

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

DOTTORATO DI RICERCA IN
SCIENZE CHIRURGICHE

Ciclo XXXVIII

Settore Concorsuale di afferenza: 06/F4

Settore Scientifico disciplinare: MED/33

TITOLO TESI

**La ricostruzione di legamento crociato
anteriore previene l'artrosi?**

Presentata da: Dr. Giulio Maria Marcheggiani Muccioli

Coordinatore Dottorato

Relatore

Prof. Mauro Gargiulo

Prof. Maurilio Marcacci

Esame finale anno 2016

*Ai miei Maestri,
il Prof. Maurilio Marcacci ed il Prof. Stefano Zaffagnini,
per avermi fatto capire...
e per avermi fatto amare la chirurgia.*

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE	1
2. IL GINOCCHIO ED I LEGAMENTI CROCIATI	2
2.1. Cenni di Anatomia del Ginocchio e dei Legamenti Crociati	2
2.2. Cinematica del Ginocchio e ruolo dei Legamenti Crociati	8
2.3. Biomeccanica del Legamento Crociato Anteriore	12
3. LESIONI DELL'APPARATO CAPSULO-LEGAMENTOSO DEL GINOCCHIO	17
3.1. Introduzione	17
3.2. La Classificazione delle Lesioni Legamentose	18
3.3. La Lesione di Legamento Crociato Anteriore (LCA) e l'alterazione della Biomeccanica del ginocchio in seguito a tale lesione	19
3.3.1. Insufficienza del LCA e sublussazione laterale	22
3.3.2. Lesioni Meniscali da insufficienza del LCA	22
3.4. La Classificazione delle Lassità del ginocchio	25
3.5. L'Esame Clinico del ginocchio	26
3.6. I Test manuali di Lassità del ginocchio	27
3.6.1. Lachman Test	28
3.6.2. Test del Cassetto Anteriore	29
3.6.3. Varo/Valgo Stress Test	30
3.6.4. Pivot-Shift Test	31
3.7. Valutazioni Quantitative	34
4. TECNICHE DI RICOSTRUZIONE DEL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE ..	38
4.1. Ricostruzione di LCA con tendine rotuleo	38
4.2. Ricostruzione di LCA con tendini semitendinoso e gracile a singolo fascio	42
4.3. Ricostruzione di LCA con tendini semitendinoso e gracile a doppio fascio	44
4.4. Ricostruzione di LCA con tendini semitendinoso e gracile mediante tecnica "over-the-top + plastica esterna"	50
5. STUDIO CLINICO A 20 ANNI DI FOLLOW-UP MINIMO DOPO RICOSTRUZIONE DEL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE	58
5.1. Introduzione	58
5.2. Materiali e Metodi	60
5.2.1. Criteri di inclusione ed esclusione	60
5.2.2. Caratteristiche demografiche	60
5.2.3. Tecnica chirurgica	61
5.2.4. Protocollo riabilitativo	62
5.2.5. Valutazione dei pazienti	63
5.2.6. Analisi statistica	64
5.3. Risultati	64
5.4. Discussione	70
6. CONCLUSIONI	73
7. BIBLIOGRAFIA	74

1. INTRODUZIONE

Il legamento crociato anteriore (LCA), insieme al legamento crociato posteriore (LCP), costituisce il cosiddetto pivot centrale o centro di rotazione del ginocchio. Il LCA assume un ruolo fondamentale nella stabilità di quest'articolazione, limitando lo spostamento anteriore della tibia e le rotazioni della stessa rispetto al femore.

Il rischio d'insorgenza di gonartrosi è incrementato in pazienti con rottura di LCA. In letteratura, non ci sono prove solide in merito al fatto che la ricostruzione di LCA possa prevenire l'artrosi del ginocchio. Inoltre, è stato dimostrato che diversi fattori influenzano l'insorgenza della patologia degenerativa articolare e il risultato clinico finale dopo ricostruzione di LCA.

Lo scopo di questa tesi è stato analizzare in modo prospettico i risultati clinici e radiografici della ricostruzione di LCA (con tecnica "over-the-top+ tenodesi laterale extra-articolare") dopo 20 anni di follow-up minimo, valutando la percentuale di insorgenza di artrosi e paragonando i risultati con quelli a 5 anni e a 10 anni di follow-up minimo.

L'ipotesi di partenza era che la meniscectomia fosse il principale fattore determinante l'insorgenza di artrosi a lunghissimo termine dopo ricostruzione di LCA. Per questa ragione sono stati comparati all'interno di questo gruppo i sottogruppi di pazienti sottoposti a ricostruzione di LCA e meniscectomia con quelli sottoposti alla sola ricostruzione di LCA.

Una parte successiva del nostro studio (in corso) valuterà lo sviluppo di artrosi dopo ricostruzione di LCA in modo randomizzato controllato e prospettico, confrontando tre diverse tecniche di ricostruzione di LCA.

2. IL GINOCCHIO ED I LEGAMENTI CROCIATI

2.1. Cenni di Anatomia del Ginocchio e dei Legamenti Crociati

Il ginocchio, articolazione dell'arto inferiore che connette la coscia alla gamba, fa parte del gruppo delle diartrosi (anche chiamate giunture sinoviali). E' una giuntura costituita dall'unione di tre diverse articolazioni (articolazione femoro-tibiale mediale, articolazione femoro-tibiale laterale, articolazione femoro-rotulea); mette in comunicazione le superfici articolari di femore distale, tibia prossimale e rotula e presenta numerose strutture capsulo-legamentose, due menischi, una cavità articolare e alcune borse sinoviali.

Il **tendine rotuleo** è il tratto sotto patellare del tendine del muscolo quadricipite femorale, nel cui spessore è inclusa la patella, che va ad inserirsi sulla tuberosità tibiale.

La capsula articolare presenta numerosi ispessimenti periferici col significato di **strutture legamentose di rinforzo**:

- Il *legamento collaterale mediale* (LCM) è un'espansione laminare fibrosa, la cui parte più profonda è tenacemente adesa alla capsula articolare. Prende origine dall'epicondilo femorale mediale per dirigersi verticalmente in basso sino ad inserirsi sull'estremità superiore della superficie tibiale mediale. Il LCM possiede un contingente di fibre che si dirigono medio-lateralmente verso il basso, costituendo il legamento obliquo posteriore (LOP), struttura che rinforza la capsula articolare in posizione postero-mediale, ritenuta da Hughston indipendente rispetto al LCM.
- Il *legamento collaterale laterale* (LCL) è un cordone di tessuto connettivale fibroso che prende origine dall'epicondilo laterale del femore e si inserisce sulla testa della fibula; contrariamente al LCM, risulta indipendente rispetto alla capsula articolare. Insieme al legamento popliteo arcuato e al tendine popliteo, forma il cosiddetto complesso arcuato.
- I *retinacoli della rotula*, o legamenti alari, suddivisi in laterale e mediale, sono due bande fibrose che prendono origine rispettivamente dal margine patellare laterale e mediale, dirigendosi trasversalmente all'indietro fino ad inserirsi presso il corrispondente epicondilo femorale.
- Il *legamento popliteo obliquo* (LPO) è un'espansione della regione terminale del tendine distale del muscolo semimembranoso.

- Il *legamento popliteo arcuato* (LPA) è costituito da due fasci che originano dal guscio fibroso che ricopre posteriormente il condilo femorale laterale.
- Il *tendine del muscolo semimembranoso* rinforza la capsula articolare nella regione localizzata posteriormente al condilo femorale mediale.
- Il *tratto ileo-tibiale* rappresenta il tendine distale del muscolo tensore della fascia lata e rinforza la capsula articolare nella regione laterale, per prendere inserzione sul tubercolo del Gerdy e sulla linea obliqua della tibia.
- Il *tendine del muscolo popliteo* rinforza la capsula articolare nella sua porzione postero-mediale, a livello dell'interlinea articolare.

La **capsula articolare** è internamente tappezzata dalla membrana sinoviale, che posteriormente forma una doccia a concavità posteriore nella quale sono accolti i **legamenti crociati anteriore (LCA) e posteriore (LCP)**, che pertanto sono intra-articolari ma extra-sinoviali. I **legamenti crociati** sono due robusti cordoni di tessuto connettivale fibroso, tesi tra il piatto tibiale ed il femore, accolti all'interno della fossa intercondiloidea del femore stesso (Fig. 2.1 e Fig. 2.2)⁶⁰.

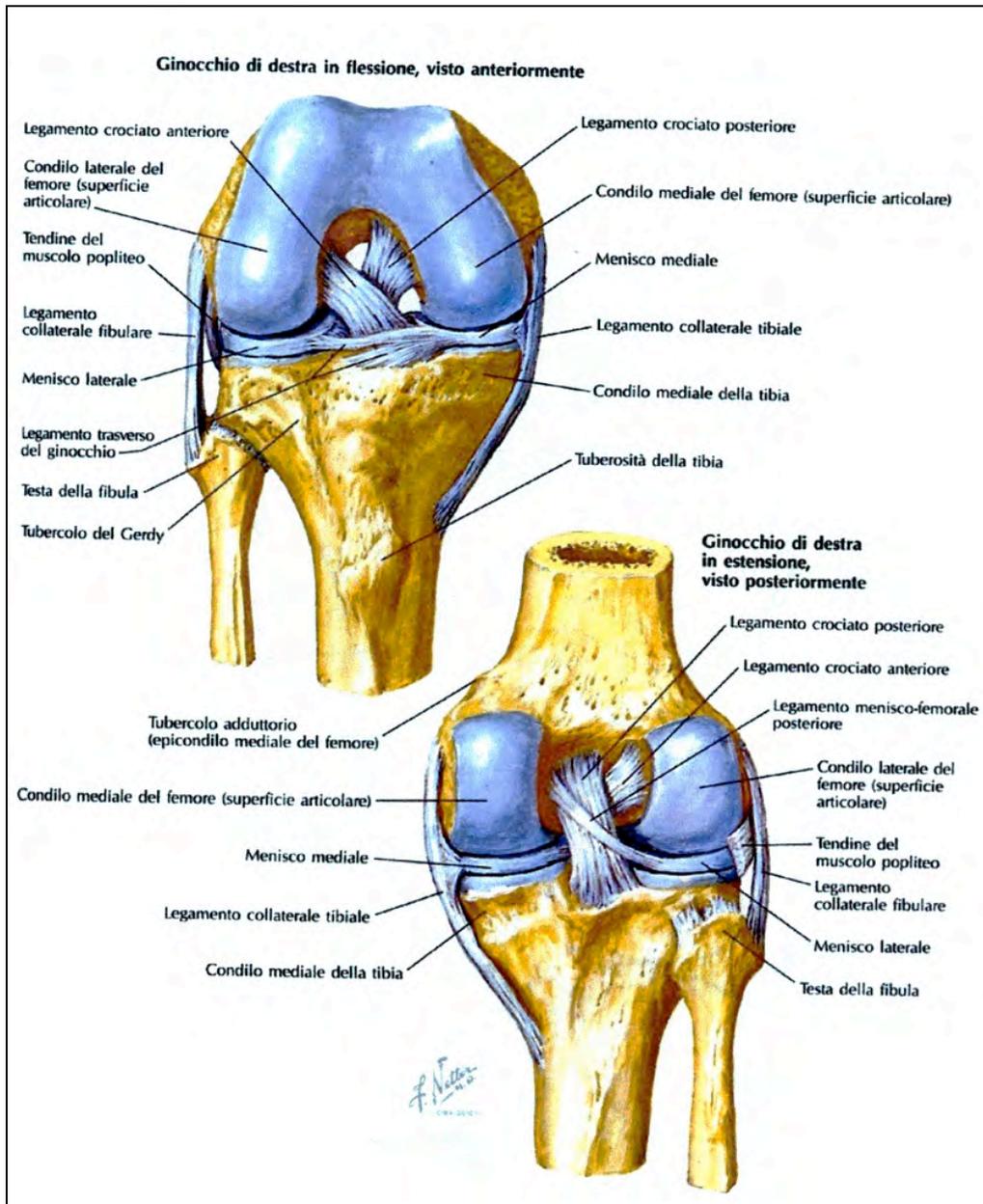
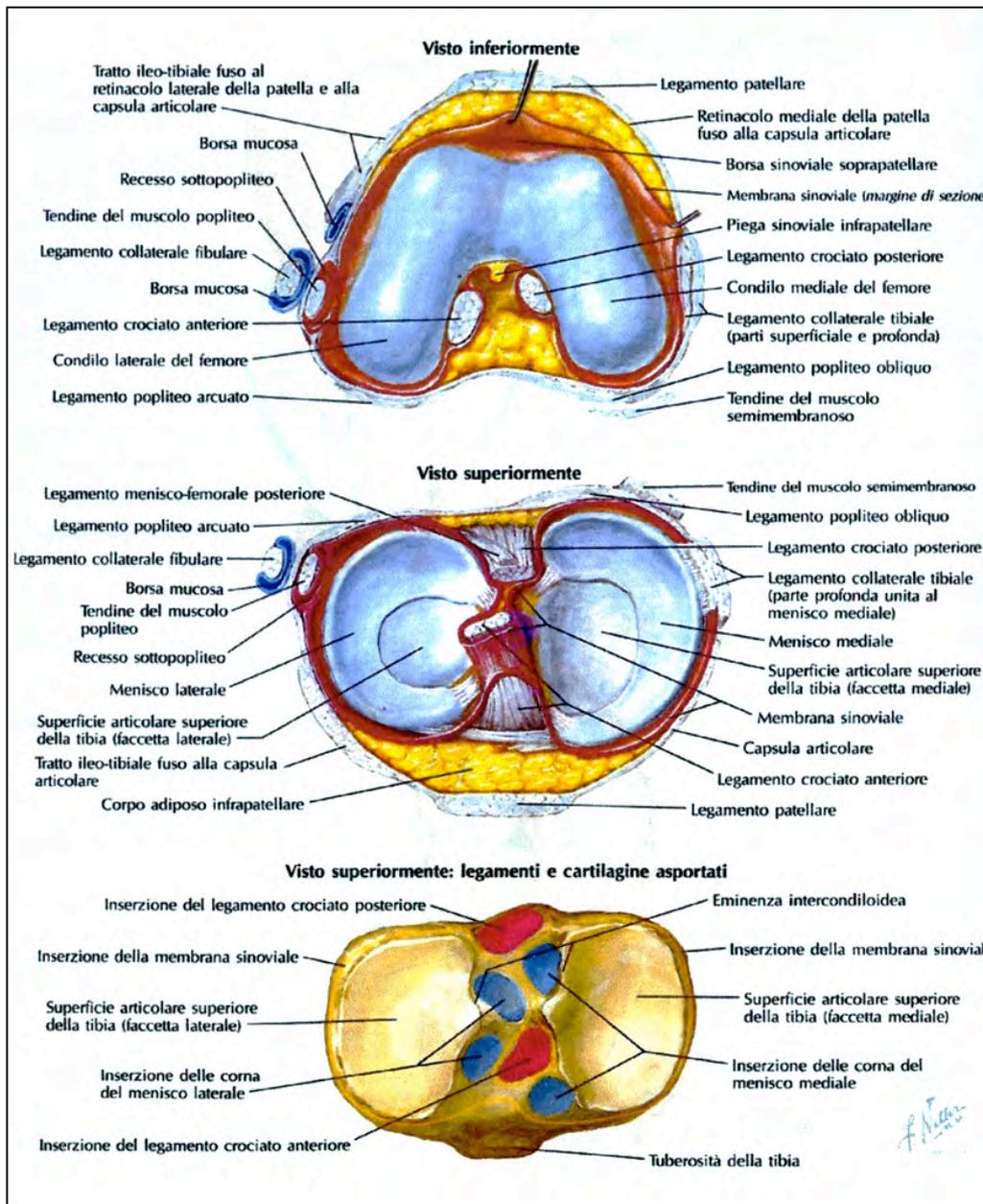


Fig. 2.1 – Anatomia del ginocchio: legamenti crociati e legamenti collaterali

Fig. 2.2 - Anatomia del ginocchio: legamenti crociati, legamenti collaterali e menischi.



Il *legamento crociato anteriore* (LCA) non è una struttura tubuliforme singola, ma il risultato dell'unione di singoli **fasci di fibre** legamentose che partono dal femore (Fig. 2.3) e s'inseriscono distalmente sulla tibia in corrispondenza di un'ampia superficie (Fig. 2.4)⁸.

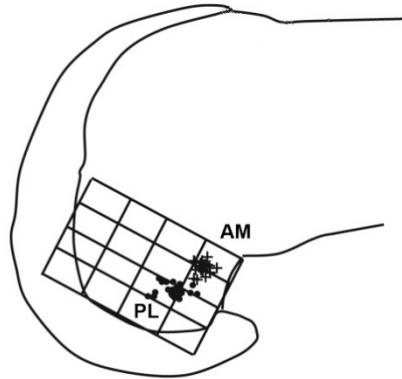
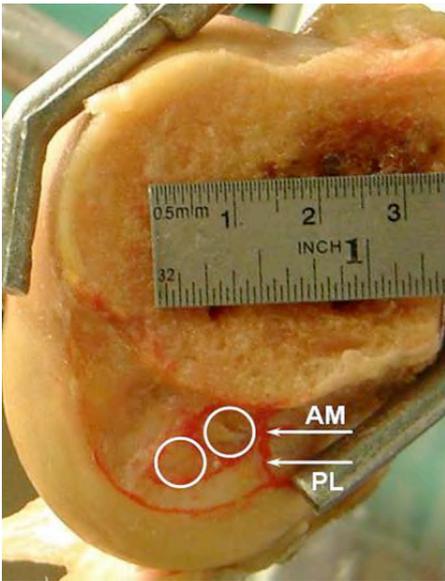


Fig. 2.3 - Area di inserzione femorale dei fasci antero-mediale (AM) e postero-laterale (PL) del legamento crociato anteriore.

