i 2 gruppi ($0,38 \pm 1,19$ vs $0,38 \pm 1,90$ mm, rispettivamente; con $P=0,98$; Cohen $d = 0,005$). Tuttavia, a 6 mesi, la lassità era aumentata nel gruppo di controllo rispetto al gruppo di intervento ($0,58 \pm 1,65$ vs $0,44 \pm 1,20$ mm, rispettivamente; con $P=0,62$; Cohen $d=0,09$). Tuttavia, in entrambi i gruppi, i risultati riguardanti la variazione di lassità non erano significativi né a 3 né a 6 mesi.

In conclusione, questo studio dimostra che l'allenamento progressivo dei quadricipiti e dei muscoli posteriori della coscia con esercizi OKC facilita il recupero della forza muscolare nelle varie fasi e a partire dalla quarta settimana per il ritorno allo sport.

“Open Kinetic Chain Exercises in a Restricted Range of Motion After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction A Randomized Controlled Clinical Trial” (Fukuda et al., 2013)(77)

Lo studio aveva lo scopo di determinare se un inizio precoce di esercizi OKC per il rinforzo del quadricipite in un ROM ristretto promuoverebbe un miglioramento clinico senza causare un aumento della lassità anteriore del ginocchio nei pazienti dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore (ACLR).

Si tratta di un RCT ha cui hanno partecipato 35 pz. tra i 16 e i 50 anni operati con autotrapianti da tendini di semitendinoso e gracile.

I pz. sono stati divisi in 2 gruppi. Il protocollo di intervento ha avuto una durata di 25 settimane (circa 6 mesi). I pazienti di entrambi i gruppi hanno completato 3 sessioni a settimana, per circa 70 sessioni, iniziando il protocollo postoperatorio tra la prima e la seconda settimana dopo l'intervento. Entrambi i protocolli hanno enfatizzato l'aumento del ROM, il rafforzamento degli arti inferiori e controllo dell'equilibrio svolgendo esercizi CKC isometrici per l'anca e il rafforzamento del ginocchio è iniziato nella seconda settimana postoperatoria, seguita da esercizi dinamici di CKC alla sesta settimana postoperatoria.

Il gruppo d'intervento EOKC (n = 18) ha ricevuto un protocollo riabilitativo con un inizio precoce di esercizi OKC (quarta settimana dopo l'intervento) entro un ROM ristretto compreso tra 45° e 90°. Il gruppo di controllo LOKC (n = 17) ha eseguito lo stesso protocollo però con un inizio tardivo degli esercizi OKC tra 0° e 90° a partire dalla 12a settimana dopo l'intervento.

La forza muscolare del quadricipite e dei muscoli posteriori della coscia è stata valutata misurando la contrazione volontaria isometrica massima utilizzando un dinamometro portatile (Lafayette Instrument Co, Lafayette, Indiana). Sono seguite 3 prove al massimo sforzo isometrico per ciascun gruppo muscolare utilizzando poi come dato da analizzare la media dei 3 risultati. Dieci volontari sani (5 uomini e 5 donne) sono stati testati secondo il protocollo descritto sopra per la forza dei quadricipiti e dei muscoli posteriori della coscia come pilota studio.

La lassità anteriore del ginocchio è stata analizzata con un Rolimetro (Aircast, Vista, California). Una volta posizionato questo artrometro veniva eseguito in Lachman test per permettere allo strumento di quantificare la lussazione tibiale anteriore conseguente.

Infine sono stati monitorati il dolore tramite scala NPRS (0-10) e la funzionalità tramite la scala Lysholm.

Per quanto riguarda la forza, il gruppo EOKC ha migliorato la forza già alle settimane 19 e 25 mentre il gruppo LOKC ha mostrato un significativo aumento della forza solo al follow-up dei 17 mesi. Tuttavia, nonostante il gruppo EOKC abbia raggiunto prima l'obiettivo, al follow-up dei 17 mesi non vi erano differenze significative tra i due gruppi riguardo il miglioramento della forza raggiunto.

Riguardo la lassità dell'innesto, al follow-up a 17 mesi, tra i 18 pazienti che hanno terminato lo studio nel Gruppo EOKC, 7 (39%) presentavano lassità anteriore tra 3 e 5 mm e 2 (12%) presentavano dimensioni superiori a 5 mm. Inoltre, tra i 17 pazienti che hanno terminato lo studio nel gruppo LOKC, 10 (59%) presentavano lassità anteriore compreso tra 3 e 5 mm e 2 (12%) presentavano dimensioni maggiori di 5 mm.

Infine non è stata riscontrata alcuna differenza rilevante tra le valutazioni del dolore e funzionali a 12 settimane, 19 settimane, 25 settimane e 17 mesi follow-up tra i due gruppi in esame.

In conclusione il gruppo EOKC ha raggiunto gli stessi risultati per dolore e funzionalità come ha fatto il gruppo LOKC ma presentato un recupero più rapido della forza del quadricipite. Inoltre gli esercizi OKC per

i quadricipiti in un ROM limitato promuoverebbero un miglioramento clinico senza causare lassità anteriore del ginocchio in pazienti post ricostruzione del legamento crociato anteriore. L'inizio anticipato di esercizi senza carico utilizzando un ROM limitato non differisce da un inizio tardivo in termini di lassità anteriore del ginocchio.

“Comparison of effects of open kinetic chain exercises with closed kinetic chain exercises on quadriceps strength and knee functional activity level after ACL reconstruction - a randomized controlled trial” (Nadeem et al., 2022)(78)

L'obiettivo di questo RCT era confrontare esercizi OKC con esercizi a CKC misurando la forza dei quadricipiti e il livello di attività funzionale del ginocchio dopo la ricostruzione dell'ACL.

In questo studio, 36 pazienti operati da 3 settimane per ACLR sono stati distribuiti in 3 gruppi, ciascun con 12 pazienti tra 17 e 39 anni, il trattamento è stato somministrato per 6 settimane da 3 sedute a settimana.

Il GruppoA prevedeva un “trattamento convenzionale”, ovvero: metodo RICE, utilizzo fino al tempo massimo di calze compressive ed esercizi di mobilizzazione attivi, attivi assistiti e passivi. I pazienti del GruppoB sono stati trattati con esercizi OKC (esercizi isometrici del ginocchio, esercizi isotonici del ginocchio, esercizi di stretching di flessione-estensione del ginocchio) e il “trattamento convenzionale”. Al GruppoC sono stati somministrati esercizi CKC (esercizio di spostamento del peso in piedi, esercizi di seduta al muro, esercizi di affondi in accosciata) e “trattamento convenzionale”.

Il percorso terapeutico è stato diviso temporalmente in 2 fasi: durante le prime 3 settimane in tutti i gruppi ogni esercizio è stato ripetuto 5 volte con 10 secondi di isometria; nelle successive 3 settimane invece ogni gruppo ha proseguito con una specifica progressione.

Tutti e tre i gruppi hanno mostrato risultati di miglioramento della forza con riduzione della disabilità e del dolore. In particolare, i pazienti del GruppoC che hanno eseguito esercizi a catena cinetica chiusa hanno mostrato i migliori risultati con una migliore forza, riduzione del dolore. Tra GruppoA e GruppoB invece, i pazienti trattati con esercizi a catena cinetica aperta hanno mostrato una migliore forza e riduzione del dolore rispetto ai pazienti con solo trattamento convenzionale.

“Intrinsic graft laxity variation with open kinetic chain exercise after anterior cruciate ligament reconstruction: A non-randomized controlled study” (Forelli et al., 2024)(79)

L'obiettivo di questo studio retrospettivo era determinare se il rafforzamento del quadricipite e dei muscoli posteriori della coscia tramite un programma di riabilitazione che prevedeva esercizi precoci a catena cinetica aperta (OKC) e/o a catena cinetica chiusa (CKC) avesse un'influenza sulla lassità dell'innesto a 1, 3 e 6 mesi dopo l'intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore (ACLR).

Un totale di 53 pz. è stato suddiviso in 2 gruppi. Il gruppo di intervento (n = 25) prevedeva la somministrazione di un misto di esercizi OKC e CKC sia per i muscoli posteriori della coscia che per i quadricipiti mentre il gruppo di controllo (n = 28) prevedeva solamente esercizi CKC per muscoli posteriori della coscia e quadricipiti.

Nel gruppo d'intervento, gli esercizi OKC sono stati introdotti 2 settimane dopo l'intervento chirurgico senza resistenza e sono progrediti a 4 settimane con una resistenza esterna progressiva se i partecipanti

presentavano un ROM completo da 0° a 110°, valore dello Stroke test inferiore a 1+, capacità di sollevare attivamente la gamba tesa senza alcun ritardo (Forelli et al., 2023) e una differenza nella lassità tra le gambe inferiore a 1,5 mm su un test lassimetrico a 134 N utilizzando GNRB. Alla fine del primo mese quindi, ai partecipanti è stato consentito di eseguire esercizi isometrici OKC con un ROM compreso tra 0° e 30°. Successivamente, dopo 45 giorni dall'intervento, l'intensità e il ROM sono stati entrambi aumentati fino a 6 mesi, quando è stato aggiunto l'allenamento isocinetico.

Alla fine del periodo di studio, la traslazione anteriore del ginocchio sull'arto operato non era significativamente diversa tra i gruppi di intervento, a 1, 3 e 6 mesi dopo l'intervento. La differenza media osservata di lassità tra il 1° e il 6° mese è infatti di $0,1 \pm 0,8$ mm per il gruppo di intervento e $0,3 \pm 0,7$ mm per il gruppo di controllo. La forza del quadricipite presentava una differenza significativa ($p = 0,041$) di $0,5 \text{ Nmkg}^{-1}$ a favore del gruppo che utilizzava esercizi OKC rispetto al gruppo che utilizzava solo CKC a 3 mesi; tuttavia, al follow-up a 6 mesi non è stata riscontrata alcuna differenza significativa nella forza del quadricipite tra i gruppi ($p = 0,0203$). La forza dei muscoli posteriori della coscia era invece significativamente maggiore per il gruppo di intervento sia al follow-up a 3 che a 6 mesi.

Quindi l'introduzione di esercizi OKC nelle prime fasi della riabilitazione dell'ACLR non aumenta significativamente la lassità dell'innesto ACL durante la parte principale della riabilitazione e almeno fino ai 6 mesi postoperatori. Inoltre, l'implementazione dell'OKC insieme al rafforzamento dei quadricipiti e dei muscoli posteriori della coscia CKC sembra poter migliorare la forza muscolare del ginocchio più del solo esercizio CKC. Inoltre, il rafforzamento isocinetico nel nostro protocollo includeva un feedback visivo e uditivo digitale che può aiutare i partecipanti a visualizzare la produzione di forza durante l'esercizio e motivarli a raggiungere un valore più alto, aumentando plausibilmente l'efficacia di questi esercizi.

“Evaluation of Open and Closed Kinetic Chain Exercises in Rehabilitation Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction” (Uçar et al., 2014)(5)

Lo scopo di questo studio era confrontare i risultati derivanti dal trattamento mediante esercizi a catena cinetica aperta (OKC) ed esercizi a catena cinetica chiusa (CKC) post-intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore (ACL).

La popolazione di questo studio era di 58 pz. di età compresa tra 17 e 39 anni con lesione unilaterale del LCA operata tramite ACLR con innesto autologo di tendine del ginocchio a doppio fascio che sono stati divisi nei 2 gruppi: il gruppo CKC ($n = 30$) e il gruppo OKC ($n = 28$).

Entrambi i gruppi hanno eseguito 3 serie da 20 ripetizioni di ogni esercizio a partire dalla seconda settimana. Le misurazioni dei risultati sono state effettuate prima dell'intervento, poi a 3 mesi e 6 mesi dopo l'intervento in entrambi i gruppi.

Per il dolore è stata usata la scala VAS, la flessione-estensione attiva del ginocchio è stata valutata con un goniometro universale e la differenza della circonferenza della coscia è stata calcolata dalle misurazioni effettuate con un metro a nastro 15 cm sopra il bordo superiore della rotula. Infine per valutare la funzione del ginocchio sono stati utilizzati i punteggi Lysholm.

In entrambi i gruppi sono state riscontrate diminuzioni significative nei punteggi VAS a 3 e 6 mesi dopo l'intervento chirurgico con una diminuzione maggiore nel gruppo CKC. La flessione del ginocchio ha mostrato aumenti significativi a 3 e 6 mesi in entrambi i gruppi e i valori erano maggiori nel gruppo CKC. Miglioramenti significativi nel punteggio Lysholm sono stati riscontrati 6 mesi dopo l'intervento in entrambi i gruppi (entrambi $p > 0,05$), e il miglioramento è stato maggiore nel gruppo CKC. Le differenze nella circonferenza della coscia erano tuttavia uguali nei gruppi OKC e CKC alla fine del 6° mese. Da questo studio risulta quindi che gli esercizi CKC sembrano essere più efficaci degli esercizi OKC per il recupero della funzionalità del ginocchio. Un lato negativo di questo studio è la mancanza di una misurazione della lassità/allungamento dell'innesto nelle due metodiche di esercizio.