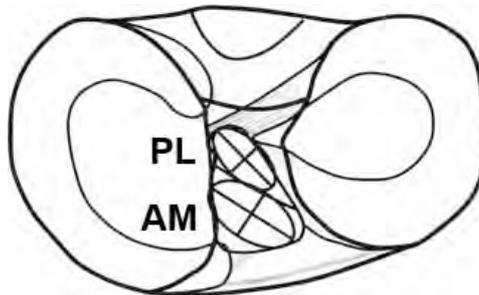
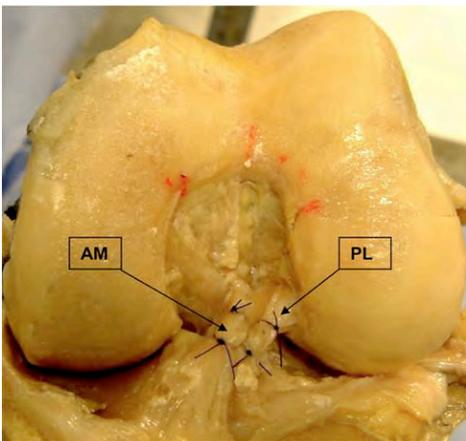


Fig. 2.4 - Area di inserzione tibiale dei fasci antero-mediale (AM) e postero-laterale (PL) del legamento crociato anteriore.

Tali fibre si presentano organizzate in **due fasci principali**:

- *Fascio antero-mediale (AM)*: le sue fibre originano dalla regione più anteriore ed inferiore dell'inserzione femorale e s'inseriscono distalmente presso la regione più anteriore e mediale dell'inserzione tibiale, in vicinanza della base della spina tibiale anteriore. Il fascio antero-mediale è quello dotato di maggiore lunghezza, si trova in posizione più superficiale ed essendo le sue fibre sollecitate principalmente in flessione, è *il fascio più esposto al rischio di traumi e lacerazioni*⁸.
- *Fascio postero-laterale (PL)*: le sue fibre sono dotate di maggiore spessore ed originano prossimamente presso la regione superiore e posteriore del sito d'inserzione femorale, per inserirsi presso la regione postero-laterale dell'area d'inserzione tibiale. *Il fascio PL è quello dotato di maggiore spessore e robustezza, mascherata anteriormente dal fascio AM, spesso in grado di resistere nelle lesioni parziali del LCA*. Le sue fibre sono messe in tensione con il ginocchio atteggiato in estensione, mentre tendono a rilasciarsi progressivamente in flessione⁸.

Globalmente, quindi, la morfologia del LCA è di un cordone ritorto sul proprio asse maggiore (Fig. 2.5), poiché il fascio AM ha un'inserzione anteriore e più bassa sul femore ed un'inserzione anteriore sulla tibia, mentre il fascio PL ha un'inserzione posteriore e più alta sul femore ed un'inserzione posteriore sulla tibia.

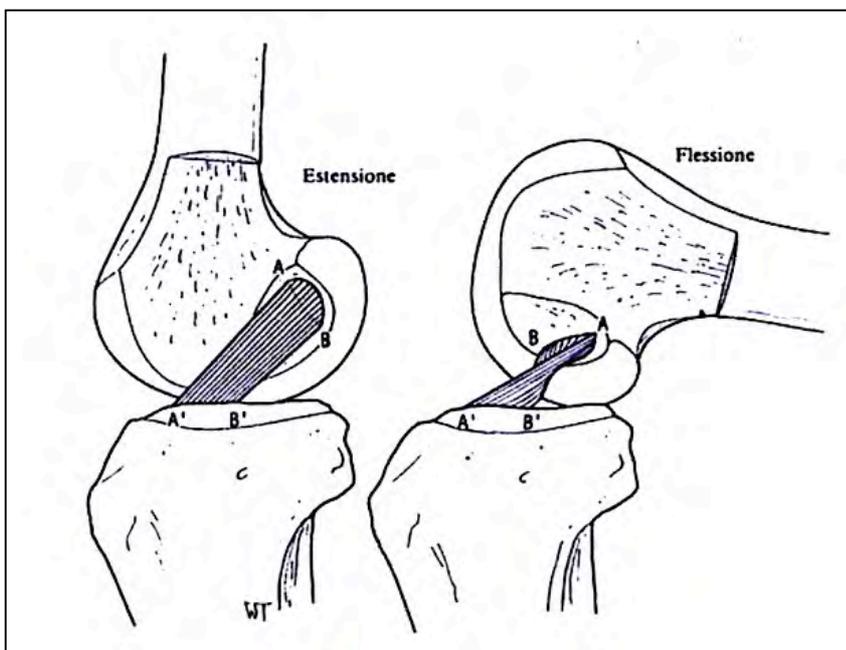


Fig. 2.5 - Comportamento dei due fasci del legamento crociato anteriore durante la flessione del ginocchio (AA' = fascio AM, BB' = fascio PL), vedi testo per dettagli.

Il *legamento crociato posteriore* (LCP) origina dalla fossetta intercondiloidea posteriore della tibia e si dirige superiormente, anteriormente e medialmente, prendendo inserzione sulla superficie laterale del condilo femorale mediale. Analogamente al LCA, il LCP può essere suddiviso in due fasci di fibre, il postero-mediale (PM) e l'antero-laterale (AL), che sono tuttavia più difficilmente separabili l'uno dall'altro⁶⁰.

I due legamenti crociati non s'incrociano soltanto l'uno rispetto all'altro. Essi decorrono in modo tale che i loro prolungamenti immaginari incrociano il legamento collaterale omolaterale. Infatti, il prolungamento del LCA incrocia il LCL e quello del LCP incrocia il LCM.

2.2. Cinematica del Ginocchio e ruolo dei Legamenti Crociati

Il meccanismo alla base del movimento articolare femoro-tibiale è una complessa combinazione sinergica di rotolamento e scivolamento. La rotazione automatica della tibia e la rotazione volontaria attiva della gamba si sovrappongono contemporaneamente ai normali movimenti di flessione-estensione sul piano sagittale. Per tale ragione, l'analisi cinematica dell'articolazione del ginocchio deve essere ricondotta al solo piano sagittale, secondo un modello che consenta una corretta interpretazione della meccanica femoro-tibiale.

Il principio cinematico basilare dell'articolazione del ginocchio può essere rappresentato attraverso il modello del cosiddetto giunto incrociato a quattro barre. Tale modello può essere materialmente costruito con un semplice foglio di carta da disegno, sul quale due aste incrociate, di lunghezza diversa sulla base del rapporto esistente tra la lunghezza del LCA e la lunghezza del LCP, vengano incernierate nella parte inferiore e nella parte superiore ciascuna in corrispondenza delle sue due estremità. Il modello deve essere costruito in modo tale che la retta passante per le due estremità, ciascuna di un'asta diversa, poste superiormente, formi presso il versante anteriore un angolo di 40° con l'asse longitudinale di una delle due aste, passante perciò per una delle due estremità. Le due estremità libere inferiori delle aste verranno tra loro collegate da una barra semovibile, che rappresenta il sistema di accoppiamento meccanico delle due aste e, da un punto di vista anatomico, il piatto tibiale. Sul foglio di carta da disegno verrà, quindi, tracciata una retta tangente alla barra di accoppiamento. Spostando progressivamente la barra stessa, si otterrà un sistema di rette ad essa tangenti che si intersecheranno secondo una linea curva denominata curva di involuppo della coppia, la cui morfologia si rivelerà estremamente simile al profilo di una sezione sagittale passante

attraverso il condilo femorale. Per approssimare in maniera ottimale il modello alla reale struttura anatomica del ginocchio, è preferibile adottare una barra di accoppiamento curva, con la concavità rivolta superiormente, in modo da riprodurre più fedelmente la reale morfologia del profilo del piatto tibiale. In tal modo, la sovrapposibilità tra la curva di involuppo della coppia e il profilo laterale del condilo femorale risulterà ottimale.

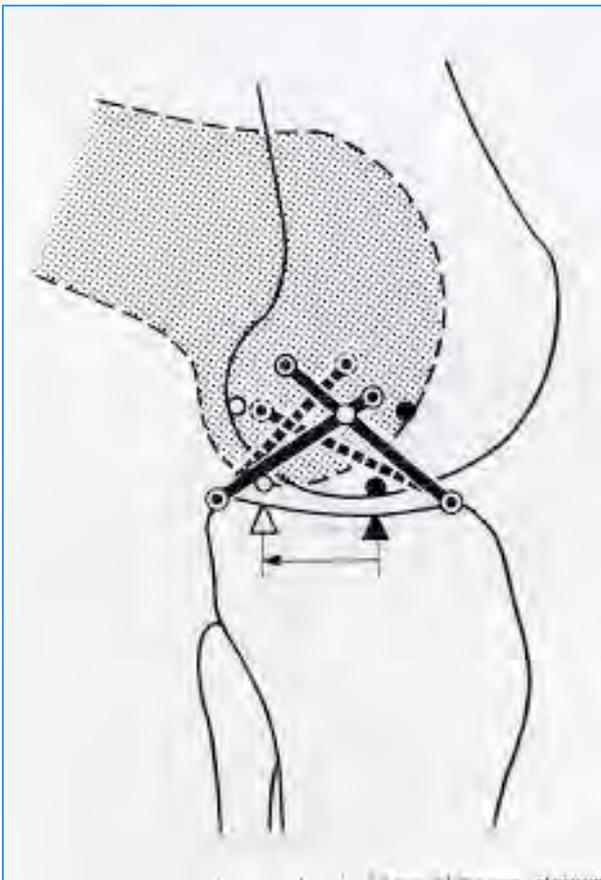


Fig. 2.6 - Comportamento dei due fasci del legamento crociato anteriore durante la flessione del ginocchio (AA' = fascio AM, BB' = fascio PL), vedi testo per dettagli.

Il modello meccanico descritto consente la dimostrazione e l'analisi dei rapporti obbligati e dello spostamento solidale tra i punti di contatto articolare interosseo tra femore e tibia nel corso della flessione-estensione del ginocchio. Infatti, muovendo la barra di accoppiamento, la sequenza secondo la quale si succedono i punti di contatto permane invariata. Al contrario, simulando la reale meccanica articolare e mantenendo la barra di accoppiamento quale elemento fisso, il movimento di traslazione posteriore del punto di contatto articolare sulla barra stessa si evidenzia in modo molto più chiaro.

Tale meccanismo è fondamentale nell'economia funzionale dell'articolazione del ginocchio. Se fosse presente esclusivamente un semplice movimento di rotolamento, durante la flessione il femore

cadrebbe posteriormente oltre il margine dorsale del piatto tibiale.

Se, invece, fosse presente soltanto un movimento di semplice scivolamento, in corrispondenza di una flessione di 130° la metaepifisi distale del femore prenderebbe contatto col margine posteriore del piatto tibiale, rendendo impossibile la flessione del ginocchio oltre tale valore.

Il rapporto tra rotolamento e scivolamento non rimane invariato durante l'intero "range" articolare della flessione-estensione. In particolare, nelle fasi iniziali di un movimento di flessione a partire dalla completa estensione risulta largamente preponderante il rotolamento, mentre per flessioni ulteriori il rapporto tra rotolamento e scivolamento diviene di circa 1:2 e quindi di 1:4 ai gradi estremi della flessione. In definitiva, nella fase iniziale della flessione a partire dalla completa estensione predomina il rotolamento, mentre nella fase intermedia e finale predomina lo scivolamento.

Nella descrizione analitica della cinematica del ginocchio⁴¹ la motilità articolare del medesimo risulta dipendente dalla conformazione delle superfici ossee articolari, dalle inserzioni legamentose e dalle reciproche correlazioni tra tali fattori.

Il ruolo funzionale dei legamenti crociati nell'ambito dell'articolazione del ginocchio è di fondamentale importanza, in quanto essi agiscono accoppiando le superfici articolari e convertendo un semplice movimento di rotazione assiale nel ben più complesso movimento reciproco di rotolamento e scivolamento.

Da un punto di vista meccanico, adempiono alla funzione di un vero e proprio ingranaggio, elevandosi al ruolo di nucleo funzionale della cinematica del ginocchio⁴¹. Nel complesso, LCA ed LCP garantiscono la stabilità antero-posteriore del ginocchio, definendone il centro di rotazione attraverso un complesso di movimenti a cerniera che assicurano un ininterrotto contatto reciproco tra le superfici articolari affrontate. Facendo riferimento per semplicità al solo modello cinematico su di un piano sagittale, i due legamenti crociati, assimilati a raggi con una lunghezza costante, descrivono durante la flessione-estensione del ginocchio dei piccoli archi di circonferenza. Nello specifico, assumendo che la superficie articolare tibiale rimanga fissa mentre il femore sia libero di muoversi, le loro inserzioni femorali descrivono un arco di circonferenza. Al contrario, assumendo che il femore sia fisso, mentre la tibia sia in grado di muoversi, sono le inserzioni sul piatto tibiale a muoversi descrivendo un arco di circonferenza.

In riferimento a tale fenomeno, durante ciascun movimento di flessione si realizza un'automatica traslazione in direzione antero-posteriore del punto di contatto interosseo femoro-tibiale. Il fisiologico e corretto funzionamento dei legamenti crociati secondo il modello del giunto incrociato a quattro barre non è invalidato da eventuali lesioni a carico dei legamenti collaterali.

Il legamento crociato anteriore, come in precedenza anticipato, è composto da un fascio

anteromediale e da un fascio posterolaterale di maggiore spessore. Questo legamento limita la sublussazione anteriore della tibia rispetto al femore e l'iperestensione del ginocchio.

Quando il ginocchio è in completa estensione, il LCA appare come una lamina appiattita, con il fascio posterolaterale in tensione. Dopo una flessione di pochi gradi, il più sottile fascio anteromediale si tende, mentre il fascio posterolaterale si rilascia. Mentre in estensione la sublussazione anteriore della tibia rispetto al femore è impedita dal fascio posterolaterale, in flessione tale funzione è svolta dal fascio anteromediale.

La ricostruzione chirurgica del LCA, infatti, prevede dei gesti e delle tecniche che consentano di riprodurre principalmente il decorso del suo fascio anteromediale, poiché esso rappresenta in definitiva la struttura maggiormente responsabile della stabilità tibio-femorale sul piano sagittale a ginocchio esteso.

Il legamento crociato posteriore è formato da due subunità non separabili. La porzione anteriore costituisce la maggior parte della struttura legamentosa, mentre la parte posteriore ha minori dimensioni e si dirige obliquamente in direzione della tibia. A ginocchio completamente esteso, la maggior parte delle fibre del LCP è detesa, in quanto solo il fascio posteriore è sottoposto a tensione. In flessione si verifica il contrario, con il fascio posteriore che viene messo in tensione ed il fascio anteriore che si rilascia.

Il legamento crociato posteriore agisce limitando la dislocazione posteriore della tibia rispetto al femore, mentre, a condizione che il LCA sia integro, non ha nessun ruolo nella limitazione della iperestensione del ginocchio.

La tensione del LCA durante l'estensione si traduce in una forza di trazione applicata presso la sua inserzione femorale e si trasmette automaticamente a tutto il condilo femorale laterale che viene traslato anteriormente. L'iperestensione è, pertanto, resa possibile soltanto attraverso una contemporanea intrarotazione femorale, simultaneamente ad una extrarotazione paradossale della tibia. Il fenomeno, denominato rotazione finale forzata in iperestensione, è una conseguenza della messa in tensione del fascio anterolaterale del LCA. Il centro di rotazione è un asse verticale passante per il centro del condilo femorale mediale e la sua posizione dipende dalla robusta inserzione delle fibre parallele superficiali del legamento collaterale mediale presso lo stesso condilo femorale mediale. Se si verificasse una lesione del LCM, l'asse della rotazione finale forzata in iperestensione si sposterebbe lateralmente.

Secondo Palmer, poiché l'asse di rotazione è spostato medialmente, la rotazione esterna della tibia a ginocchio flesso provoca un rilasciamento del LCA, a causa della traslazione anteriore del condilo femorale laterale, causando nel contempo uno stiramento del LCP. L'intrarotazione a ginocchio flesso dà luogo a conseguenze opposte, mettendo in tensione il LCA e causando il rilasciamento del

LCP. Ad un'attenta analisi anatomica, è possibile dimostrare l'esistenza di una banda fibrosa che connette il LCP ed il margine posteriore del menisco laterale, denominata legamento tibio-menisciale da Kaplan e riportata in letteratura anche con il nome di legamento menisco-femorale posteriore. Probabilmente, tale struttura riveste un qualche ruolo nella limitazione del movimento di scivolamento anteriore del menisco laterale durante la intrarotazione della gamba.

In conclusione, gli estremi del "range" articolare del ginocchio sono determinati anche dalla disposizione spaziale dei legamenti crociati.

Per rendere possibile la normale escursione articolare di $-5^\circ/0^\circ/+145^\circ$ (estensione / 0° / flessione) i punti di inserzione a livello femorale dei legamenti crociati devono appartenere ad una retta che intersecando l'asse longitudinale della diafisi femorale sul piano sagittale formi un angolo di 40° .

Quando ciò si verifica, il tetto della gola intercondiloidea forma un angolo di circa 40° con l'asse longitudinale della diafisi femorale. Tale disposizione è indice dell'essenziale ruolo dei legamenti crociati nel limitare l'estensione e nell'impedire l'iperestensione della gamba sulla coscia.

Il LCA, più debole e vulnerabile, viene a trovarsi in una posizione critica con possibilità di una lesione acuta importante.