“Subjective Assessment of Rehabilitation Protocol by Patients after ACL Reconstruction – Preliminary Report” (Chrzan et al., 2013)(80)

Questo studio, a differenza dei precedenti che valutavano soprattutto grandezze fisiche oggettivamente rilevabili, ha lo scopo di studiare l'utilizzo di scale di valutazione soggettiva per valutare l'efficacia del trattamento e della riabilitazione dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore (ACLR).

Una popolazione di 40 pz. tra 18 e 40 anni sottoposti a ricostruzione del legamento crociato anteriore (ACL) con autoinnesto di tendine semitendinoso e gracile è stata suddivisa randomicamente in due gruppi: G1 il cui trattamento era basato sullo Steadman Hawkins Clinic Vail Program, (Colorado, USA), basato su un maggior numero di esercizi CKC e G2 il cui trattamento si ispirava al Chester Knee Clinic & Cartilage Repair Center Program e basato su un maggior numero di esercizi OKC.

All'inizio, entrambi i programmi prevedevano 3 serie da 50 ripetizioni per ciascun esercizio, gradualmente aumentate quotidianamente fino a 6 serie da 50 ripetizioni.

I soggetti hanno valutato la funzionalità del loro ginocchio al basale e dopo la fisioterapia utilizzando il punteggio Lysholm e il modulo IKDC. I punteggi medi soggettivi della funzionalità del ginocchio secondo il questionario IKDC completato al basale erano 40,27 e 41,29 rispettivamente in G1 e G2. Dopo 2 settimane il cambiamento medio maggiore è stato osservato in G2 (46,7%), mentre in G1 il punteggio medio era aumentato solo del 22,9%.

Secondo l'opinione dei pazienti quindi, un protocollo riabilitativo che prevede un numero maggiore di esercizi a catena cinetica aperta può rivelarsi più efficace nella riabilitazione dei pazienti dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore rispetto ad un programma basato principalmente su catene cinetiche chiuse.

4.3 Misure di Outcome

Per rendere gli studi comparabili e scientificamente validi, all'interno di essi viene fatto largo utilizzo di strumenti di misura e scale di misura oggettive o soggettive standardizzate e ripetibili, sottolineando le differenze statisticamente significative tra i/il gruppo/i/o intervento e il gruppo controllo.

Le variabili misurate negli studi esaminati erano: Forza muscolare, simmetria di forza tra gli AAI, circonferenza della coscia, ROM articolare, lassità anteriore del ginocchio o lassità dell'innesto, dolore e funzionalità.

Per misurare queste variabili fondamentali, sono state utilizzate le seguenti scale di misura e strumenti di misura:

- Forza muscolare: sono stati utilizzati dinamometri isocinetici (76–79) e in particolare, nel primo studio (Forelli et al., 2023), è stato calcolato il rapporto PT/ BW (coppia/ peso corporeo). Sempre in questo studio è stato calcolato anche l'indice di simmetria percentuale tra gli AAI, ovvero il %LSI (limb symmetry index).
- Lassità dell'innesto: si tratta di una misurazione fondamentale per dare un'idea oggettiva di quanto la metodica di esercizio sia sicura e quanto in particolare va a mettere sotto sforzo l'innesto. E' stata misurata negli studi tramite artrometri: artrometro GNRB (76,79), artrometro tipo rolometro (77).
- Dolore: è stato misurato negli studi tramite scala visiva VAS (5), o tramite la scala NPRS (77).
- La funzione complessiva del ginocchio è stata valutata tramite scale soggettive: la scala Lysholm (77,80) e il modulo IKDC (80).
- Circonferenza coscia: è stata misurata in particolare in uno studio (5) mediante un metro a nastro posto 15 cm sopra il bordo superiore della rotula per dare un'idea della variazione di trofia dei muscoli della coscia durante il periodo di trattamento.

4.4 Sintesi dei risultati: Tabella Sinottica

Per poter riassumere al meglio i concetti principali degli studi analizzati è stata elaborata la seguente tabella:

Autore	Pazienti	Gr. di intervento	N pz.	Gr. di controllo	N pz.	Durata	Misure di outcome	Risultati
“Evaluation of Muscle Strength and Graft Laxity With Early Open Kinetic Chain Exercise After ACL Reconstruction A Cohort Study”								
Forelli et al., 2023	103 pz. Età tra 16 e 35 anni.	Esercizi CKC sin dalla prima settimana post-operazione combinati con esercizi OKC, introdotti nel programma dopo 4 settimane dall'intervento.	51	Esecuzione di soli esercizi CKC durante l'esercizio terapeutico.	52	6 mesi	Forza: dinamometro isocinetico Humac Norm per misurare PT/ BW (coppia/ peso corporeo). Simmetria forza: %LSI (limb symmetry index). Lassità dell'innesto: artrometro GNRB.	Sia a 3 che a 6 mesi, differenze significative riguardo la forza a favore del gruppo di intervento. Per quanto riguarda la lassità, nonostante un maggiore aumento della lassità nel gruppo di controllo a 6 mesi, sia a 3 che a 6 mesi le variazioni di lassità non erano significative in nessuno dei 2 gruppi.
“Open Kinetic Chain Exercises in a Restricted Range of Motion After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction A Randomized Controlled Clinical Trial”								
Fukuda et al., 2013	35 pz. Età tra 16 e 50 anni.	Inizio precoce di esercizi OKC, alla 4a settimana dopo l'intervento, entro un ROM ristretto	18	Stesso protocollo di esercizi del gruppo di intervento ma con inizio tardivo degli esercizi OKC tra 0°	17	6 mesi	Forza: contrazione volontaria isometrica massima mediante dinamometro portatile. Lassità: artrometro tipo	Riguardo il miglioramento della forza raggiunto, il gruppo EOKC ha raggiunto prima l'obiettivo (a 19 e 25 settimane), ma al follow-up dei 17 mesi non vi erano differenze

		compreso tra 45° e 90°.		e 90° a partire dalla 12a settimana dopo l'intervento.				rolimetro. Dolore: scala NPRS (0-10). Funzionalità : scala Lysholm.	significative tra i due gruppi. Non vi erano differenze rilevanti nella lassità, nel dolore o funzionali a 12 settimane, 19 settimane, 25 settimane e 17 mesi follow-up tra i due gruppi in esame.	
“Comparison of effects of open kinetic chain exercises with closed kinetic chain exercises on quadriceps strength and knee functional activity level after ACL reconstruction - a randomized controlled trial”										
Nadeem et al., 2022	36 pz. Età tra 17 e 39 anni.	Gr. A: “trattamento convenzionale”, ovvero: metodo RICE, utilizzo fino al tempo massimo di calze compressive ed esercizi di mobilizzazione e attivi, attivi assistiti e passivi.	N ¹²	Gr. B: esercizi OKC (esercizi isometrici del ginocchio, esercizi isotonici del ginocchio, esercizi di stretching di flessione-estensione del ginocchio) e “trattamento convenzionale”.	N ¹²	Gr. C: esercizi CKC (esercizio di spostamento del peso in piedi, esercizi di seduta al muro, esercizi di affondi in accosciata) e “trattamento convenzionale”.	N ¹²	6 settimane	Forza muscolare: dinamometro.	Tutti e tre i gruppi hanno mostrato risultati di miglioramento della forza con riduzione della disabilità e del dolore. In particolare, i pazienti del GruppoC che hanno eseguito esercizi a catena cinetica chiusa hanno mostrato i migliori risultati con una migliore forza, riduzione del dolore. Tra GruppoA e GruppoB invece, i pazienti trattati con esercizi a catena cinetica aperta hanno mostrato una migliore forza e riduzione del dolore rispetto ai pazienti con solo trattamento convenzionale.
“Intrinsic graft laxity variation with open kinetic chain exercise after anterior cruciate ligament reconstruction: A non-randomized controlled study”										
Forelli et al., 2024	53 pz. Età tra 18 e 40 anni.	Misto di esercizi OKC e CKC sia per i muscoli posteriori della coscia che per i quadricipiti. Esercizi OKC: - Senza carico dalla 2° alla 4° sett. - Resistenza esterna progressiva dalla 4° sett. - Dopo primo mese, esercizi isometrici con ROM tra 0° e 30° con intensità e ROM aumentati dal 45°gg. - Allenamento isocinetico dal 6° mese.	25	Solamente esercizi CKC per muscoli posteriori della coscia e quadricipiti.	28		6 mesi	Forza muscolare: Dinamometro isocinetico (60°.s ⁻¹). Differenza di lassità tra gli AAIL: artrometro GNBR 134N.	La forza del quadricipite presentava una differenza significativa a favore del gruppo che utilizzava esercizi OKC a 3 mesi; tuttavia, al follow-up a 6 mesi non è stata riscontrata alcuna differenza significativa tra i 2 gruppi. La forza dei muscoli posteriori della coscia era invece significativamente maggiore per il gruppo di intervento sia al follow-up a 3 che a 6 mesi. La differenza media di lassità osservata tra i 2 gruppi non era rilevante.	

"Evaluation of Open and Closed Kinetic Chain Exercises in Rehabilitation Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"								
Uçar et al., 2014	58 pz. Età tra 17 e 39 anni.	Esercizi a catena cinetica aperta (OKC). Esecuzione di 3 serie da 20 ripetizioni di ogni esercizio a partire dalla seconda settimana.	28	Esercizi a catena cinetica chiusa (CKC). Esecuzione di 3 serie da 20 ripetizioni di ogni esercizio a partire dalla seconda settimana.	30	6 mesi	Dolore: scala VAS. ROM: goniometro universale. Circonferenza coscia: metro a nastro 15 cm sopra il bordo superiore della rotula. Funzionalità ginocchio: scala Lysholm.	Entrambi i gruppi hanno evidenziato miglioramenti significativi in tutti i parametri. Le differenze nella circonferenza della coscia erano uguali nei gruppi OKC e CKC alla fine del 6° mese. Sia dolore che ROM sono migliorati in entrambi al 3° e 6° mese ma maggiormente nel gruppo CKC. Il punteggio Lysholm è migliorato in entrambi i gruppi al 6° mese ma maggiormente nel gruppo CKC.
"Subjective Assessment of Rehabilitation Protocol by Patients after ACL Reconstruction – Preliminary Report"								
Chrzan et al., 2013	40 pz. Età tra 18 e 40 anni.	Chester Knee Clinic & Cartilage Repair Center, basato su un maggior numero di esercizi OKC. Esecuzione di 3 serie da 50 ripetizioni per ciascun esercizio, gradualmente aumentate quotidianamente fino a 6 serie da 50 ripetizioni.	20	Steadman Programma Hawkins Clinic Vail, (Colorado, USA), basato su un maggior numero di esercizi CKC. Esecuzione di 3 serie da 50 ripetizioni per ciascun esercizio, gradualmente aumentate quotidianamente fino a 6 serie da 50 ripetizioni.	20	2 settimane	Funzionalità: scala Lysholm e modulo IKDC.	Dopo 2 settimane il cambiamento medio maggiore è stato osservato nel gruppo OKC (46,7%), mentre nel gruppo CKC il punteggio medio era aumentato solo del 22,9%. Secondo l'opinione dei pazienti quindi, un protocollo riabilitativo che prevede un numero maggiore di esercizi a catena cinetica aperta può rivelarsi più efficace nella riabilitazione dei pazienti dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore rispetto ad un programma basato principalmente su catene cinetiche chiuse.

CAPITOLO V: Discussione

La rottura del legamento crociato anteriore è attualmente una delle patologie più frequenti e allo stesso tempo debilitanti in ambito sportivo (47,53).

E' più frequentemente osservata nella popolazione di età compresa tra 15 e 25 anni e può causare un aumento della lassità tibiofemorale e una compromissione della funzione neuromuscolare, che alla fine può portare a instabilità, degenerazione articolare e disfunzione del ginocchio. La ricostruzione del legamento crociato anteriore è il metodo operativo standard utilizzato per prevenire il progresso di complicazioni muscolo-scheletriche indesiderate nonostante il trattamento conservativo resti una valida alternativa per i pazienti che mostrano un efficace adattamento all'infortunio con conseguenti stabilità statica e dinamica favorevoli al ritorno allo sport senza intervento (5,44).

Nonostante l'importante frequenza di infortuni di questo tipo e il conseguente sviluppo di adeguate tecniche per il loro trattamento, restano ancora da delineare delle linee guida complete che permettano di risolvere le

numerose controversie riguardanti la scelta del trattamento fisioterapico più adeguato per la riabilitazione post-operatoria. Lo scopo di questa tesi è stato quello di provare a dare un'esaustiva risposta ad una di queste controversie: quella riguardante l'introduzione di esercizi in catena cinetica aperta all'interno dei progetti riabilitativi in maniera più o meno precoce, scelta spesso ritardata particolarmente o addirittura evitata per la paura da parte del fisioterapista di un sovraccarico e re-infortunio dovuti alla minore stabilità dell'articolazione causata dall'assenza di cocontrazione coattante agonista-antagonista presente invece negli esercizi in catena cinetica chiusa.