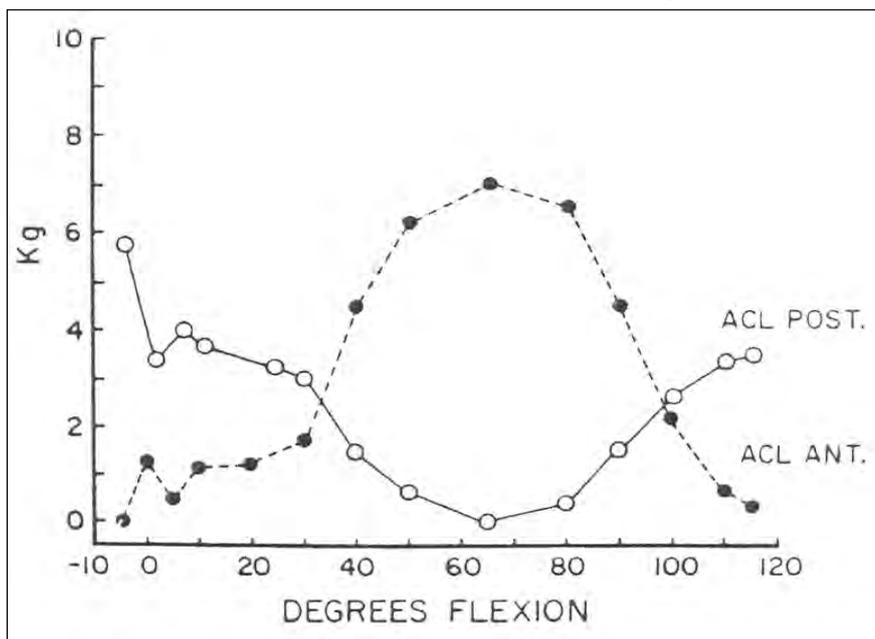
2.3. Biomeccanica del Legamento Crociato Anteriore

Le due porzioni del LCA sono sempre speculari nelle prove della loro tensione: una banda è rilasciata quando l'altra è tesa²⁷.

Analizzando il movimento di flessione del ginocchio a partire dalla posizione di estensione completa sul piano sagittale, si osserva come il fascio antero-mediale (AM) incrementa progressivamente la propria tensione, mentre la fascio postero-laterale (PL) si comporta al contrario, rilasciandosi progressivamente. La posizione di flessione modesta di $30^\circ-35^\circ$ è definita posizione di allineamento, poiché in corrispondenza di essa LCA e LCP sono tesi nella medesima maniera. L'ulteriore flessione fa basculare la base femorale ed il LCA si dispone orizzontalmente, mentre il LCP si raddrizza disponendosi più verticalmente. Incrementando progressivamente l'ampiezza della flessione da 90° fino a 120° , il LCP si dispone secondo l'asse verticale e viene messo in tensione proporzionalmente più del LCA. Per quanto riguarda il quest'ultimo, in corrispondenza dei massimi gradi di flessione il fascio AM del LCA risulta deteso, mentre è in tensione esclusivamente il fascio PL (Fig. 2.6).

Il fascio PL è massimamente teso in iperestensione e la sua sollecitazione si riduce rapidamente non appena il ginocchio inizia a flettersi. Tale comportamento, unitamente al suo maggiore spessore nei

confronti il fascio AM, giustifica la rapida riduzione dello stress globalmente attivo sul LCA che si verifica nella flessione fino a 30°-35° a partire dalla posizione di completa estensione. Un'ulteriore flessione fino a 120° accresce la tensione del LCA, ma l'aumento dello stress è proporzionalmente



maggiore per il LCP. Ad ogni modo, l'incremento massimo di tensione del LCA è di 1,25% e si verifica a 120° di flessione (Fig. 2.7).

Fig. 2.6

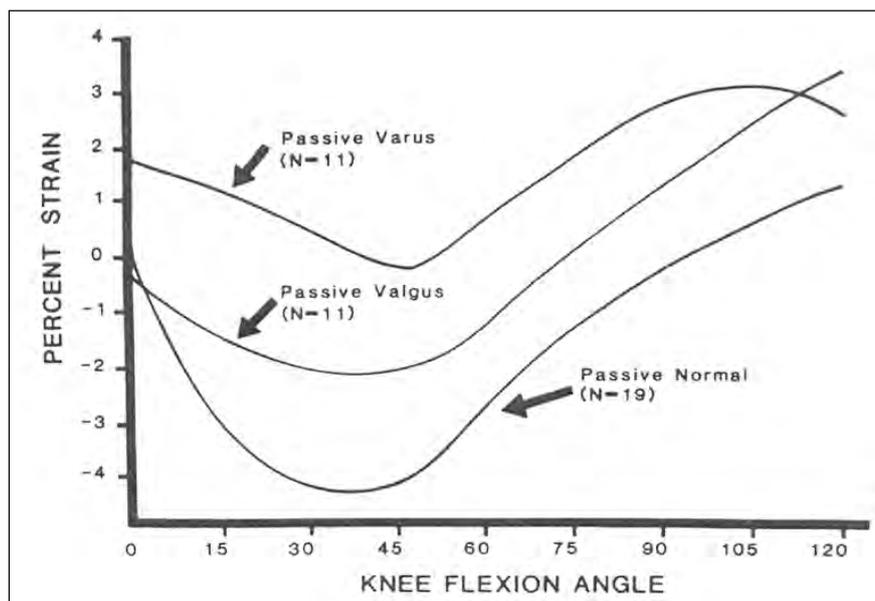


Fig. 2.7

Analizzando il movimento di estensione a partire da una posizione di massima flessione, si riscontrano dei fenomeni specularmente inversi rispetto a quelli appena descritti. Nello specifico,

estendendo progressivamente il ginocchio il LCA tende a disporsi in una posizione progressivamente più verticale, mentre al contrario il LCP da una posizione verticale tende a disporsi progressivamente in modo più orizzontale; parallelamente il fascio AM va incontro ad un proporzionale progressivo incremento della propria tensione, mentre nel fascio PL accade il contrario. Nel corso della riestensione, da 60° in poi tutte le fibre del fascio PL vengono gradualmente e successivamente messe in tensione, oltre a qualche sporadica fibra del fascio AM, che risulta, però, fondamentalmente in via di rilasciamento.

In caso d'iperestensione, il margine anteriore del tetto della incisura intercondiloidea del femore si addossa in direzione antero-posteriore sulla superficie anteriore del fascio AM, incrementandone la sollecitazione in tensione agendo come un cuneo. Il LCA in tale posizione risulta completamente teso in tutte le sue componenti e rappresenta la più importante struttura capace di impedire o limitare la iperestensione del ginocchio.

Dal punto di vista biomeccanico¹⁴, nel movimento di flessione da 0° a 45°-50°, il LCA dalla sua posizione di partenza si sposta inizialmente coricandosi sulla linea orizzontale parallela al piano del piatto tibiale. Questo movimento lo fa discendere all'interno dell'incisura interspinosa, in modo simile ad una lama che affonda nello spessore del massiccio delle spine tibiali. Incrementando l'ampiezza della flessione, il LCA risale fino alla sua posizione più elevata, raggiunta in corrispondenza dei gradi estremi di flessione.

Nella fisiologia della stabilità articolare, il LCA rappresenta il principale limite alla traslazione anteriore della tibia rispetto al femore, essendo responsabile per oltre l'85% della stabilità primaria del ginocchio in direzione anteriore sul piano sagittale, ricordando che la stabilizzazione primaria in direzione posteriore è garantita dal LCP. Il LCA gioca un ruolo di prim'ordine nel prevenire l'iperestensione del ginocchio ed un ruolo secondario nel limitare le deformazioni in varismo ed in valgismo dell'articolazione e nel limitare la mobilità rotazionale del ginocchio. Più specificamente, il LCA coadiuva il LCM nel controllo della stabilità in valgo e dell'intrarotazione.

I legamenti crociati sono i principali responsabili della stabilità articolare, stabilità che risulta essere sostanzialmente di tipo funzionale, data la evidente mancanza di congruenza delle superfici articolari nel ginocchio. La cinematica dei legamenti crociati orienta e definisce le linee di forza dell'azione di tutte le altre strutture, sia passive, sia dinamiche, che concorrono alla stabilizzazione articolare, compresi i menischi intercalari, che pertanto risultano essere semplici dispositivi per incrementare la congruenza dei capi ossei femorale e tibiale. Durante la flessione del ginocchio, i menischi stessi evitano di impegnarsi al di sotto dei condili femorali grazie alla presenza del LCA integro, che direziona il moto di rotolamento e scivolamento dei condili femorali sul piatto tibiale e trasla posteriormente il punto di contatto articolare interosseo, impedendo il verificarsi di lesioni

meniscali.

La conoscenza delle proprietà meccaniche dei legamenti crociati è premessa indispensabile al fine di una corretta valutazione del comportamento dei legamenti traumatizzati o lesionati ed, inoltre, consente un confronto comparativo tra il comportamento meccanico dei legamenti riparati chirurgicamente e quello fisiologico delle strutture intatte. L'analisi delle proprietà meccaniche dei legamenti crociati è alla base dell'elaborazione dei differenti modelli delle protesi legamentose, del software per i sistemi di navigazione e delle tecniche chirurgiche, permettendone un confronto obiettivo ed uno studio in termini fisici e quantitativi.

Il comportamento meccanico dei legamenti crociati è determinato dalle caratteristiche strettamente fisiche della loro struttura.

Come ogni struttura solida, un legamento risponde ad una forza di tensione applicata sulla propria massa per mezzo di una deformazione. La relazione matematica che lega i due parametri è di tipo non lineare ed in un sistema di riferimento di assi cartesiani corrisponde ad una funzione, definita curva di stress-strain.

I tessuti dell'organismo umano da un punto di vista meccanico si comportano come elementi viscoelastici e la relazione tra tensione applicata e deformazione prodotta è di tipo bifasico.

Inizialmente, in risposta ad una forza di tensione di intensità inferiore ad un valore limite, i legamenti rispondono con una deformazione di tipo elastico, reversibile al cessare dell'applicazione della forza deformante. Tale comportamento fa sì che al cessare della tensione i legamenti ritornino alle proprie dimensioni iniziali. L'elasticità di una struttura è un parametro fisico che quantifica la capacità di un solido di rispondere con una deformazione di tipo elastico ad una forza applicata sulla sua massa ed è quantitativamente espressa per mezzo di un coefficiente o modulo di elasticità.

Se l'intensità della forza di tensione è sovrailiminare, i legamenti rispondono con una deformazione di tipo plastico ed irreversibile. Se la deformazione plastica coinvolge una parte importante del totale delle fibre del legamento, lo stato meccanico iniziale e le proprietà elastiche originali non potranno più essere recuperate: il legamento non ritornerà più alle sue dimensioni iniziali, con una completa alterazione della cinematica articolare del ginocchio.

Per valori dell'intensità della forza di deformazione molto superiori al valore soglia, si supera la fase di deformazione plastica e sopraggiunge la rottura della struttura.

3. LESIONI DELL'APPARATO CAPSULO-LEGAMENTOSO DEL GINOCCHIO

3.1. Introduzione

Le superfici articolari del ginocchio non sono congruenti: infatti il femore incontra medialmente la tibia così come una ruota incompleta su una superficie piana e lateralmente come una ruota su una superficie convessa. A compensare gli effetti di tale incongruenza superficiale, le strutture legamentose agiscono sinergicamente con i menischi articolari ed i restanti tessuti molli conferendo al ginocchio la necessaria stabilità senza invalidarne l'elevata dinamicità.

Il ginocchio, per come è strutturalmente composto, ha una forte capacità di assorbimento delle varie sollecitazioni meccaniche esterne. Garantisce stabilità all'arto inferiore ma al tempo stesso permette rapidi cambiamenti di posizione tra tibia e femore.

Lesioni dell'apparato capsulo-legamento compromettono il fisiologico funzionamento dell'articolazione stessa. Tali lesioni si verificano a seguito a traumi distorsivi del ginocchio. I meccanismi distorsivi principali sono due: trauma diretto e trauma indiretto.

Le lesioni da trauma diretto rappresentano il meccanismo traumatico meno frequente, circa il 30%, ed avvengono per lo più negli sport di contatto perché sono determinate da contusioni direttamente portate sull'articolazione del ginocchio. L'effetto lesivo del trauma si verifica nello stesso punto di applicazione della forza meccanica.

Le lesioni da trauma indiretto costituiscono il meccanismo traumatico più frequente, circa il 70%. Il loro effetto lesivo sull'articolazione del ginocchio si verifica lontano dal punto di applicazione della forza meccanica.

L'azione traumatica può scaricarsi ed esaurirsi su una struttura danneggiando solo una componente anatomica del ginocchio, come il LCA, ma non è infrequente che l'intensità del trauma sia tale da coinvolgere più strutture anatomiche, realizzando una serie di possibili lesioni associate ed incrementando la gravità della lesione.

Tra le lesioni associate a quelle legamentose le più frequenti sono:

Lesioni meniscali: si riscontrano spesso, in particolare quelle a carico del menisco mediale in virtù della maggiore frequenza del meccanismo traumatico indiretto in valgismo-extrarotazione. Non sono comunque escluse le lesioni ad entrambi i menischi. Il trattamento delle lesioni meniscali associate è eseguito per via artroscopica nello stesso tempo chirurgico dell'intervento di ricostruzione del LCA. Se la lesione meniscale è di dimensioni ridotte è possibile procedere alla riparazione del menisco leso mediante sutura o all'esportazione del frammento staccato con la regolarizzazione del profilo meniscale. Se la lesione è di dimensioni cospicue si procede con

l'asportazione dell'intera struttura. Possono anche presentarsi in maniera isolata dalle lesioni del LCA, solitamente in caso di traumi distorsivi di bassa entità

Lesioni cartilaginee: sono abbastanza frequenti e a seconda della gravità vengono trattate in modo conservativo o in modo chirurgico (curettage, abrasioni, perforazioni, microfratture, trapianto a mosaico, autotrapianto di condrociti).

Lesioni dei legamenti collaterali: sono spesso associate ad un trauma molto violento in valgismo-extrarotazione che provoca la rottura del legamento collaterale mediale. Possono anche presentarsi in maniera isolata dalle lesioni del LCA, solitamente in caso di traumi distorsivi benigni di bassa entità. In genere vengono trattate in modo conservativo poiché il legamento lesionato ha un'elevata capacità di riparazione spontanea attraverso il processo di fibrosi cicatriziale.

Lesioni del legamento crociato posteriore: sono molto rare e ancor più rara è l'associazione con una lesione del LCA. Nella maggioranza dei casi vengono trattate in maniera conservativa.

La stabilità legamentosa non è un caratteristica del ginocchio fine a se stessa ma rappresenta il prerequisito essenziale per garantire corretti rapporti articolari, muscolari e una buona funzionalità di tutte le componenti dell'articolazione. Pertanto le lesioni dei legamenti nel ginocchio, più che ogni altra articolazione, sono un problema per ciò che riguarda la definizione di una adeguata cinematica articolare.

Un ginocchio con una instabilità legamentosa è caratterizzato da una eccessiva (o anormale) lassità intesa come libertà di movimento dell'articolazione. Spesso nell'esame clinico si tende a conferire alle lassità anormali un valore di lieve, moderato e grave per mezzo di un punteggio: +1, +2, +3.

3.2. La Classificazione delle Lesioni Legamentose

Le alterazioni legamentose possono essere suddivise in tre tipologie in base al grado crescente di gravità:

Stiramento o distrazione legamentosa: è caratterizzato dall'assenza di lesioni strutturali in quanto le fibre vengono solamente stirate. Il quadro è dominato da dolore locale e da nessuna instabilità.

Lesione parziale: si verifica in presenza di lesioni a carico di un determinato numero di fibre. La sintomatologia clinica soggettiva è variabile in relazione al tono muscolare del paziente, mentre è clinicamente valutabile una lassità legamentosa di modesta entità. L'instabilità determinata dalla lesione ha un'escursione compresa tra i 3 mm e i 5 mm. Una lassità legamentosa che consenta un'escursione anomala inferiore ai 3 mm è da considerarsi priva di significato clinico.

Lesione totale: si manifesta in una lesione funzionalmente completa del LCA. E' caratterizzata da una instabilità articolare obiettivamente, con significativa perdita di funzionalità. Il paziente riferisce una sintomatologia soggettiva dominata da una sensazione di insicurezza e cedevolezza del ginocchio, in particolare in caso di stop improvviso durante la deambulazione o in caso di bruschi cambi di direzione. In maniera più specifica, una lesione di terzo livello può essere ulteriormente distinta in:

I grado: lassità con escursione anomala di circa 5 mm;

II grado: lassità con escursione anomala compresa tra 5 mm e 10 mm;

III grado: lassità con escursione anomala di oltre 10 mm.

3.3. La Lesione di Legamento Crociato Anteriore (LCA) e l'alterazione della Biomeccanica del ginocchio in seguito a tale lesione

Gli esperimenti di Grood sul cadavere hanno dimostrato che la sezione del LCA determina un aumento della traslazione anteriore della tibia rispetto al femore ed una piccola diastasi delle superfici articolari femorale e tibiale quando la gamba viene sospesa nel vuoto sotto il suo stesso peso con il ginocchio flesso a 90° (Fig. 3.1).

La traslazione tibiale anteriore, o TTA, nelle lesioni croniche del LCA è quantificabile attraverso il cosiddetto Lachman radiologico o Telos. Nel caso in cui il valore differenziale tra la TTA del ginocchio sano e quella del ginocchio malato sia superiore a 10 mm, c'è l'indicazione per la applicazione di un apparecchio ortopedico di rinforzo extra-articolare, quale ad esempio una ginocchiera o un tutore.

Il ginocchio normale durante l'estensione attiva della gamba contro una resistenza applicata alla caviglia, presenta una traslazione tibiale anteriore che aumenta nel corso dell'estensione. Estendendo il ginocchio da 100° a 140° la traslazione tibiale anteriore cresce con rapidità, fino a raggiungere un valore massimo di 2 mm a 140° di estensione, per poi diminuire gradualmente fino al raggiungimento della posizione di completa estensione (Fig. 3.2).