Al fine di supportare l'ipotesi secondo cui l'introduzione di questi esercizi, svolta in maniera ragionata e con un'adeguata calibrazione della progressione della difficoltà e del range articolare di esecuzione degli esercizi, rappresenti un'ottima ed efficace integrazione ai progetti riabilitativi che già comprendano la somministrazione di esercizi in catena cinetica chiusa, esercizi di equilibrio, propriocezione e terapia manuale, sono state consultate le principali banche date online giungendo all'individuazione di 6 articoli rivelatisi soddisfare i requisiti di ricerca.

Sono stati analizzati e sintetizzati i 6 articoli utilizzando le misure di outcome per paragonarne i risultati. Le misure di outcome prese in considerazione sono state: dolore, funzionalità, ROM, lassità dell'innesto (e simmetria di lassità), forza e trofismo (e simmetria di forza e trofismo).

Paragonando queste misure di outcome e i risultati dei 6 studi è risultato che:

In tutti i 6 studi (76–80), i gruppi di studio che prevedevano l'integrazione di esercizi OKC avevano mostrato miglioramenti in tutte le misure di outcome, risultato che va a supportare l'ipotesi che l'integrazione di questa metodica di esercizi rappresenti una valida proposta di trattamento rappresentando un ampliamento della varietà di stimoli a cui si può sottoporre la muscolatura della coscia al fine di riattivarla e ricondizionarla al meglio.

Inoltre, in 4 studi (76,77,79,80), il gruppo di studio che aveva sottoposto i pazienti ad un programma di esercizi che prevedeva sia esercizi OKC che esercizi CKC, ha riportato migliori risultati nel breve termine (3 mesi), mentre nel medio e lungo termine (6-9mesi) non si osservano più differenze rilevanti, tuttavia in tutti i 6 studi (76–80) non sono state osservate rilevanti differenze nella lassità dell'innesto, nell'intensità del dolore o nel tasso di fallimento dell'innesto, ciò a supporto dell'ipotesi che gli esercizi in catena cinetica aperta, se ben modulati, non rappresentano un pericolo per il pz. che li esegue.

Secondo 1 studio che prevedeva il confronto tra programmi di esercizi che prevedessero l'utilizzo di una sola metodica di esercizio (78), gli esercizi CKC rappresentano la metodica più efficace se confrontati agli esercizi OKC, tuttavia, lo scopo della tesi non è determinare quale delle 2 metodiche sia la più efficace e quindi quella da scegliere esclusivamente, bensì promuovere l'integrazione di entrambe le metodiche in un'ottica di variazione degli stimoli per i muscoli e gli schemi motori che si vogliono riabilitare.

Resta infine poco approfondita la scelta del miglior range articolare con cui introdurre gli esercizi OKC nel paziente post-ACLR. Infatti solamente 2 studi (77,79) tra quelli analizzati hanno affrontato l'argomento

suggerendo un iniziale ROM compreso tra i 90° e i 45°. Riteniamo dunque che un'ulteriore approfondimento a riguardo sia necessario per ampliare la letteratura e consigliare al meglio i fisioterapisti che trattano questa patologia.

CAPITOLO VI: Conclusioni

Questa revisione bibliografica narrativa è stata condotta al fine di confermare la controversa ipotesi secondo cui l'integrazione degli esercizi in catena cinetica aperta, se ben calibrati e modulati nell'intensità, in progetti riabilitativi che comprendano anche esercizi in catena cinetica chiusa, esercizi di propriocezione, esercizi di equilibrio, terapia manuale ed eventuali terapie fisiche, rappresenterebbe un'efficace e sicura proposta al fine di ampliare la varietà di stimoli da utilizzare per la riabilitazione della muscolatura e degli schemi motori responsabili della stabilità e della funzionalità del ginocchio.

Attualmente infatti la tendenza sembra essere quella di escludere questa metodica di esercizi o ritardarne l'introduzione alle fasi più avanzate della riabilitazione temendo che non sia una metodica sufficientemente sicura.

Lo scopo quindi di questo studio è di portare l'attenzione sull'importanza del creare un progetto riabilitativo il più possibile completo e basato sulle evidenze scientifiche più recenti senza farsi fermare dalla paura che sembra invece essere uno dei fattori prognostici negativi nel trattamento di questo tipo di infortunio.

Come già evidenziato nei paragrafi precedenti, questa revisione ha portato alla conclusione che l'ottimale progetto riabilitativo non prevede l'utilizzo di una sola metodica di esercizio terapeutico ma l'inclusione di esercizi in catena cinetica aperta e chiusa. Inoltre gli esercizi in catena cinetica aperta non rappresentano un rischio per l'aumento della lassità o la rottura dell'innesto. Gli studi analizzati hanno tuttavia suggerito che come per ogni proposta riabilitativa, l'intensità di questi esercizi deve essere adeguatamente valutata e decisa in base ad un processo di continua rivalutazione del paziente. Riguardo l'introduzione precoce degli esercizi in catena cinetica aperta nel progetto riabilitativo, ovviamente previa adeguata valutazione delle capacità e condizioni cliniche del paziente, gli studi hanno dimostrato che è possibile a partire dalle prime 2/3 settimane post-operatorie suggerendo però l'iniziale utilizzo di un range ridotto (circa 45° di ROM) per la loro esecuzione.

Si ritiene infine che sia necessario un'ulteriore approfondimento dell'argomento vista la ridotta quantità di bibliografia disponibile su di esso. Si ritiene inoltre necessario un lavoro di ricerca che sottolinei l'importanza della componente psicologica e soprattutto della gestione della kinesiofobia nella somministrazione degli esercizi fisioterapici e più in generale nel processo di riabilitazione essendo questo a nostro parere un fondamentale aspetto della riabilitazione di questa patologia poiché l'intervento chirurgico affronta la lesione, ma la fisioterapia e l'impegno postoperatorio saranno quelli che determineranno realmente il successo.

BIBLIOGRAFIA

1. (NEUMANN)Kinesiology of the Musculoskeletal System 1.pdf.
2. STANDRING Gray's Anatomy (2016, Elsevier).pdf.
3. Platzer W. Color Atlas of Human Anatomy Vol.1 Locomotor System. 7° edizione. 2019.
4. FLOYD Manual of Structural Kinesiology (2021, McGraw Hill).pdf.
5. Uçar M, Koca I, Eroglu M, Eroglu S, Sarp U, Arik HO, et al. Evaluation of Open and Closed Kinetic Chain Exercises in Rehabilitation Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Phys Ther Sci.* 2014;26(12):1875–8.
6. Larwa J, Stoy C, Chafetz RS, Boniello M, Franklin C. Stiff Landings, Core Stability, and Dynamic Knee Valgus: A Systematic Review on Documented Anterior Cruciate Ligament Ruptures in Male and Female Athletes. *Int J Environ Res Public Health.* 6 aprile 2021;18(7):3826.
7. Bram JT, Magee LC, Mehta NN, Patel NM, Ganley TJ. Anterior Cruciate Ligament Injury Incidence in Adolescent Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med.* giugno 2021;49(7):1962–72.
8. Chia L, De Oliveira Silva D, Whalan M, McKay MJ, Sullivan J, Fuller CW, et al. Non-contact Anterior Cruciate Ligament Injury Epidemiology in Team-Ball Sports: A Systematic Review with Meta-analysis by Sex, Age, Sport, Participation Level, and Exposure Type. *Sports Med Auckl NZ.* ottobre 2022;52(10):2447–67.
9. Stojanović E, Faude O, Nikić M, Scanlan AT, Radovanović D, Jakovljević V. The incidence rate of ACL injuries and ankle sprains in basketball players: A systematic review and meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports.* giugno 2023;33(6):790–813.
10. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Paterno MV, Quatman CE. Mechanisms, prediction, and prevention of ACL injuries: Cut risk with three sharpened and validated tools. *J Orthop Res Off Publ Orthop Res Soc.* novembre 2016;34(11):1843–55.
11. Rodriguez K, Soni M, Joshi PK, Patel SC, Shreya D, Zamora DI, et al. Anterior Cruciate Ligament Injury: Conservative Versus Surgical Treatment. *Cureus.* dicembre 2021;13(12):e20206.
12. Domnick C, Raschke MJ, Herbort M. Biomechanics of the anterior cruciate ligament: Physiology, rupture and reconstruction techniques. *World J Orthop.* 18 febbraio 2016;7(2):82–93.
13. Gokeler. Meccanismi di lesione del legamento crociato anteriore attraverso una lente neurocognitiva: implicazioni per lo screening delle lesioni - PubMed [Internet]. [citato 5 settembre 2024]. Disponibile su: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34055386/>
14. Boden BP, Sheehan FT, Torg JS, Hewett TE. Noncontact anterior cruciate ligament injuries: mechanisms and risk factors. *J Am Acad Orthop Surg.* settembre 2010;18(9):520–7.
15. Boden BP, Sheehan FT. Mechanism of non-contact ACL injury: OREF Clinical Research Award 2021. *J Orthop Res Off Publ Orthop Res Soc.* marzo 2022;40(3):531–40.

16. Bisciotti GN, Chamari K, Cena E, Bisciotti A, Bisciotti A, Corsini A, et al. Anterior cruciate ligament injury risk factors in football. *J Sports Med Phys Fitness*. ottobre 2019;59(10):1724–38.
17. Acevedo RJ, Rivera-Vega A, Miranda G, Micheo W. Anterior cruciate ligament injury: identification of risk factors and prevention strategies. *Curr Sports Med Rep*. 2014;13(3):186–91.
18. Sutton KM, Bullock JM. Anterior cruciate ligament rupture: differences between males and females. *J Am Acad Orthop Surg*. gennaio 2013;21(1):41–50.
19. Pfeifer CE, Beattie PF, Sacko RS, Hand A. RISK FACTORS ASSOCIATED WITH NON-CONTACT ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT INJURY: A SYSTEMATIC REVIEW. *Int J Sports Phys Ther*. agosto 2018;13(4):575–87.
20. Crotti M, Heering T, Lander N, Fox A, Barnett LM, Duncan MJ. Extrinsic Risk Factors for Primary Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury in Adolescents Aged between 14 and 18 years: A Systematic Review. *Sports Med Auckl NZ*. aprile 2024;54(4):875–94.
21. Wang LJ, Zeng N, Yan ZP, Li JT, Ni GX. Post-traumatic osteoarthritis following ACL injury. *Arthritis Res Ther*. 24 marzo 2020;22(1):57.
22. Leite CBG, Smith R, Lavoie-Gagne OZ, Görtz S, Lattermann C. Biologic Impact of Anterior Cruciate Ligament Injury and Reconstruction. *Clin Sports Med*. luglio 2024;43(3):501–12.
23. Paredes R, Crasto C, Mesquita Montes A, Arias-Buría JL. Changes in co-contraction magnitude during functional tasks following anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review. *The Knee*. giugno 2024;48:243–56.
24. Tayfur B, Charupongsa C, Morrissey D, Miller SC. Neuromuscular Function of the Knee Joint Following Knee Injuries: Does It Ever Get Back to Normal? A Systematic Review with Meta-Analyses. *Sports Med*. 1 febbraio 2021;51(2):321–38.
25. Fleming JD, Ritzmann R, Centner C. Effect of an Anterior Cruciate Ligament Rupture on Knee Proprioception Within 2 Years After Conservative and Operative Treatment: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Med Auckl NZ*. maggio 2022;52(5):1091–102.
26. Criss CR, Melton MS, Ulloa SA, Simon JE, Clark BC, France CR, et al. Rupture, reconstruction, and rehabilitation: A multi-disciplinary review of mechanisms for central nervous system adaptations following anterior cruciate ligament injury. *The Knee*. giugno 2021;30:78–89.
27. Sonnery-Cottet. Prevention of knee stiffness following ligament reconstruction: Understanding the role of Arthrogenic Muscle Inhibition (AMI) - ScienceDirect [Internet]. 2023 [citato 9 ottobre 2024]. Disponibile su: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877056823003365>
28. Schilaty ND, McPherson AL, Nagai T, Bates NA. Arthrogenic muscle inhibition manifests in thigh musculature motor unit characteristics after anterior cruciate ligament injury. *Eur J Sport Sci*. 4 maggio 2023;23(5):840–50.
29. Sonnery-Cottet B, Saithna A, Quelard B, Daggett M, Borade A, Ouanezar H, et al. Arthrogenic muscle inhibition after ACL reconstruction: a scoping review of the efficacy of interventions. *Br J Sports Med*. 1 marzo 2019;53(5):289–98.