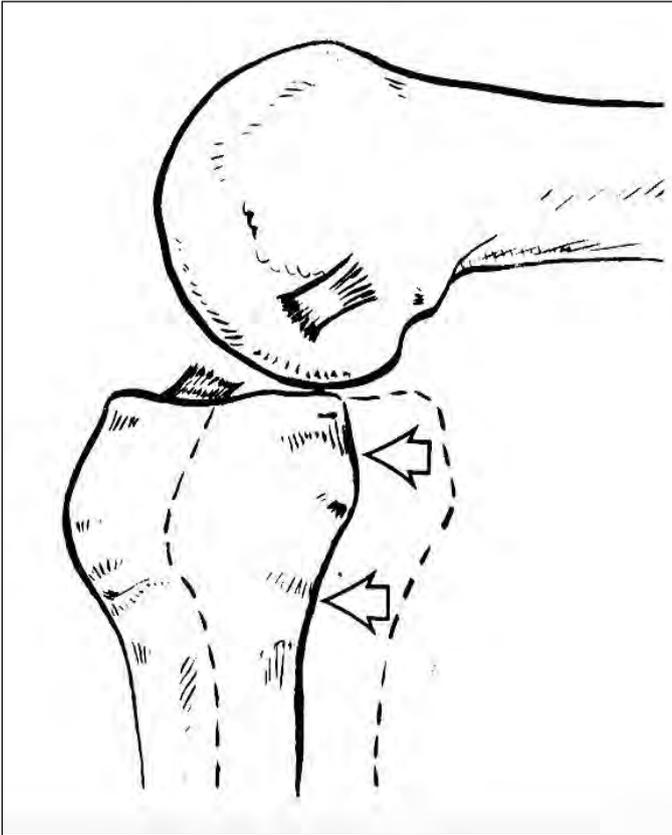


Fig. 3.1

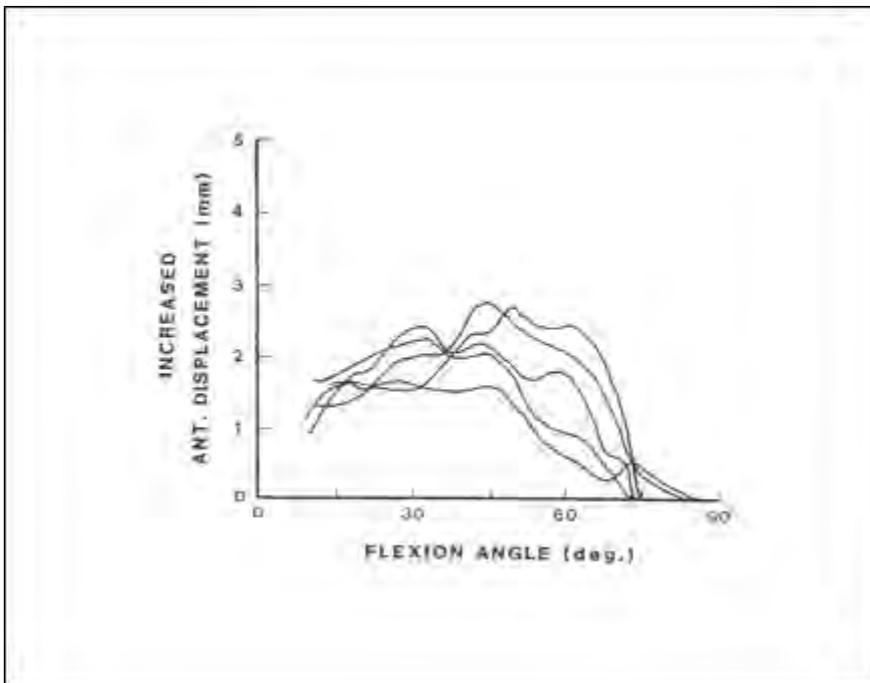


Fig. 3.2

La perdita della funzione del LCA conseguente ad una sua lesione genera un aumento della traslazione tibiale anteriore nel range di estensione da 150° a 180°. L'effetto risultante dall'aggiunta di una resistenza di 31N alla caviglia in un ginocchio con lesione completa del LCA è un aumento della traslazione tibiale anteriore di un valore medio di 3,8 mm a 160° di estensione (Fig. 3.3). Nel confronto con il ginocchio normale, la perdita della funzione del LCA determina un aumentato spostamento anteriore della gamba durante l'estensione del ginocchio a partire da un angolo di 150. Molti Autori hanno dimostrato che il LCA agisce impedendo la traslazione tibiale anteriore, sottolineandone la messa in tensione durante l'estensione della gamba oltre i 150°.

La sollecitazione in trazione sul LCA durante l'estensione della gamba è dovuta all'orientamento spaziale del tendine rotuleo. Il quadricipite, attraverso la rotula, esercita una sollecitazione in compressione ed in trazione anteriore sul piano sagittale a carico dell'articolazione femoro-tibiale. L'aumentata traslazione tibiale anteriore durante l'estensione della gamba contro una resistenza di 31N applicata alla caviglia è causata dall'aumento del vettore di forza che genera lo spostamento anteriore della tibia, che nel ginocchio normale è controbilanciata esclusivamente dalla resistenza fornita dal LCA integro.

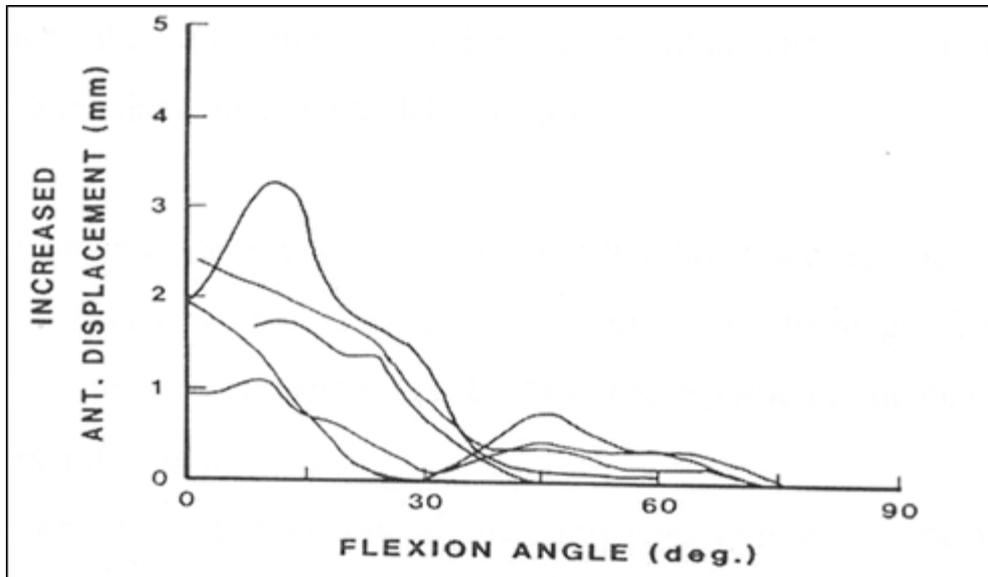


Fig. 3.3

3.3.1. Insufficienza del LCA e sublussazione laterale

Come precedentemente esposto, l'insufficienza del LCA provoca una disintegrazione del movimento di rotolamento e scivolamento dei condili femorali sul piatto tibiale durante la flessione-estensione del ginocchio, in particolare presso il comparto laterale.

In un ginocchio normale l'asse di rotazione è spostato dalla linea mediana dell'articolazione in direzione mediale, per cui durante la rotazione del ginocchio sul proprio asse verticale l'emipiatto tibiale laterale ha un'escursione anteriore e posteriore maggiore rispetto all'emipiatto mediale. Tale fenomeno, unitamente alla caratteristica morfologica della convessità posteriore dell'emipiatto laterale, predispone a fenomeni di sublussazione presso il comparto femoro-tibiale laterale.

Nel pivot-shift test, l'esaminatore con una mano solleva il piede dell'arto da valutare con il ginocchio in estensione e con la gamba intraruotata, mentre contemporaneamente con l'altra mano stressa il ginocchio in valgo esercitando una spinta sul polpaccio e flettendo lentamente il ginocchio. Il test è positivo quando si evidenzia uno scatto di sublussazione a circa 30°-40° di flessione, segno patognomonico di una lesione del LCA.

Una concomitante insufficienza funzionale del legamento femoro-tibiale antero-laterale (LFTAL) e dell'angolo semimembranoso accentua il pivot-shift.

Al contrario, un'importante instabilità in valgo rende difficoltosa la dimostrazione dello scatto di sublussazione poiché la mancanza del supporto capsulo-legamentoso mediale rende la manovra di difficile esecuzione.

3.3.2. Lesioni Meniscali da insufficienza del LCA

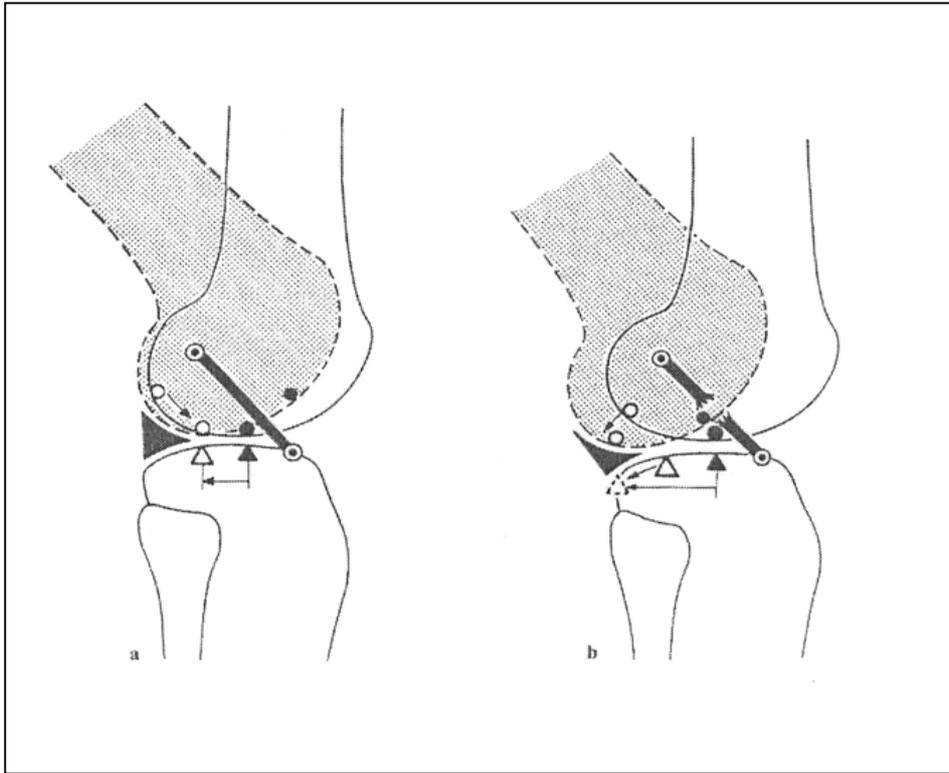
La lesione del LCA può accompagnarsi ad una lesione dei menischi, in particolare del menisco mediale. Per tale ragione, nella maggior parte dei casi di artrosi da lesione inveterata del LCA, si osserverà una gonartrosi femoro-tibiale mediale. Attualmente si tende ad effettuare la ricostruzione del LCA prima che si sviluppi una lesione degenerativa a carico delle strutture meniscali. Nel caso in cui la lesione meniscale sia insorta in contemporanea con la lesione legamentosa, durante l'intervento chirurgico di ricostruzione del LCA si compie anche il gesto chirurgico di riparazione del menisco lesionato. In genere la via di accesso è artroscopica anteromediale ed anterolaterale. Quando possibile, la lesione meniscale viene trattata per mezzo di una sutura tipo Fast Fix, secondo un gesto chirurgico che consente di non sacrificare l'intera struttura del menisco parzialmente lesa. Numerosi studi clinici hanno infatti dimostrato in modo inequivocabile la fondamentale importanza

del menisco soprattutto nei giovani sportivi, evidenziando come la meniscectomia vada considerata come soluzione estrema in quanto mostra una evoluzione long-term in artrosi del ginocchio. La meniscectomia va riservata a quei casi in cui la sutura meniscale non è tecnicamente realizzabile, come ad esempio in caso di una lesione troppo complessa o di una sua localizzazione non sufficientemente periferica. Che la meniscectomia possa evolvere a lungo termine in un'artrosi di ginocchio è noto fin dal 1948, grazie ad un famoso articolo scientifico di T. J. Fairbanks, intitolato "Knee Joint changes after meniscectomy"-J.B.J.S. Br. 1948¹¹. Secondo un più recente studio condotto nel 1996 ad opera della Società Francese di Artroscopia, una meniscectomia effettuata in presenza di un LCA perfettamente sano può condurre ad una evidenza radiologica di artrosi del ginocchio, non necessariamente accompagnata da una sintomatologia clinica dolorosa, nel 20-40 % dei casi a distanza di 10 anni dall'intervento. Se invece la meniscectomia viene effettuata in presenza di una lesione totale del LCA non trattata mediante ricostruzione, si osserverà evidenza radiologica di artrosi del ginocchio nel 95 % dei casi a 25 anni di distanza. In genere, una lesione traumatica del LCA non necessita di una terapia chirurgica d'urgenza, ma al contrario le attuali indicazioni consigliano di non intervenire su una articolazione sede di un importante processo flogistico in atto per evitare il rischio di insorgenza di fenomeni fibro-aderenziali imponenti nel post-operatorio, con possibilità di evoluzione in un ginocchio in blocco.

Artmann e Wirth nel 1974 ⁶¹hanno dimostrato che l'insufficienza del LCA causa una disintegrazione del movimento di rotolamento-scivolamento del ginocchio, che si estrinseca in uno spostamento posteriore dell'asse meccanico del ginocchio.

La perdita della funzione del LCA lesionato provoca un eccessivo rotolamento femorale con anormale traslazione posteriore del punto di contatto femoro-tibiale sia presso il comparto laterale, sia presso quello mediale. I corni posteriori dei menischi intercalari tentano di limitare tale fenomeno, ma vengono schiacciati al di sotto dei condili femorali e subiscono un imponente attrito cronico, che conduce a lungo termine ad un quadro di deterioramento clinico con comparsa di segni obiettivi di sofferenza meniscale e quindi ad una lesione franca (Fig. 3.4).

Fig. 3.4



3.4. La Classificazione delle Lassità del ginocchio

Le lesioni legamentose totali a carico del ginocchio danno quindi origine a lassità articolare; nel dettaglio, le lassità sono distinguibili in due classi principali:

- Lassità traslatorie
- Lassità rotazionali

In campo medico si è soliti indicare con il termine lassità l'ampiezza massima del movimento tra due segmenti ossei di un'articolazione (nel nostro caso tibia e femore), quando il chirurgo applica manualmente una forza, o una torsione.

I principali tipi di lassità che si possono studiare per il ginocchio sono di tipo traslatorio, laddove il movimento relativo tra tibia e femore è una traslazione, e di tipo rotazionale, laddove il movimento relativo tra tibia e femore è una rotazione. In particolare le lassità si distinguono in:

Lassità traslatoria Antero-Posteriore (Fig. 3.5.A): la traiettoria del movimento relativo tra il Femore e la Tibia è parallela alla retta determinata dalla intersezione del piano sagittale con quello trasversale;

Lassità rotazionale Interna-Esterna (Fig. 3.5.B): la rotazione tra Femore e Tibia avviene attorno all'asse di intersezione tra i piani frontale e sagittale. Si dice interna la rotazione in senso mediale ed esterna quella in senso laterale;

Lassità rotazionale Varo-Valga (Fig. 3.5.C): la rotazione tra Femore e Tibia avviene rispetto all'asse di intersezione tra il piano sagittale e quello trasversale. In questo caso la rotazione vara è quella in senso mediale e valga quella in senso laterale.

Laddove il ginocchio è interessato da una lassità articolare significativa bisogna operare per ristabilirne il normale stato fisiologico.

È fondamentale quindi fare una diagnosi accurata per scegliere il trattamento chirurgico adeguato: errori in tale prassi si possono tradurre in un intervento chirurgico inadeguato che può anche peggiorare la biomeccanica dell'articolazione. Un gesto chirurgico che corregga un solo aspetto di un'instabilità combinata non ha alcuna possibilità di ripristinare la normale fisiologia articolare.

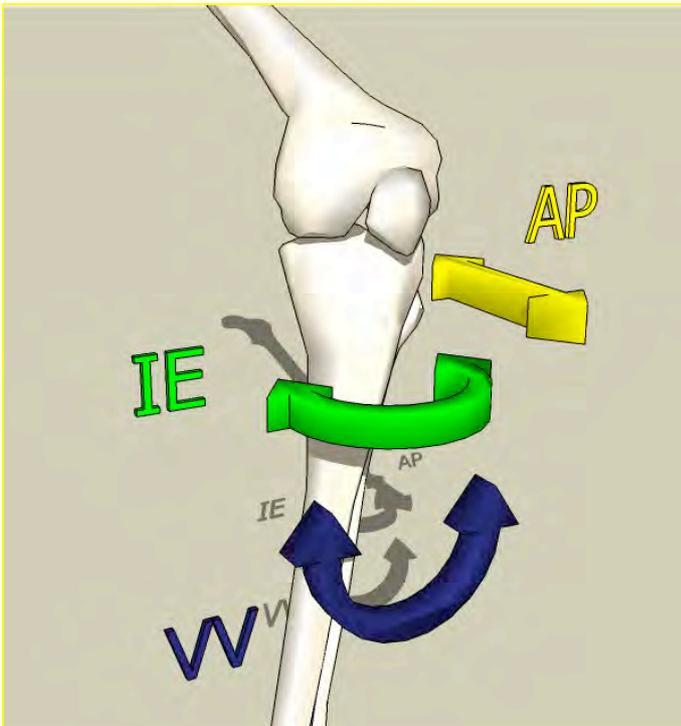


Fig. 3.5 – Lassità articolare di principale interesse clinico

3.5. L'Esame Clinico del ginocchio

L'esame clinico di pazienti con lesioni acute all'apparato capsulo-legamentoso (in particolare al LCA) può essere in alcuni casi di difficile esecuzione a causa della tumefazione, del dolore violento e dello spasmo muscolare che rende difficile l'interpretazione di alcune manovre. L'esame deve seguire una certa progressione partendo con manovre più semplici per arrivare ai test più dolorosi.