30. Lepley LK, Davi SM, Burland JP, Lepley AS. Muscle Atrophy After ACL Injury: Implications for Clinical Practice. *Sports Health*. 2020;12(6):579–86.
31. Thomas AC, Villwock M, Wojtys EM, Palmieri-Smith RM. Lower extremity muscle strength after anterior cruciate ligament injury and reconstruction. *J Athl Train*. 2013;48(5):610–20.
32. Everhart JS, Best TM, Flanigan DC. Psychological predictors of anterior cruciate ligament reconstruction outcomes: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. marzo 2015;23(3):752–62.
33. Nedder VJ, Raju AG, Moyal AJ, Calcei JG, Voos JE. Impact of Psychological Factors on Rehabilitation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *Sports Health*. 23 luglio 2024;19417381241256930.
34. Flanigan DC, Everhart JS, Pedroza A, Smith T, Kaeding CC. Fear of reinjury (kinesiophobia) and persistent knee symptoms are common factors for lack of return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc*. agosto 2013;29(8):1322–9.
35. Gignac MA, Cao X, Ramanathan S, White LM, Hurtig M, Kunz M, et al. Perceived personal importance of exercise and fears of re-injury: a longitudinal study of psychological factors related to activity after anterior cruciate ligament reconstruction. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 21 gennaio 2015;7:4.
36. Fritz B. [Imaging of the anterior cruciate ligament and anterolateral rotational instability of the knee joint]. *Radiol Heidelberg Ger*. aprile 2024;64(4):261–70.
37. Huang W, Zhang Y, Yao Z, Ma L. Clinical examination of anterior cruciate ligament rupture: a systematic review and meta-analysis. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2016;50(1):22–31.
38. Makhmalbaf H, Moradi A, Ganji S, Omid-Kashani F. Accuracy of Lachman and Anterior Drawer Tests for Anterior Cruciate Ligament Injuries. *Arch Bone Jt Surg*. dicembre 2013;1(2):94–7.
39. Jackson JL, O'Malley PG, Kroenke K. Evaluation of acute knee pain in primary care. In: *Database of Abstracts of Reviews of Effects (DARE): Quality-assessed Reviews [Internet] [Internet]*. Centre for Reviews and Dissemination (UK); 2003 [citato 23 settembre 2024]. Disponibile su: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK70160/>
40. Mulligan EP, McGuffie DQ, Coyner K, Khazzam M. The reliability and diagnostic accuracy of assessing the translation endpoint during the lachman test. *Int J Sports Phys Ther*. febbraio 2015;10(1):52–61.
41. Musahl V, Kopf S, Rabuck S, Becker R, van der Merwe W, Zaffagnini S, et al. Rotatory knee laxity tests and the pivot shift as tools for ACL treatment algorithm. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. aprile 2012;20(4):793–800.
42. Benjaminse A, Gokeler A, van der Schans CP. Clinical diagnosis of an anterior cruciate ligament rupture: a meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther*. maggio 2006;36(5):267–88.
43. Collins NJ, Misra D, Felson DT, Crossley KM, Roos EM. Measures of knee function: International Knee Documentation Committee (IKDC) Subjective Knee Evaluation Form, Knee

Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS), Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score Physical Function Short Form (KOOS-PS), Knee Outcome Survey Activities of Daily Living Scale (KOS-ADL), Lysholm Knee Scoring Scale, Oxford Knee Score (OKS), Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC), Activity Rating Scale (ARS), and Tegner Activity Score (TAS). *Arthritis Care Res.* novembre 2011;63 Suppl 11(0 11):S208-228.

44. Kaplan. Identifying individuals with an anterior cruciate ligament-deficient knee as copers and noncopers: a narrative literature review. *J Orthop Sports Phys Ther* [Internet]. ottobre 2011 [citato 8 ottobre 2024];41(10). Disponibile su: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21979555/>
45. Lewek MD, Chmielewski TL, Risberg MA, Snyder-Mackler L. Dynamic knee stability after anterior cruciate ligament rupture. *Exerc Sport Sci Rev.* ottobre 2003;31(4):195–200.
46. Moksnes H, Snyder-Mackler L, Risberg MA. Individuals with an anterior cruciate ligament-deficient knee classified as noncopers may be candidates for nonsurgical rehabilitation. *J Orthop Sports Phys Ther.* ottobre 2008;38(10):586–95.
47. Zsidai B, Kaarre J, Narup E, Samuelsson K. Timing of Anterior Cruciate Ligament Surgery. *Clin Sports Med.* luglio 2024;43(3):331–41.
48. Ekdahl M, Wang JHC, Ronga M, Fu FH. Graft healing in anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* ottobre 2008;16(10):935–47.
49. Kan SL, Yuan ZF, Ning GZ, Yang B, Li HL, Sun JC, et al. Autograft versus allograft in anterior cruciate ligament reconstruction: A meta-analysis with trial sequential analysis. *Medicine (Baltimore).* settembre 2016;95(38):e4936.
50. Chen CH, Chuang TY, Wang KC, Chen WJ, Shih CH. Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction with quadriceps tendon autograft: clinical outcome in 4-7 years. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* novembre 2006;14(11):1077–85.
51. Shani RH, Umpierrez E, Nasert M, Hiza EA, Xerogeanes J. Biomechanical Comparison of Quadriceps and Patellar Tendon Grafts in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* gennaio 2016;32(1):71–5.
52. Månsson O, Kartus J, Sernert N. Pre-operative factors predicting good outcome in terms of health-related quality of life after ACL reconstruction. *Scand J Med Sci Sports.* febbraio 2013;23(1):15–22.
53. Vari N, Cavaignac E, Cavaignac M, Bérard É, Marot V. Outcomes of hamstring graft with preserved tibial insertion for ACL reconstruction: systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthop Surg Traumatol Orthop Traumatol.* gennaio 2024;34(1):67–73.
54. Stensbirk F, Thorborg K, Konradsen L, Jørgensen U, Hölmich P. Iliotibial band autograft versus bone-patella-tendon-bone autograft, a possible alternative for ACL reconstruction: a 15-year prospective randomized controlled trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* settembre 2014;22(9):2094–101.
55. Tapasvi S, Shekhar A. Revision ACL Reconstruction: Principles and Practice. *Indian J Orthop.* aprile 2021;55(2):263–75.