La visita, per la diagnosi del danno al ginocchio, si effettua attraverso varie prove di stress per valutare la stabilità dell'articolazione e definire così il danno subito. Una volta determinato il danno, il medico valuta la corretta terapia da adottare. Nel caso in cui proceda alla ricostruzione chirurgica del legamento, in fase post operatoria il ginocchio viene nuovamente sottoposto a test di valutazione per verificare che il nuovo legamento assolva correttamente alla sua funzione.

Prima di esaminare il ginocchio traumatizzato è bene valutare il ginocchio controlaterale sano.

E' importante considerare una eventuale iperlassità legamentosa costituzionale, valutata mediante quattro test (iperestensione del pollice all'avambraccio, iperestensione delle falangi metacarpali, recurvazione del gomito e recurvazione del ginocchio): infatti Bach et al. All'inizio degli anni '90 hanno dimostrato come ci possa essere una correlazione tra iperlassità del LCA (con conseguente

maggior predisposizione alla lesione) e iperlassità legamentosa generale. Questo emerge in particolare nei pazienti con iperlassità cronica al LCA che, al contrario di quelli con iperlassità causata da trauma acuto, sono più a rischio di fallimento, sia con il trattamento conservativo sia con quello chirurgico.

L'esame obiettivo del ginocchio ha soprattutto lo scopo di ricercare l'eventuale presenza di grossolane deformità; si procede ad un'accurata ispezione alla ricerca di eventuali ecchimosi che possono fornire utili indicazioni riguardo al meccanismo traumatico, in particolare rilevandone la natura diretta o indiretta.

Inoltre, una fase di palpazione può rivelare una viva dolorabilità in corrispondenza dell'emirima articolare mediale o laterale quando vi sono lesioni meniscali associate.

Oltre a tutto ciò, è di interesse fondamentale eseguire correttamente specifici test per saggiare la lassità dell'apparato capsulolegamentoso e la sua eventuale insufficienza funzionale.

3.6. I Test manuali di Lassità del ginocchio

I test clinici di valutazione adottati dal medico ortopedico sono detti test di lassità. Questi test hanno lo scopo di valutare la stabilità del ginocchio, attraverso l'applicazione di determinate forze e/o momenti e la successiva stima della risposta in moto dell'articolazione.

I test che vengono eseguiti inizialmente sono quelli che si realizzano con la gamba in rotazione neutra poiché quelli in rotazione laterale e mediale risultano il più delle volte imprecisi e di difficile esecuzione a causa dello spasmo muscolare. I test col ginocchio in intrarotazione o in extrarotazione vengono eseguiti per la diagnosi dei casi più dubbi di lesione del LCA e per evidenziare eventuali lesioni associate delle altre strutture legamentose periferiche del ginocchio.

Nella valutazione dell'apparato capsulo legamentoso del ginocchio esistono numerosi test con molte varianti, soprattutto per quello che riguarda il grado di rotazione della gamba. I test diretti, cioè quelli con la gamba in posizione rotazionale neutra, maggiormente utilizzati per valutare l'integrità del LCA e per la dimostrazione delle instabilità laterali sono:

- Lachman test;
- Test del cassetto anteriore;
- Test di stress in varo/valgo.

Invece, i test in rotazione maggiormente utilizzati per il dépistage delle altre strutture legamentose interessate dalle lesioni associate sono:

- Test del cassetto anteriore in rotazione interna/esterna;

- Pivot Shift test (con le sue varianti).

3.6.1. Lachman Test

Si esegue con il paziente supino e con il ginocchio flesso a circa 30°. Durante il test di Lachman l'esaminatore stabilizza il femore con una mano facendo attenzione che i muscoli flessori del ginocchio siano rilassati, mentre con l'altra mano afferra la tibia applicando sulla sua superficie posteriore prossimale una forza di traslazione diretta anteriormente (Fig. 3.6).

Con questo test clinico si possono valutare l'ampiezza dell'escursione anteriore della tibia rispetto al femore ed il tipo di stop, cioè la sensazione di aumentata resistenza del legamento associata all'improvviso arresto dello traslazione tibiale anteriore rispetto al femore.

Quando il legamento crociato anteriore è leso lo stop non si realizza. Un comune sistema di gradazione distingue l'instabilità in:

- Grado 1: escursione tibiale inferiore ai 5 mm;
- Grado 2: escursione tibiale tra i 5 mm ed i 10 mm;
- Grado 3: escursione tibiale superiore a 10 mm.

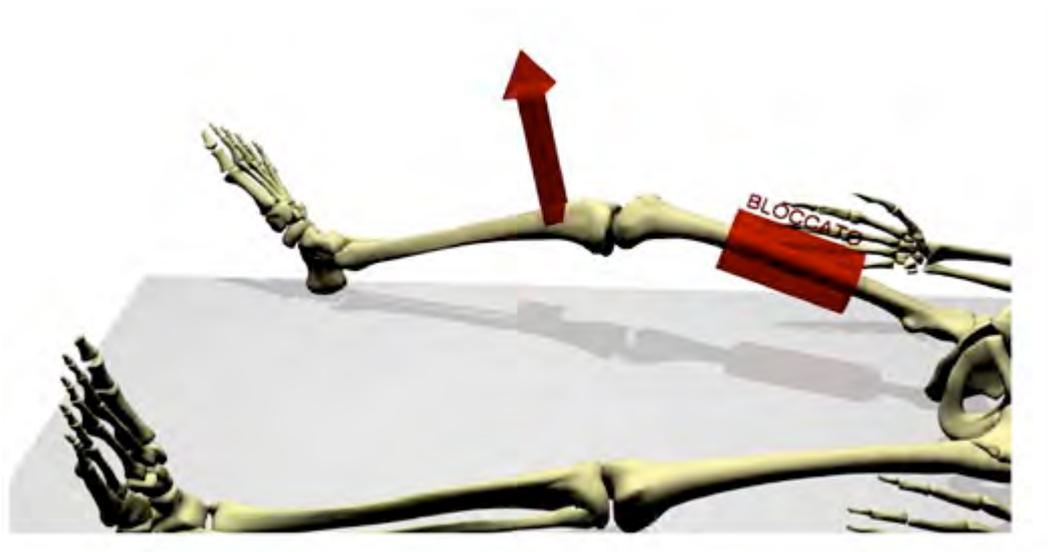


Fig. 3.6 – Lachman test

Inoltre sulla base dello stop la lesione del LCA è classificata in concomitanza di:

- Arresto valido ed immediato;
- Arresto assente o soffice.

Un'eventuale scomparsa o diminuzione notevole del solco che è presente anteriormente all'articolazione del ginocchio quando essa è flessa a 90°, basato sulla fisiologica prominente del profilo tibiale anteriore di 8 - 10 mm rispetto a quello femorale, fa sospettare una lesione anche del

LCP.

Le difficoltà che si riscontrano nell'esecuzione del Lachman test sono rappresentate dal dolore durante la compressione del femore in corrispondenza della regione distale del muscolo quadricipite femorale e dalla difficoltà nell'afferrare distalmente il femore negli atleti con una coscia di grandi dimensioni per il notevole trofismo muscolare. Sebbene il Lachman test sia altamente attendibile sono possibili in alcuni casi risultati falsi negativi. La causa principale risiede nell'incapacità di superare lo spasmo muscolare che limita la traslazione tibiale anteriore. Tale spasmo muscolare è particolarmente importante in caso di rottura a manico di secchio del menisco mediale, evento spesso associato alla lesione del LCA dopo un trauma in flessione-valgismo-extrarotazione. Inoltre l'esaminatore deve assicurarsi che la traslazione tibiale anteriore apprezzata non sia da imputare ad una preesistente condizione di sublussazione posteriore della gamba, secondaria ad una rottura del LCP, che, per l'appunto, può causare un Lachman test falso positivo.

3.6.2. Test del Cassetto Anteriore

Viene effettuato con il paziente in posizione supina, con l'anca flessa a 45° ed il ginocchio flesso a 90°. Il paziente deve essere rilassato e con la gamba in rotazione neutra. L'esaminatore si siede sopra al piede del paziente dallo stesso lato della lesione immobilizzandolo, e stringe l'estremo prossimale della tibia fra le mani, esercitando su di essa una trazione anteriore mentre i suoi pollici palpano l'interlinea articolare mediale e laterale ed apprezzano l'entità dell'escursione in avanti della tibia, rispetto al femore (Fig. 3.7).

Anche in questo test viene utilizzato un sistema di gradazione in mm, del tutto identico a quello usato nel Lachman test e viene valutato il tipo di stop. Analogamente al Lachman test, il test del cassetto anteriore è quasi sempre di difficile esecuzione nella fase acuta per via dello spasmo muscolare ma anche perché può essere doloroso flettere il ginocchio fino a 90°. Per questo motivo il test del cassetto anteriore nella valutazione di un trauma acuto si dimostra meno efficace rispetto al Lachman test.

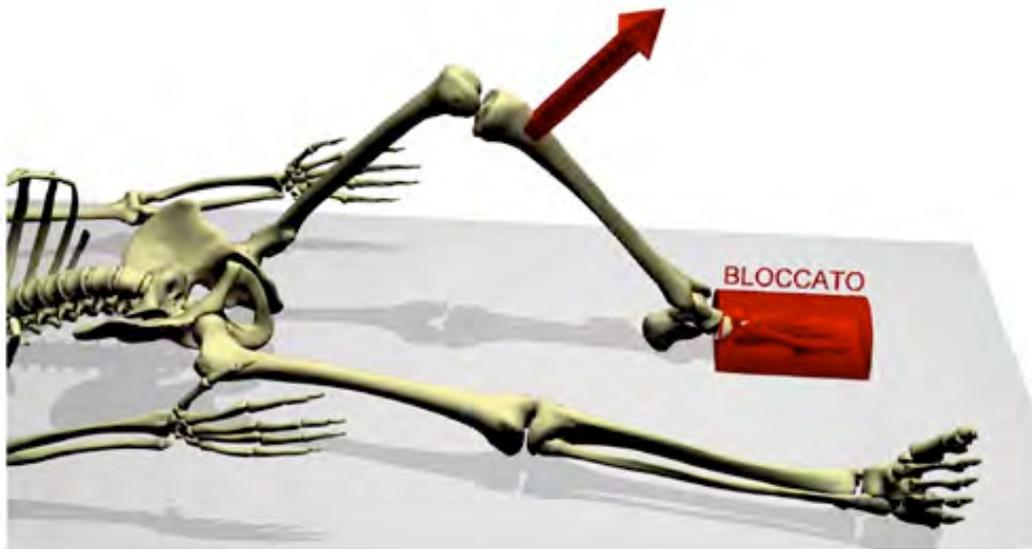


Fig. 3.7 – Test del Cassetto Anteriore

3.6.3. Varo/Valgo Stress Test

Il Valgo Stress Test è utile nella valutazione delle lesioni a carico del LCM.

Si esegue sia a ginocchio flesso a 30° sia a ginocchio esteso (Fig. 3.8). L'esaminatore con una mano posizionata sulla faccia laterale della coscia esercita una spinta medialmente mentre con l'altra mano afferra il piede e la caviglia esercitando una spinta lateralmente. Ponendo l'anca del paziente in lieve flessione si favorisce il rilassamento della muscolatura della coscia. Se il compartimento mediale del ginocchio si apre solo in flessione c'è una lesione solo di LCM, se si apre anche in estensione si è in presenza di una lesione di LCM e LCA.



Fig. 3.8 – Valgo Stress Test

Il varo stress test si esegue nello stesso modo del test con stress in valgo, ma inverso. L'esaminatore pone una mano sulla faccia mediale della coscia esercitando una spinta laterale, mentre con l'altra mano afferra il piede applicandovi una spinta mediale (Fig. 3.9). Se il compartimento laterale del ginocchio si apre solo in flessione a 30° siamo in presenza di una lesione di LCL, se si apre anche in estensione c'è una lesione di LCL e LCA.

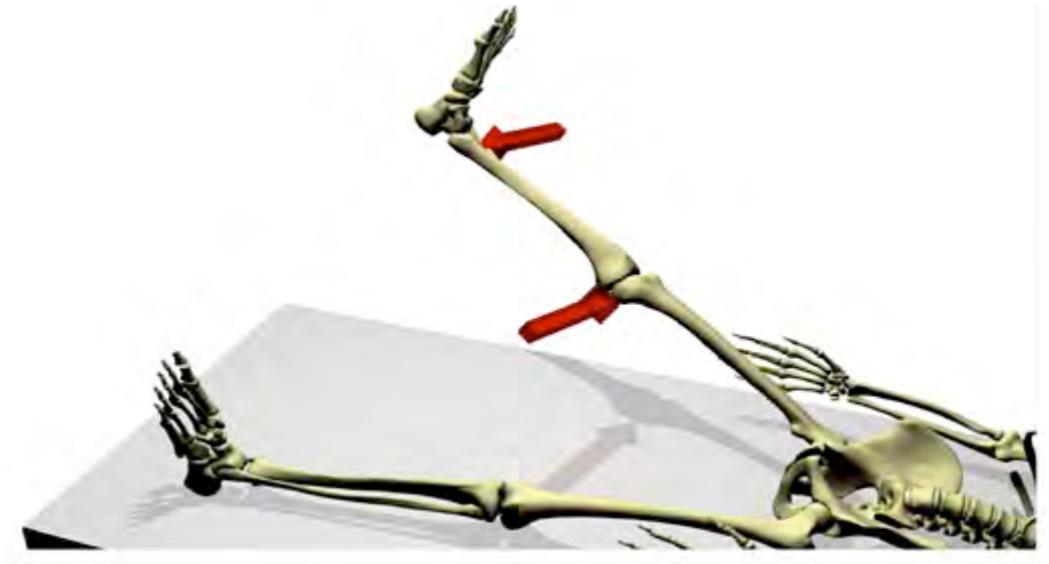


Fig. 3.9 – Varo Stress Test

3.6.4. Pivot-Shift Test

Comprende una serie complessa di test utili nella valutazione dell'instabilità del ginocchio e nella diagnosi delle lesioni più dubbie di LCA. Il Pivot-Shift Test provoca una sublussazione anteriore della tibia in lieve flessione se sollecitata in valgismo ed intrarotazione, caratteristica della rottura del LCA.

Aumentando la flessione del ginocchio fino ai 35° - 40°, la tibia viene ridotta, cioè torna nella posizione quasi naturale, scattando indietro per effetto della trazione posteriore effettuata dal tratto ileo-tibiale e contemporaneamente il femore scatta leggermente in avanti. Questo fenomeno di riduzione della tibia viene detto 'Pivot-Shift'. Il responsabile di tale movimento è il tratto ileo-tibiale che fino ai 35° - 40° di flessione del ginocchio ne coadiuva l'estensione ma dai 35° - 40° ai 145° ne coadiuva la flessione poiché passa dietro all'asse di flessione del ginocchio.

Si conoscono diverse varianti di questo test:

- **Variante di Mac-Intosh:** con il paziente in decubito supino, l'esaminatore mantiene il piede intraruotato con il ginocchio in estensione. A circa 10° - 20° di flessione se è presente una lesione di LCA la tibia si sublussa anteriormente al femore.

Durante la flessione del ginocchio l'esaminatore esercita con una mano una spinta in valgismo sulla

tibia e a circa 35° - 40° di flessione la sublussazione della tibia si riduce improvvisamente e contemporaneamente il condilo femorale laterale scatta in avanti sul piatto tibiale laterale (Fig. 3.10). Il fenomeno è osservabile e palpabile nelle lesioni acute del LCA e risulta spesso doloroso.



Fig. 3.10 – Pivot-shift test variante di Mac-Intosh

- **Variante di Hughston:** è l'inverso del test di Mac-Intosh poiché si parte col ginocchio flesso a circa 40° e il piede intraruotato (Fig. 3.11). L'esaminatore estende il ginocchio sollecitando in valgo la tibia, evidenziando una traslazione posteriore del femore ed uno scatto anteriore della tibia verso la parte finale dell'estensione in corrispondenza degli ultimi 10° - 20° del movimento, a causa della lesione del LCA.

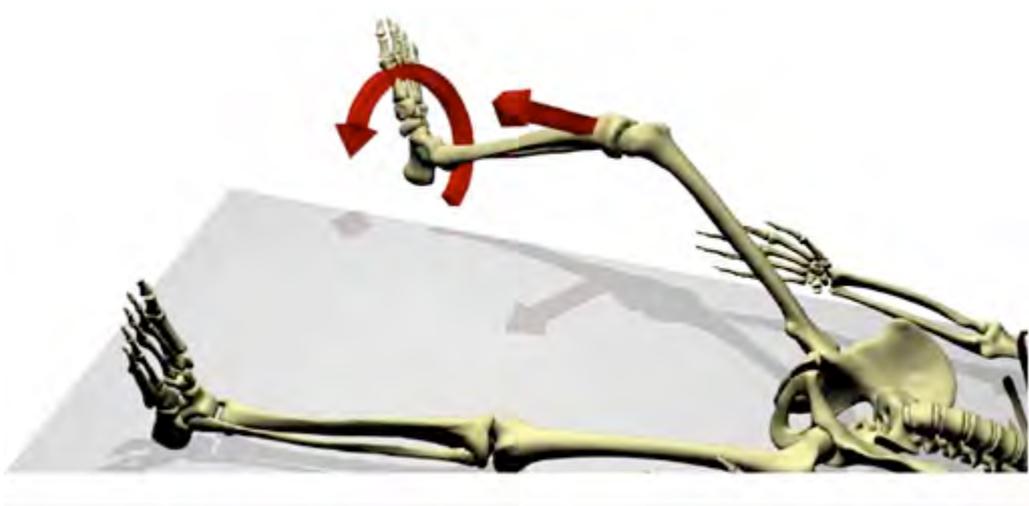


Fig. 3.11 – Pivot-shift test variante di Hughston

- **Variante di Losee:** il paziente è in posizione supina. L'esaminatore mantiene con una mano il piede in rotazione esterna facendo partire il paziente con il ginocchio flesso a 40° - 45°, con la tibia in posizione ridotta. A questo punto con l'altra mano l'esaminatore applica una spinta in valgismo mentre estende il ginocchio. La banda ileo-tibiale all'inizio della manovra è rilassata e quindi si nota una certa sublussazione anteriore della tibia. Proseguendo nell'estensione si realizza la contrazione del tratto ileo-tibiale, con una brusca sublussazione anteriore della tibia negli ultimi 10° - 20° di flessione.

- **Variante di Noyes:** conosciuto anche come test del cassetto in flesso-rotazione, questo test si esegue con il paziente supino con il ginocchio flesso a 20° - 30° (Fig.3.12).

L'esaminatore sostiene la gamba ed il solo peso gravitazionale della coscia provoca la sublussazione e la rotazione laterale del condilo femorale laterale, a causa della lesione del LCA. La dislocazione può essere ridotta spingendo posteriormente l'estremità posteriore della tibia come se si volesse effettuare un cassetto posteriore.

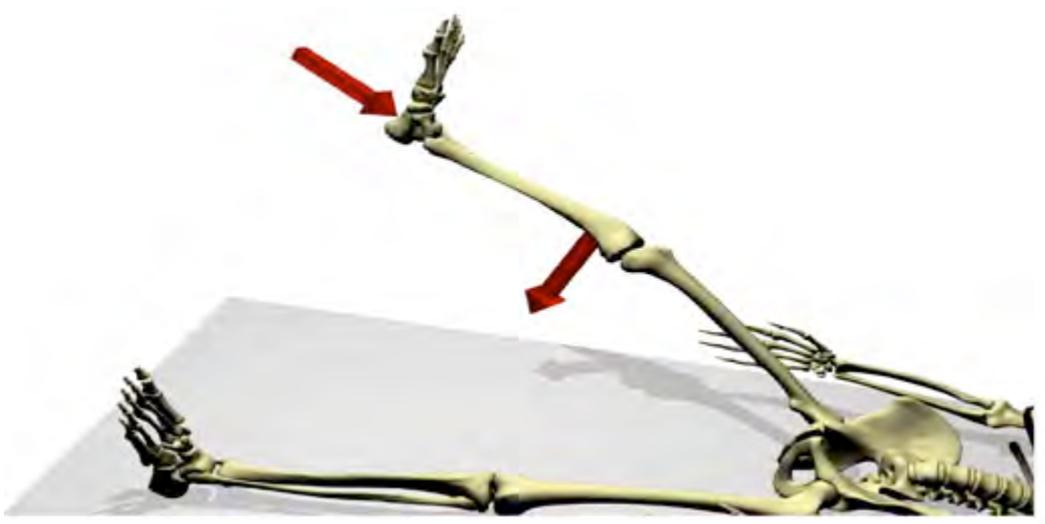


Fig. 3.12 – Pivot-shift test variante di Noyes

- **Variante di Slocum:** il paziente è in decubito supino e per metà ruotato verso il lato opposto, ponendosi con la schiena nei confronti dell'esaminatore. In questo modo è il peso del ginocchio del paziente a provocarne una sollecitazione in valgismo ed intrarotazione senza la necessità di sostenere l'arto inferiore. L'esaminatore impugna femore e tibia in prossimità dell'interlinea articolare, flettendo ed estendendo progressivamente il ginocchio ed accentuandone il valgismo (Fig. 3.13). In questo modo si verificano gli stessi fenomeni descritti nel test di Mac-Intosh e nel test di Hughston sottolineando l'eventuale presenza di una lesione del LCA.

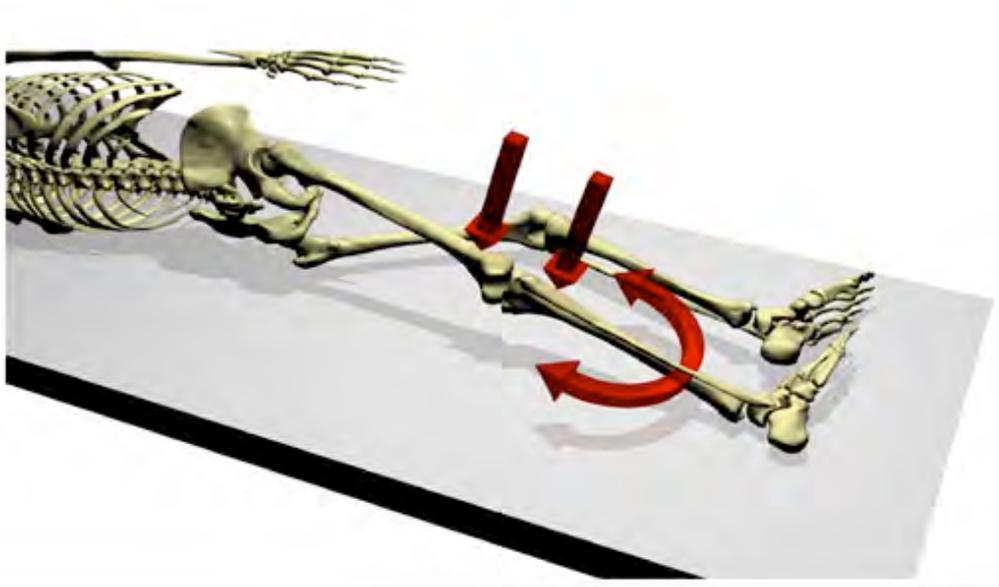


Fig. 3.13 – Pivot-shift test variante di Slocum

Tutti questi test possono ben evidenziare una rottura di LCA, tuttavia bisogna sempre verificare l'arto controlaterale sano in modo da evidenziare un'eventuale iperlassità legamentosa propria del soggetto che potrebbe portare a diagnosi sbagliate¹⁴!

3.7. Valutazioni quantitative

Nella trattazione appena fatta sono stati elencati diversi test clinici che individuano le lassità del ginocchio: per ognuno di essi è stata descritta la procedura di esecuzione e gli eventi cinematici che avvalorano o meno la lesione dei vari legamenti articolari. Però, dovendo formulare delle conclusioni diagnostiche affidabili, è importante valutare quantitativamente le forze e i momenti applicati dal chirurgo durante i test; difatti se l'instabilità articolare del ginocchio è stimata attraverso l'analisi del movimento relativo tra tibia e femore è ragionevole chiedersi quale sia, in termini quantitativi, la forza (o momento) che ha generato tale movimento. Sono stati quindi sviluppati dei dispositivi che potessero stimare l'instabilità articolare del ginocchio sia in termini cinematici (spostamenti relativi) che in termini dinamici (forze e/o momenti).

A partire dai primi anni '80, per aiutare l'esaminatore nella valutazione delle instabilità legamentose del ginocchio, sono stati sviluppati diversi dispositivi tecnici da utilizzare per l'analisi della loro funzionalità, al fine di ottenere una descrizione quantitativa delle escursioni sul piano sagittale dell'articolazione. La possibilità di impiegare tali strumenti consente la formulazione di diagnosi più precise, in quanto le manovre cliniche precedentemente descritte sono gravate da un margine di

sogettività ed inoltre risulta tecnicamente difficile provvedere ad una misurazione esatta dei diversi tipi di instabilità, senza l'ausilio di un opportuno supporto strumentale.

3.7.1. Artrometri per valutazione della lassità antero-posteriore (statica)

Nello specifico, la patologica escursione (lassità) in antero-posteriore (statica) della tibia rispetto al femore, presente nelle lesioni del LCA, può essere descritta in termini quantitativi mediante vari artrometri, il più utilizzato dei quali risulta essere l'artrometro MedMetric, modello KT-1000 o KT-2000 (Fig. 3.14).

Tali dispositivi sono basati sull'utilizzo di due sensori, posizionati uno al di sopra della rotula e l'altro sulla tuberosità tibiale, che permettono di confrontare le traslazioni anteroposteriori della tibia, spostandosi in modo solidale con la tuberosità tibiale, e riferendo il valore dell'escursione alla rotula. Lo strumento funziona secondo i medesimi principi fisici di un dinamometro ed i sensori traducono lo spostamento in un segnale analogico leggibile su una scala numerica visiva. Anche questa metodica di misurazione dell'instabilità del ginocchio può subire l'influenza di numerosi fattori, come ad esempio la posizione del ginocchio e la forza applicata dall'esaminatore per determinare lo spostamento. Ad ogni modo, la contemporanea valutazione del ginocchio sano controlaterale consente di aumentare la significatività delle misurazioni, in special modo se lo strumento è manovrato da parte di un operatore esperto.

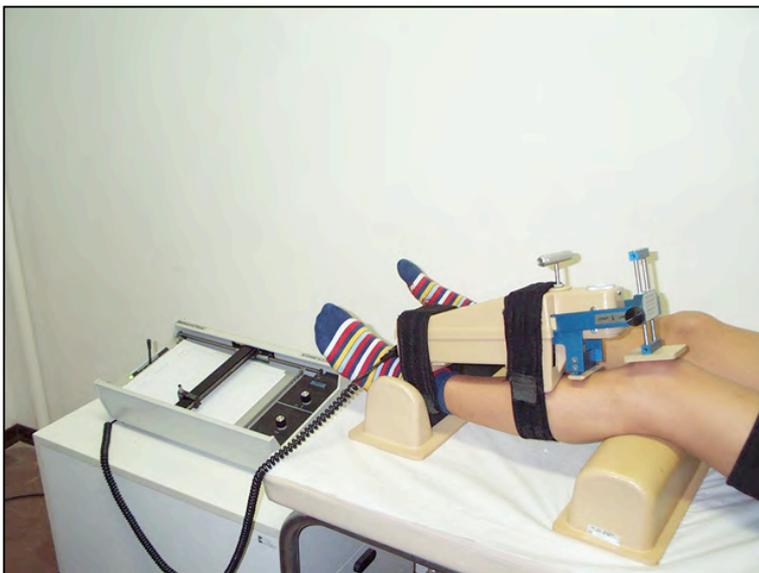


Fig. 3.14 – L'artrometro KT-2000.

La posizione di partenza prevede che il paziente sia in decubito supino, con gli arti inferiori appoggiati su un apposito sostegno all'altezza del cavo popliteo ed i malleoli laterali aderenti ad un sostegno posizionato sotto i talloni. Il mantenimento di tale posizione fissa garantisce che le ginocchia conservino una posizione a 30° di flessione, mantenendo la rotula a contatto con la troclea femorale.

L'utilizzo dell'artrometro KT-1000 o KT-2000 consente l'impiego di diversi test per uno studio esauriente della lassità legamentosa anteriore del ginocchio, attraverso l'applicazione di una forza di traslazione anteriore a livello tibiale misurabile in libbre o Newton. Attualmente l'esame con artrometro KT-1000 è l'unica valutazione strumentale di lassità del ginocchio ad essere inclusa nella scala di valutazione oggettiva IKDC.²⁰

I test utilizzati con il KT-1000 o con il KT-2000 sono:

1. Cassetto anteriore a 15 libbre;
2. Cassetto anteriore a 20 libbre;
3. Cassetto anteriore a 30 libbre (134 N);
4. Cassetto anteriore massimo passivo;
5. Cassetto anteriore attivo da contrazione del quadricipite;

I test maggiormente significativi sono il cassetto anteriore a 30 libbre (134N) e quello a forza massima manuale. Le valutazioni strumentali quantitative con l'artrometro sono utili anche dopo l'intervento chirurgico ricostruttivo del LCA, per valutarne l'efficacia nel ripristinare una condizione di normale lassità legamentosa nel ginocchio e per consentire un confronto fra i risultati clinici delle differenti tecniche chirurgiche. In particolare le misurazioni nel follow-up post-operatorio vengono effettuate a 2, 3, 6, 12 e 24 mesi dall'intervento chirurgico.

3.7.2. Sistemi inerziali per l'analisi del pivot-shift (lassità rotazionale dinamica)

Lo sviluppo di sensori di movimento per lo studio dei segmenti del corpo e il continuo progredire delle tecnologie hanno permesso di studiare il fenomeno del pivot-shift (e quindi la lassità rotazionale dinamica del ginocchio) in maniera non invasiva grazie a sensori che registrano l'accelerazione di segmenti corporei: gli accelerometri.

All'attuale stato dell'arte l'unico dispositivo validato in vivo in commercio per l'analisi del pivot-shift (lassità rotazionale dinamica) è il sistema "KIRA" (Kinematic Rapid Assessment). Questo sistema è stato validato utilizzando un sistema di navigazione chirurgica commerciale per analisi legamentosa del ginocchio. Il dispositivo KIRA è stato ideato nel Laboratorio di Biomeccanica (diretto dal Prof. Maurilio Marcacci) degli Istituti Ortopedici Rizzoli e la sua tecnologia è basata sull'utilizzo di un accelerometro tri-assiale.^{32, 33, 64, 65}

Il dispositivo KIRA è stato oggetto di precedenti ricerche che hanno dimostrato un rapporto di proporzionalità diretta fra l'accelerazione globale della tibia (m/s^2) misurata dal dispositivo e quella antero-posteriore della tibia rispetto al femore registrata da un sistema commerciale di navigazione chirurgica durante l'esecuzione del pivot-shift test in pazienti prima e dopo la ricostruzione di LCA.³² Il sistema KIRA è di facile utilizzo e rende possibile la comparazione "side-to-side" tra arto sano ed arto con LCA lesionato/ricostruito. Sono stati individuati dei valori soglia di differenza "side-to-side" di accelerazione oltre i quali il fenomeno del pivot-shift risulta compatibile con lesione di LCA ($0,9 m/s^2$).³



Fig. 3.15 – Sistema di valutazione del pivot-shift "KIRA" sviluppato presso il Laboratorio di Biomeccanica dell'Istituto Ortopedico Rizzoli - Bologna

4. TECNICHE CHIRURGICHE DI RICOSTRUZIONE DEL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE

Negli ultimi anni si sono sviluppate ed evolute numerose tecniche chirurgiche per la ricostruzione del LCA. Ciascun chirurgo, in base alla tipologia dei propri pazienti ed alle proprie convinzioni scientifiche, adotta di volta in volta una determinata tecnica per la plastica chirurgica del LCA.

4.1. Ricostruzione di LCA con Tendine Rotuleo

E' stata la tecnica chirurgica più utilizzata nel corso degli anni '90 ed è tuttora di largo impiego. Il prelievo del terzo centrale del tendine rotuleo, secondo una rivisitazione della tecnica originale di Kenneth Jones, è la variante più praticata.

Il paziente è in decubito supino sul tavolo operatorio con un sostegno laterale applicato contro la regione prossimale della coscia ed il ginocchio flessa a 90°. Viene applicato un laccio pneumatico alla radice dell'arto.

L'incisione di cute, sottocute e fascia va dal polo inferiore della rotula alla tuberosità tibiale anteriore ed espone il piano tendineo. La scelta dell'accesso chirurgico mira ad evitare un'incisione sulle prominenze ossee e consente una facile esecuzione del tunnel tibiale, senza provocare un'eccessiva retrazione della cute.

Dopo aver misurato la larghezza del tendine rotuleo, se ne preleva il terzo centrale, in modo da ottenere un innesto di 9-11 mm di larghezza e 45 mm di lunghezza.

Il tendine rotuleo viene prelevato assieme alle sue bratte ossee, che misurano ciascuna 8-10 mm in larghezza e 25 mm in lunghezza. La bratta ossea prossimale dell'innesto ha forma trapezoidale, in modo da ottenere di un cuneo di forma adeguata per il tunnel femorale, mentre la bratta distale viene prelevata in modo da disporre di una struttura ossea di forma rettangolare, tale da consentirne il transito attraverso ambedue i tunnel. (Fig. 4.1.1.)

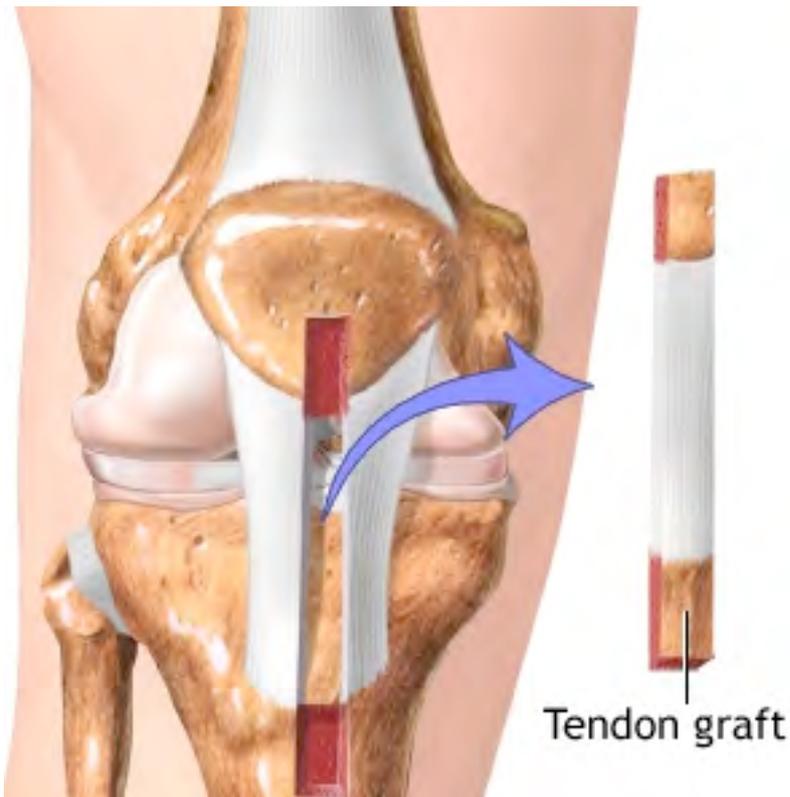


Fig. 4.1.1. Prelievo tendineo per ricostruzione LCA con tendine rotuleo.