56. Zaffagnini S, De Pasquale V, Marchesini Reggiani L, Russo A, Agati P, Bacchelli B, et al. Electron microscopy of the remodelling process in hamstring tendon used as ACL graft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. agosto 2010;18(8):1052–8.
57. Palazzolo A, Rosso F, Bonasia DE, Saccia F, Rossi R, Knee Committee SIGASCOT. Uncommon Complications after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Joints*. settembre 2018;6(3):188–203.
58. Boyd E, Endres NK, Geeslin AG. Postoperative healing and complications based on anterior cruciate ligament reconstruction graft type. *Ann Jt*. 2024;9:30.
59. Zhao D, Pan JK, Lin FZ, Luo MH, Liang GH, Zeng LF, et al. Risk Factors for Revision or Rerupture After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med*. settembre 2023;51(11):3053–75.
60. Buckthorpe M, Della Villa F. Optimising the «Mid-Stage» Training and Testing Process After ACL Reconstruction. *Sports Med Auckl NZ*. aprile 2020;50(4):657–78.
61. Janssen RPA, Scheffler SU. Intra-articular remodelling of hamstring tendon grafts after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. settembre 2014;22(9):2102–8.
62. de Valk EJ, Moen MH, Winters M, Bakker EWP, Tamminga R, van der Hoeven H. Preoperative patient and injury factors of successful rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction with single-bundle techniques. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc*. novembre 2013;29(11):1879–95.
63. Shaarani SR, O'Hare C, Quinn A, Moyna N, Moran R, O'Byrne JM. Effect of prehabilitation on the outcome of anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. settembre 2013;41(9):2117–27.
64. Herrington L, Myer G, Horsley I. Task based rehabilitation protocol for elite athletes following Anterior Cruciate ligament reconstruction: a clinical commentary. *Phys Ther Sport Off J Assoc Chart Physiother Sports Med*. novembre 2013;14(4):188–98.
65. Moretti L, Bizzoca D, Cassano GD, Caringella N, Delmedico M, Moretti B. Graft Intra-Articular Remodeling and Bone Incorporation in ACL Reconstruction: The State of the Art and Clinical Implications. *J Clin Med*. gennaio 2022;11(22):6704.
66. FisioScience. Riabilitazione Crociato Anteriore: una guida per il fisioterapista - FisioScience [Internet]. 2020 [citato 24 settembre 2024]. Disponibile su: <https://www.fisioscience.it/blog/riabilitazione-legamento-crociato-anteriore/>
67. Nyland J, Gamble C, Franklin T, Caborn DNM. Permanent knee sensorimotor system changes following ACL injury and surgery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. maggio 2017;25(5):1461–74.
68. Buckthorpe M. Optimising the Late-Stage Rehabilitation and Return-to-Sport Training and Testing Process After ACL Reconstruction. *Sports Med Auckl NZ*. luglio 2019;49(7):1043–58.
69. Buckthorpe M, Tamisari A, Villa FD. A TEN TASK-BASED PROGRESSION IN REHABILITATION AFTER ACL RECONSTRUCTION: FROM POST-SURGERY TO

RETURN TO PLAY – A CLINICAL COMMENTARY. *Int J Sports Phys Ther.* agosto 2020;15(4):611–23.

70. Clausen JD, Nahen N, Horstmann H, Lasch F, Krutsch W, Krettek C, et al. Improving Maximal Strength in the Initial Postoperative Phase After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Surgery: Randomized Controlled Trial of an App-Based Serious Gaming Approach. *JMIR Serious Games.* 24 gennaio 2020;8(1):e14282.
71. Thiebat G, Cucchi D, Spreafico A, Muzzi S, Viganò M, Visconti L, et al. Italian version of the anterior cruciate ligament-return to sport after injury scale (IT ACL-RSI): translation, cross-cultural adaptation, validation and ability to predict the return to sport at medium-term follow-up in a population of sport patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* gennaio 2022;30(1):270–9.
72. Ardern CL, Österberg A, Tagesson S, Gauffin H, Webster KE, Kvist J. The impact of psychological readiness to return to sport and recreational activities after anterior cruciate ligament reconstruction. *Br J Sports Med.* dicembre 2014;48(22):1613–9.
73. Ardern CL, Taylor NF, Feller JA, Whitehead TS, Webster KE. Psychological responses matter in returning to preinjury level of sport after anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Am J Sports Med.* luglio 2013;41(7):1549–58.
74. Sadeqi M, Klouche S, Bohu Y, Herman S, Lefevre N, Gerometta A. Progression of the Psychological ACL-RSI Score and Return to Sport After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Prospective 2-Year Follow-up Study From the French Prospective Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Cohort Study (FAST). *Orthop J Sports Med.* dicembre 2018;6(12):2325967118812819.
75. Webster KE, Feller JA, Lambros C. Development and preliminary validation of a scale to measure the psychological impact of returning to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Phys Ther Sport Off J Assoc Chart Physiother Sports Med.* febbraio 2008;9(1):9–15.
76. Forelli F, Barbar W, Kersante G, Vandebrouck A, Duffiet P, Ratte L, et al. Evaluation of Muscle Strength and Graft Laxity With Early Open Kinetic Chain Exercise After ACL Reconstruction: A Cohort Study. *Orthop J Sports Med [Internet].* 27 giugno 2023 [citato 20 agosto 2024]; Disponibile su: https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/23259671231177594?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori%3Arid%3Acrossref.org&rfr_dat=cr_pub++0pubmed
77. Fukuda TY, Fingerhut D, Moreira VC, Camarini PMF, Scodeller NF, Duarte A, et al. Open Kinetic Chain Exercises in a Restricted Range of Motion After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Randomized Controlled Clinical Trial. *Am J Sports Med.* aprile 2013;41(4):788–94.
78. Nadeem N, Asghar HMU, Fatima I, Fazal MI, Sarfraz AH, Maqbool S. Comparison of effects of open kinetic chain exercises with closed kinetic chain exercises on quadriceps strength and knee functional activity level after ACL reconstruction - a randomized controlled trial. *Pak J Med Health Sci.* 26 maggio 2022;16(05):14–14.
79. Forelli F, Mazeas J, Zeghoudi Y, Vandebrouck A, Duffiet P, Ratte L, et al. Intrinsic graft laxity variation with open kinetic chain exercise after anterior cruciate ligament reconstruction: A

non-randomized controlled study. *Phys Ther Sport Off J Assoc Chart Physiother Sports Med.* marzo 2024;66:61–6.

80. Chrzan D, Kusz D, Bołtuć W, Bryła A, Kusz B. Subjective assessment of rehabilitation protocol by patients after ACL reconstruction - preliminary report. *Ortop Traumatol Rehabil.* 28 giugno 2013;15(3):215–25.