Sotto guida artroscopica vengono creati tunnel ossei femorale e tibiale con delle frese di calibro crescente, in modo da creare i tunnel ossei con un diametro di 9-12 mm. A questo punto, vengono effettuati tre piccoli fori in corrispondenza di entrambe le estremità dell'innesto ed in ciascun foro vengono fatti passare 2 fili di sutura non riassorbibile n.2.

La soluzione di continuo creata nel tendine rotuleo può essere chiusa a questo punto oppure al termine dell'intervento, mentre una piccola porzione dell'innesto osseo tibiale viene posto a riempimento del difetto rotuleo per facilitarne la guarigione.

L'innesto viene portato in articolazione facendolo passare in direzione disto-proximale con dei fili di trascinamento.

La sua parte prossimale viene fissata nel tunnel femorale mediante una vite ad interferenza, infissa nella bratta ossea del prelievo. E' molto importante che il posizionamento della vite ad interferenza nel tunnel femorale venga effettuato con il ginocchio allo stesso angolo di flessione a cui è stato eseguito il tunnel femorale.

La parte distale dell'innesto viene fissata nel tunnel tibiale con una vite ad interferenza (Fig. 4.1.2.)-

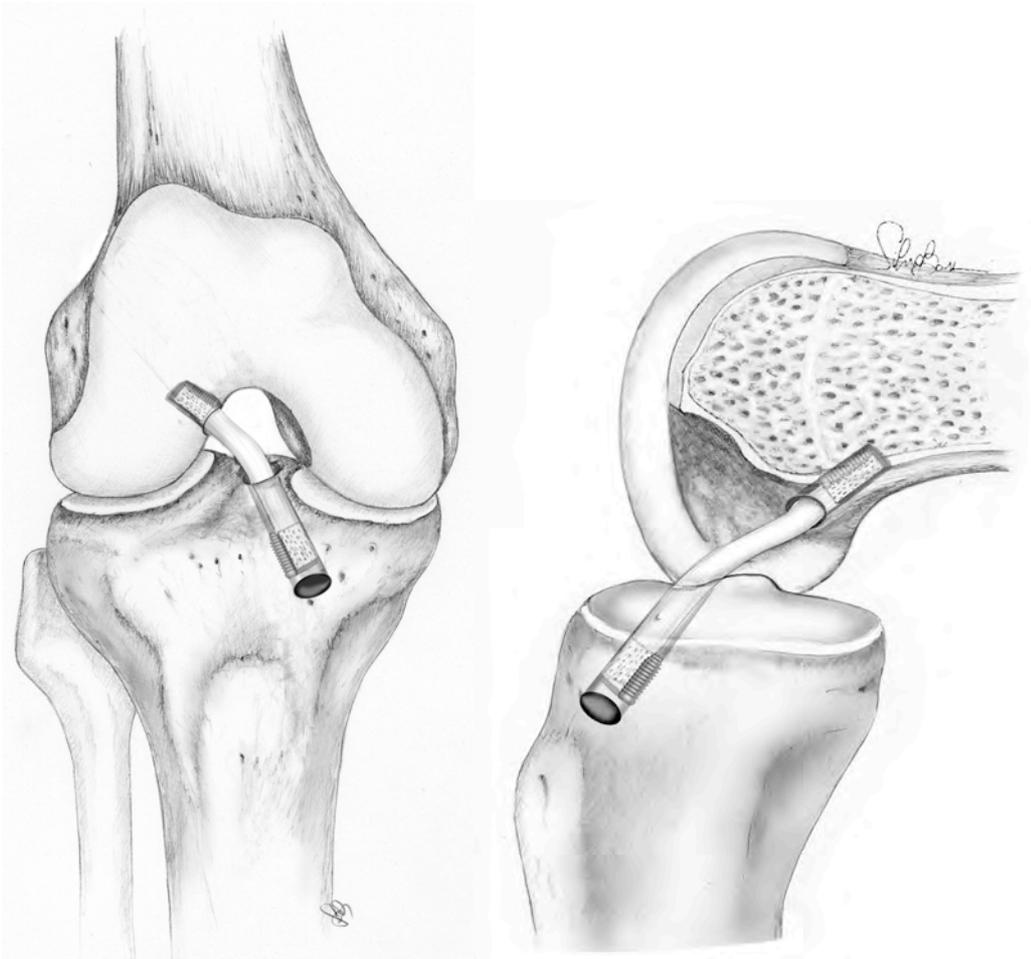


Fig. 4.1.2. Ricostruzione di LCA con tendine Rotuleo.

L'innesto viene controllato in tutto il ROM articolare per avere la certezza che non si realizzi alcun fenomeno di impingement ed il ginocchio viene controllato per confermare che il test di Lachman, il test del cassetto anteriore e il pivot shift test siano tutti negativi.

L'intervento si conclude con emostasi, sutura per strati, medicazione e bendaggio elastico compressivo.²³

Tra i vantaggi della tecnica, ricordiamo un buon fissaggio dell'impianto grazie alla presenza delle bratte ossee presso ambedue le sue estremità e le ottime caratteristiche biomeccaniche del graft.

Il tendine rotuleo, infatti, ha un'elevata resistenza alla trazione, superiore del 60% rispetto al LCA nativo, ma tale dato è valido solamente nel breve termine, in quanto dopo la neovascolarizzazione

dell'innesto osseo, assume le stesse caratteristiche di un normale LCA.

Nonostante una stabilità capsulo-legamentosa complessivamente maggiore nei pazienti operati con tecnica con tendine rotuleo rispetto ad altre tecniche, riportata da alcuni studi, Anderso, Otero ed Hutchinson ne hanno rivelato la non significatività.

Numerosi studi a lungo termine hanno, tuttavia, rivelato una serie di svantaggi:

- Complicazioni femoro-rotulee, costituite per la maggior parte da tendinite, con la possibilità di lesioni del tendine rotuleo residuo e di fratture della rotula;
- Condropatie femoro-rotulee;
- Rigidità articolare con conseguente riduzione dell'escursione articolare, in accordo con i trias clinici di Shaieb ed Aglietti;
- Presenza di contratture muscolari rilevabili durante la flessione-estensione del ginocchio;
- Dolore nella regione anteriore del ginocchio;
- Indebolimento del quadricipite femorale ed in generale dell'intera muscolatura estensoria della gamba;
- Ritardato recupero post-operatorio della forza muscolare.

E' possibile concludere affermando che la tecnica ricostruttiva con tendine rotuleo può essere effettuata quando il LCA presenta una lesione centrale e/o quando i tessuti tendinei a disposizione sono qualitativamente inadatti o quantitativamente insufficienti per la ricostruzione. La tecnica potrebbe essere consigliata in pazienti giovani che intendono riprendere l'attività sportiva in tempi brevi, vista la possibilità di una rapida ed aggressiva riabilitazione post-operatoria resa possibile dalla fissazione interossea a livello delle bratte, ma deve essere tenuta in considerazione la possibilità di complicanze importanti.

Prendendo spunto dalla tecnica originale di Kennet Jones, sono state proposte alcune varianti di tale metodica:

1. Alm ed Eriksson² hanno utilizzato il terzo medio del tendine rotuleo, ritenendo tale scelta capace di ridurre le complicanze post-chirurgiche;
2. Marshall e MacIntosh hanno impiegato, in aggiunta al terzo medio del tendine rotuleo, anche il periostio della rotula e l'estremo distale del tendine quadricipitale. Questo impianto può essere lasciato inserito anatomicamente in situ presso la tuberosità tibiale, oppure può essere disinserito ed essere introdotto in articolazione attraverso un tunnel tibiale ed uno femorale. Nel caso l'innesto venga disinserito distalmente, si ottiene un graft di lunghezza

tale da consentirne la fuoriuscita dal tunnel femorale e l'utilizzo del moncone residuo per il confezionamento di una plastica extra-articolare laterale a protezione del neoLCA nell'immediato post-operatorio.²³

Tali tecniche, ad ogni modo, sono ormai in disuso, in quanto non sono fedelmente anatomiche e causano deficit all'apparato muscolare estensorio, di entità tale da poter compromettere notevolmente il ritorno al livello di attività agonistica pre-trauma.

Shelbourne e Gray raccomandano di attendere tre settimane dal trauma prima di eseguire la ricostruzione chirurgica, per ridurre il rischio di incidenza dell'artrofibrosi. Lo stesso Shelbourne⁵⁴, inoltre, ha evidenziato come un protocollo riabilitativo appropriato e precoce aiuti ad ottenere un ROM ottimale.

In base ad alcuni lavori svolti dall'equipe del prof. Marcacci, a parità di ogni altra condizione, la tecnica con tendine rotuleo è comunque risultata quella gravata dai maggiori rischi per il recupero funzionale post-operatorio.⁶⁶

Shaieb e Murder⁵², in accordo con i dati di alcuni nostri lavori, hanno evidenziato per i pazienti operati con tendine rotuleo, una maggiore incidenza di dolore anteriore rispetto ai pazienti operati con tecnica Over The Top a singolo o doppio fascio.

4.2 Ricostruzione di LCA con tendini semitendinoso e gracile a singolo fascio

(Tecnica Endobutton)

Il paziente è supino sul tavolo operatorio con un laccio emostatico gonfiabile alla radice dell'arto. L'accesso chirurgico prevede l'incisione di cute, sottocute e fascia a livello della zampa d'oca.

Utilizzando un tendon stripper, si procede alla graduale liberazione dei tendini dei muscoli semitendinoso e gracile, che vengono prelevati quanto più prossimamente possibile. La minima lunghezza di tali tendini necessaria per poter effettuare tale intervento è di 28 cm.

Il trapianto viene alloggiato su un apposito strumentario in modo da ottenerne la sua quadruplicazione.

Il tunnel tibiale viene preparato in modo analogo a quanto descritto per la tecnica con tendine rotuleo,

A livello femorale, invece, si crea un half tunnel utilizzando una fresa con diametro inferiore di 1 mm rispetto alle dimensioni del trapianto e se ne calcola la lunghezza. Sulla base dei risultati, ne vengono allargati i 2,5 cm più vicini alla cavità articolare per accogliere l'innesto, conservando una fissazione press-fit in corrispondenza della porzione superiore del tunnel femorale stesso.

Il trapianto, pre-tensionato per circa 15-20 minuti, viene caricato su di un filo guida e quindi portato in articolazione, applicando una trazione che ne garantisca la fissazione press-fit nella parte di calibro ristretto del tunnel femorale. La placchetta di fissazione prossimale viene posizionata in modo da ottenerne l'addossamento alla corticale femorale esterna.

La fissazione tibiale viene ottenuta mediante una cambra metallica connessa al trapianto.

Dopo accurata emostasi, si procede alla sutura per strati e si conclude l'intervento con medicazione e bendaggio elastico compressivo.²³



Fig. 4.3. Ricostruzione di LCA con gracile e semitendinoso a singolo fascio.

4.3 Tecnica di ricostruzione del LCA con tendini semitendinoso e gracile a doppio fascio (double bundle)

La metodica chirurgica prevede la ricostruzione anatomica dei due fasci che costituiscono il LCA, il fascio antero-mediale ed il fascio postero-laterale.

Tale soluzione dovrebbe garantire una superiore resistenza del neolegamento alla trazione e rende possibile una ricostruzione più aderente al LCA nativo, sia dal punto di vista anatomico, sia dal punto di vista biomeccanico.

(Tecnica a doppio fascio con passaggio over-the-top)

L'intervento chirurgico viene eseguito in anestesia generale o in analgesia spinale, comunque con il paziente in decubito supino sul tavolo operatorio.

Posizionato il laccio pneumatico alla radice dell'arto e preparato il campo operatorio, si creano gli accessi artroscopici. Generalmente, si adotta un accesso sovrarotuleo mediale per la cannula di lavaggio intra-articolare, una via antero-laterale per l'artroscopio ed un terzo accesso antero-mediale per lo strumentario chirurgico.

Nel caso all'ispezione artroscopica si repertino lesioni associate meniscali o condrali, si procede con l'esecuzione delle meniscectomie selettive e delle condroplastiche. Vengono, quindi, preparati il sito d'inserzione distale del LCA presso il piatto tibiale e la gola intercondiloidea.

La plastica della gola viene eseguita solamente nelle lesioni croniche, per prevenire l'impingement dell'impianto.

Si procede all'accurata rimozione di qualsiasi tessuto molle localizzato nella regione posteriore della gola intercondiloidea, che possa essere di ostacolo nella localizzazione del punto di over the top.

La gamba del paziente viene flessa e portata nella posizione a 4, mentre si localizza zampa d'oca, seguendo il decorso dei tendini dei muscoli della loggia posteriore della coscia fino alla loro inserzione presso la superficie tibiale antero-mediale.

Si pratica una piccola incisione trasversale della lunghezza di circa 3 cm in corrispondenza dell'angolo antero-mediale del ginocchio, superficialmente alla zampa d'oca.

Dissecando il tessuto sottocutaneo, si esegue un'incisione fasciale parallelamente al decorso dei tendini della zampa d'oca, per evitarne sezioni accidentali.

Identificati i tendini del gracile e del semitendinoso, si procede alla loro liberazione longitudinale dalle reciproche aderenze ed al loro isolamento dai tessuti molli circostanti e dalle aderenze fibrose con le formazioni fasciali circostanti.

I tendini vengono prelevati con un tendon stripper smusso (Acufex, Microsurgical Inc. Mansfield, USA), strumento chirurgico in grado di eseguire una sorta di carotaggio del tendine liberandolo dal ventre muscolare prossimale. Le modalità d'incisione consentono una facile individuazione dei tendini e le caratteristiche dello strumento prevengono una loro lacerazione e permettono di prelevarli in tutta la loro lunghezza.

La liberazione dei tendini dal ventre muscolare prossimale viene eseguita mantenendo contemporaneamente una trazione continua presso le loro estremità distali, con il ginocchio in flessione superiore a 90°, in modo da agevolare il distacco dei tendini.

Distalmente l'accollamento del tendine del semitendinoso all'adiacente tendine del gracile viene liberato, allo scopo di guadagnare 1-2 cm in lunghezza.

L'inserzione tibiale dei tendini non deve essere danneggiata, al fine di preservarne la vascolarizzazione e l'innervazione nelle ottimali condizioni fisiologiche.

I tendini prelevati vengono suturati assieme utilizzando 3 fili di Flexidene n°2 non riassorbibili (Lab. Bruneau Boulogne Billancourt, France). Le suture vengono serrate particolarmente in corrispondenza delle estremità libere prossimali dei tendini appaiati e vengono annodate attorno alle estremità tendinee, per trasmettere efficientemente alla struttura la forza di trazione che verrà esercitata in seguito e per ridurre il diametro al fine di facilitarne il transito nei tunnel tibiale e femorale.

Si posiziona un filo guida sotto controllo artroscopico, orientandolo in modo da sbucare in articolazione nella regione postero-mediale dell'inserzione del LCA sul piatto tibiale.

Per l'esecuzione del tunnel femorale, il ginocchio viene posizionato a poco meno di 90° in flessione e il filo guida, sotto controllo artroscopico, viene inserito sulla superficie mediale del condilo femorale laterale, circa 5 mm anteriormente rispetto alla posizione di over the top. Ottenuto un saldo e stabile inserimento del filo guida all'osso del condilo femorale, si flette il ginocchio fino a 130° e il filo guida viene ulteriormente inserito nell'osso, fino a trapassare la corticale femorale della superficie laterale del condilo esterno.

Il foro di uscita nella superficie laterale del condilo esterno deve essere in posizione appena

superiore rispetto alla radice del condilo femorale stesso. La direzione del passaggio può essere controllata utilizzando un compasso da perforazione o palpando la zona desiderata per orientare la traiettoria del perforatore.

Nell'inserire le guide dei tunnel ossei è importante non soqquadrare facendo leva con il perforatore sul filo guida, per non sollecitare il filo imprimendogli una spinta non coassiale al suo asse longitudinale.

Lungo i fili guida collocati nell'osso tibiale e femorale, viene inserita una fresa e sotto visualizzazione artroscopica si preparano i tunnel femorale e tibiale. Il calibro della fresa varia in base al diametro dell'innesto tendineo confezionato. Generalmente, viene utilizzata una fresa da 7 mm per il tunnel femorale ed una di 8 mm per il tunnel tibiale.

I frammenti ossei del tunnel tibiale vengono rimossi con una curette motorizzata e gli imbocchi del tunnel vengono smussati usando uno shaver. La fresa viene anche impiegata per la pulizia della cavità articolare dai frammenti ossei prodotti dalla preparazione del tunnel femorale.

RICOSTRUZIONE DEL FASCIO ANTERO-MEDIALE CON PASSAGGIO ALLA OVER-THE-TOP

Un passafili metallico viene portato in articolazione attraverso il tunnel tibiale e viene spinto nella gola intercondiloidea. Sotto controllo artroscopico, il passafili viene ulteriormente sospinto fino a fuoriuscire dall'articolazione in corrispondenza dell'accesso artroscopico antero-mediale. Verrà utilizzato in seguito per il passaggio del graft nel tunnel tibiale.

Il ginocchio è posizionato in flessione a 90° sul tavolo operatorio ed il piede viene extraruotato per liberare il cavo popliteo da ogni pressione.

Si esegue un'incisione longitudinale di 3-5 cm di cute, sottocute e tratto ileo-tibiale subito superiormente al condilo femorale laterale. Con un elettrobisturi e delle forbici si procede alla dissezione degli strati superficiali della superficie laterale della coscia, fino ad esporre il setto intermuscolare laterale. Se tale struttura viene identificata con chiarezza, è possibile raggiungere la superficie posteriore della capsula articolare situata in profondità rispetto a tale setto. Se non è, invece, possibile pervenire alla regione capsulare dorsale lasciando integro il setto, si procede con la sua sezione.

La corretta posizione del passaggio alla over-the-top viene localizzata palpatariamente, usando come punto di repere anatomico il tubercolo posteriore del condilo femorale laterale. Questa manovra consente anche di mantenersi ad una distanza di sicurezza dalle strutture vascolo-nervose nobili della regione posteriore del ginocchio, in particolare dall'arteria poplitea, proteggendole da

accidentali traumatismi chirurgici potenzialmente pericolosi.

Si introduce una pinza recurvata di Kelly in articolazione attraverso l'accesso artroscopico antero-mediale e se ne posiziona la punta il più prossimalmente possibile alla parete capsulare posteriore.

Quando la punta della pinza emostatica viene rilevata alla palpazione presso la superficie femorale dorso-laterale, la si spinge profondamente ad attraversare il sottile strato posteriore della capsula articolare, fuoriuscendo a livello dello spazio postero-laterale precedentemente preparato.

Un filo da sutura viene posizionato sulla punta della pinza emostatica, che viene ritirata anteriormente attraverso l'accesso artroscopico anteromediale, portando il filo in articolazione. Il filo da sutura viene, quindi, caricato sul passafili metallico precedentemente inserito in articolazione attraverso il tunnel tibiale.

Retraendo il passafili metallico dal versante extra-articolare del tunnel tibiale, il filo di sutura viene trascinato presso l'incisione tibiale antero-mediale ed è pronto per portare in articolazione l'innesto tendineo.

I punti sull'estremità libera dei tendini del gracile e del semitendinoso vengono annodati con il filo da sutura trascinato dal passafili metallico e l'innesto viene trascinato in articolazione trazionando il filo dall'incisione dorso-laterale femorale.

Il trapianto fuoriesce dall'incisione dorso-laterale ed è pronto per essere nuovamente impiegato nella ricostruzione del fascio antero-mediale, attraverso il tunnel femorale. (Fig. 4.4)

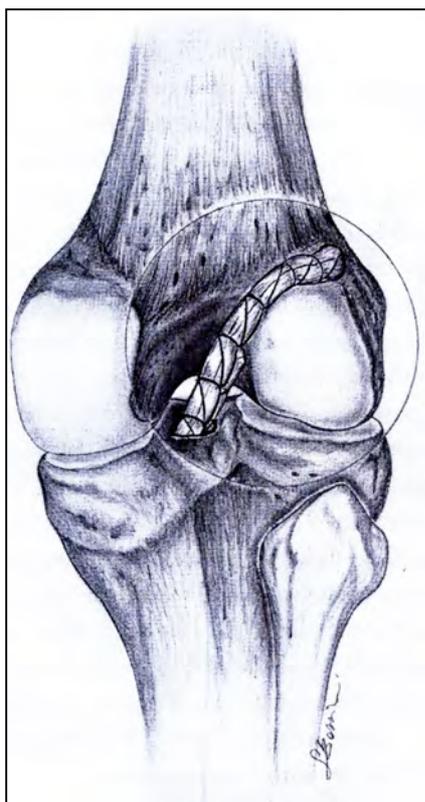


Fig. 4.4. Ricostruzione del fascio antero-mediale con passaggio alla over-the-top.

RICOSTRUZIONE DEL FASCIO POSTERO-LATERALE

Per mezzo di un passafilì metallico, viene introdotto in articolazione un filo di sutura attraverso l'accesso artroscopico antero-mediale.

Il filo da sutura viene poi ripreso ed estratto dalla cavità articolare attraverso il tunnel femorale, sotto controllo artroscopico, ed emerge all'esterno in corrispondenza dell'incisione postero-laterale presso il condilo femorale laterale.

Sotto controllo artroscopico, l'altro capo del filo da sutura viene afferrato tramite una pinza da presa portata in articolazione attraverso il tunnel tibiale. Retraendo la pinza dall'articolazione, il filo da sutura viene traziionato all'esterno del tunnel tibiale presso l'incisione in prossimità della zampa d'oca.

I punti posti sull'estremità libera del moncone tendineo residuo del graft presso l'incisione postero-laterale in regione femorale distale vengono suturati sul filo di sutura, che a questo punto decorre tra l'incisione antero-mediale in corrispondenza della zampa d'oca e l'incisione postero-laterale stessa, attraversando in successione il tunnel tibiale e quello femorale.

La trazione del filo di sutura dal versante tibiale trascina il moncone residuo del graft attraverso il tunnel femorale, la cavità articolare ed il tunnel tibiale, fino a fuoriuscire presso l'incisione tibiale a livello della zampa d'oca.

Il neoLCA, ricostruito anatomicamente a doppio fascio, viene messo in tensione ed il ginocchio viene mobilizzato in flesso-estensione per l'intero ROM per circa 20 volte, al fine di verificare l'isometria del neolegamento, il grado di libertà della mobilità articolare e la stabilità dinamica del ginocchio.

I tendini appaiati del gracile e semitendinoso vengono ulteriormente tensionati e fissati con un nodo di sutura transosseo. A tale scopo, si esegue un foro con un filo metallico sulla superficie tibiale antero-mediale, con direzione obliqua latero-mediale ed infero-superiore.

Si fa passare all'interno del foro la metà dei fili di sutura liberi all'estremità dei due tendini imbastiti e si confeziona una sutura particolarmente stabile con l'altra metà dei fili di sutura, cercando di ottenere una buona tensione a cavallo del foro osseo.

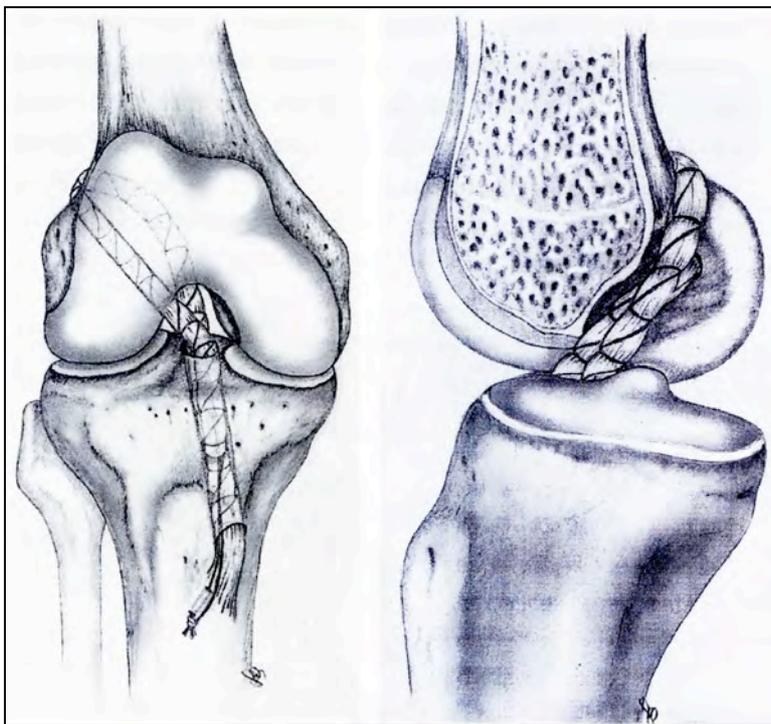


Fig. 4.5. Ricostruzione di LCA con tendini semitendinoso e gracile a doppio-fascio con passaggio alla over-the-top

Attraverso la cannula di lavaggio posta nell'accesso supero-mediale viene posizionato un drenaggio intra-articolare e drenaggi addizionali vengono posizionati in corrispondenza dell'incisione antero-mediale tibiale e di quella postero-laterale femorale.

Si sutura lo strato fasciale presso l'incisione del tratto ileo-tibiale, cercando di evitare l'inclinazione laterale della gamba e la compressione della rotula.

La fascia mediale in corrispondenza dell'incisione sulla zampa d'oca non viene chiusa per evitare sindromi compartimentali con possibile entrapement del nervo safeno. L'intervento dura in media 30-40 minuti effettivi, con un totale di circa 1 ora in sala operatoria dal momento dell'ingresso.³⁵

Il metodo di ricostruzione del LCA con tendini del semitendinoso e gracile a doppio tunnel consente la riproduzione degli effetti cinematici derivanti dalla presenza del fascio antero-mediale e postero-laterale del LCA nativo, con il risultato di una ricostruzione più anatomica.

Il primo passaggio dell'innesto tendineo nella posizione di over the top riproduce il fascio postero-laterale, mentre il secondo passaggio attraverso il tunnel femorale riporta in articolazione il moncone residuo, corrispondente al fascio antero-mediale.

Con tale metodica si crea una superficie di inserzione tibiale del neoLCA più ampia di quella del LCA nativo in un ginocchio normale e la presenza del duplice passaggio dell'innesto nel tunnel tibiale consente di ottenere una migliore fissazione press-fit.

La letteratura scientifica recente conferma la validità strutturale e biomeccanica della tecnica con double bundle, ed inoltre alcuni lavori hanno evidenziato come l'impianto dei tendini di semitendinoso e gracile sia dotato di caratteristiche biomeccaniche più simili a quelle del LCA normale.

4.4. Ricostruzione di LCA con tendini semitendinoso e gracile mediante tecnica “over-the-top + plastica esterna”.

Il paziente è posizionato in decubito supino sul tavolo operatorio. Un laccio pneumatico viene applicato il più possibile vicino alla radice dell'arto. Si posiziona un supporto laterale 2 cm al di sopra dell'apice rotuleo per mantenere in tensione le strutture articolari durante l'ispezione per via artroscopica.

Le vie di accesso artroscopiche impiegate dall'equipe del prof. Marcacci prevedono un accesso supero-mediale per la cannula afferente con la soluzione di lavaggio intra-articolare, un accesso anterolaterale per la videocamera ed un accesso anteromediale per lo strumentario artroscopico.

Sotto controllo artroscopico, vengono eseguite eventuali meniscectomie e condroplastiche, procedendo, quindi, alla preparazione dell'area anatomica di inserzione tibiale del LCA e della gola intercondiloidea femorale.

Si procede all'asportazione del frammento di LCA rotto, regolarizzandone il decorso in modo da preservare al massimo la struttura legamentosa residua.

Nelle lesioni croniche inveterate, al contrario, il tratto di LCA anteriore residuo va rimosso completamente.

Sia nelle lesioni acute, sia in quelle croniche, è importante procedere ad un'accurata rimozione di tutti i tessuti molli che impegnano la regione posteriore della gola intercondiloidea, per reperire facilmente la posizione over the top.

Solitamente, non si esegue nessuna plastica ossea della gola intercondiloidea. Soltanto nelle lesioni croniche inveterate, qualora sia presente un osteofita di grandi dimensioni presso il margine mediale del condilo femorale laterale, responsabile di un significativo restringimento della gola, si procede alla sua rimozione, onde evitare un possibile intrappolamento del neoLCA.

A questo punto, si esegue l'isolamento ed il prelievo dei tendini del semitendinoso e del gracile.

Si dispone il paziente in posizione a 4 e si procede all'identificazione della zampa d'oca, seguendo i tendini posteriori del ginocchio distalmente rispetto alla loro inserzione sulla superficie tibiale antero-mediale.

Quale punto di repere anatomico si impiega il tubercolo tibiale del Gerdy e si identifica un punto localizzato 2 cm distalmente ed 1 cm medialmente rispetto ad esso (Fig. 4.4.1).

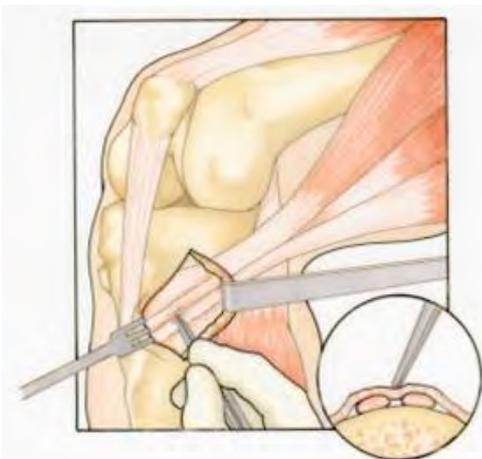


Fig. 4.4.1.

Identificata la zampa d'oca, si pratica un'incisione obliqua o curva di 3-4 cm di cute, sottocute e fascia sulla superficie tibiale antero-mediale ed in corrispondenza della zampa d'oca. In tale gesto chirurgico, è necessario porre attenzione nell'evitare il ramo infrapatellare del nervo safeno, la cui

recisione è causa di parestesie ed ipoestesia nel post-operatorio presso la superficie tibiale antero-mediale.

Il tendine del muscolo sartorio viene spostato in alto e si procede alla separazione dei tendini di semitendinoso e gracile dal tessuto molle circostante localizzato presso la zampa d'oca.

Si procede al completo isolamento dei due tendini dalle aderenze con le strutture fasciali adiacenti, al fine di permetterne la completa mobilizzazione e per consentire l'inserzione del tendon stripper.

Il legamento collaterale mediale è localizzato immediatamente in profondità all'espansione tendinea della zampa d'oca e non deve essere fatta confusione tra le due strutture.

I tendini vengono liberati prossimalmente uno alla volta inserendo il tendon stripper nella loggia muscolare posteriore della coscia e trazionando manualmente il tendine distalmente, mentre il ginocchio viene mantenuto in flessione a più di 90°, per facilitare il prelievo tendineo.

E' importante adottare la massima perizia nell'utilizzo del tendon stripper al fine di ottenere la massima lunghezza possibile di ciascun tendine. Solitamente, a partire dal sito di inserzione distale è possibile prelevare quasi 20 cm di tendine del semitendinoso ed una lunghezza lievemente inferiore per quanto riguarda il tendine del gracile.

La separazione longitudinale dell'aderenza del tendine del semitendinoso con l'adiacente tendine del gracile consente di guadagnare altri 1 o 2 cm in lunghezza.

Le inserzioni sulla tibia di entrambi i tendini devono accuratamente essere protette da eventuali danneggiamenti nel corso della procedura. La preservazione delle loro inserzioni distali garantisce la conservazione delle ottimali condizioni fisiologiche di innervazione e vascolarizzazione del neolegamento, abbreviando considerevolmente i tempi di recupero post-operatori.

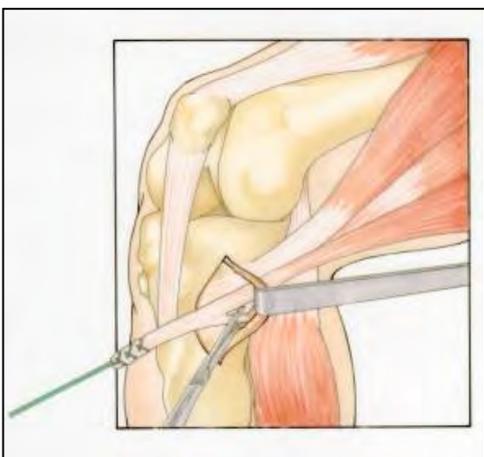


Fig. 4.4.2.

I tendini liberati prossimalmente vengono imbastiti e suturati assieme con punti non riassorbibili di flexidene n°2. La sutura dei tendini è particolarmente rinforzata in corrispondenza delle loro estremità libere prossimali e viene confezionata in modo tale che i fili di sutura avvolgono le estremità libere e le rendano il più possibile solidali (Fig. 4.4.2).

Tale gesto chirurgico mira ad ottenere una stabilità sufficiente a sopportare la trazione da esercitare successivamente per portare l'impianto in articolazione. Inoltre, la sutura consente di ridurre il calibro dei due tendini accoppiati, permettendo un agevole passaggio dell'innesto nel tunnel osseo tibiale.

Per la preparazione del tunnel tibiale è buona norma liberare dai tessuti molli mediante elettrocauterizzazione una zona posizionata medialmente ed appena superiormente al sito di inserzione distale dei tendini. La procedura richiede attenzione nell'evitare di ledere il LCM e la zampa d'oca.

Viene posizionato un filo guida ed il suo corretto orientamento viene verificato in artroscopia. L'obiettivo è la realizzazione di un tunnel tibiale con sbocco in articolazione in corrispondenza della regione postero-mediale del sito anatomico d'inserzione tibiale del LCA.

Sotto visualizzazione artroscopica, si procede alla esecuzione del tunnel osseo tibiale, utilizzando una punta cannulata di 8-9 mm di diametro.

Se il tunnel tibiale viene posizionato con decorso troppo verticale o con origine tibiale extra-articolare troppo prossimale, i tendini costituenti il neoLCA verranno sottoposti a sollecitazioni meccaniche con direzione troppo differente rispetto alle condizioni fisiologiche e quindi esposti al rischio di lesioni strutturali. La preparazione del tunnel tibiale con origine extra-articolare leggermente mediale e superiore all'inserzione distale anatomica dei tendini, fa sì che lo stress meccanico cui saranno sottoposti i tendini del graft e le loro inserzioni tibiali si sviluppino in una direzione ottimale, evitando, quindi, eventuali lesioni da avulsione.

I detriti del tunnel tibiale vengono rimossi mediante curettage, mentre i margini taglienti degli imbocchi del tunnel tibiale vengono levigati e smussati utilizzando uno shaver. La regolarizzazione dei margini del tunnel tibiale può essere eseguita tanto attraverso il tunnel osseo stesso, quanto attraverso gli accessi artroscopici.

Un passafilì metallico, su cui verranno caricati i fili dei tendini per consentirne il trasferimento in articolazione, viene introdotto nel tunnel tibiale e fatto passare nella gola intercondiloidea. Sotto

guida artroscopica, il passafilì viene fatto fuoriuscire dalla cavità articolare attraverso la via artroscopica antero-mediale.

Il ginocchio viene posizionato in flessione a 90° ed il piede viene stressato in extrarotazione, al fine di liberare la fossa poplitea da forze di tensione.

Si procede eseguendo un'incisione supero-laterale di 3-5 cm in prossimità dell'epicondilo femorale laterale. Il tratto ileo-tibiale viene sezionato in corrispondenza del suo terzo posteriore e divaricato anteriormente. Mediante elettrobisturi e forbici, si sezionano i tessuti molli dei piani posti superficialmente alla superficie laterale del femore, fino a giungere al setto intermuscolare laterale. Tale formazione fasciale si inserisce presso il condilo femorale laterale e separa il capo vaso laterale del quadricipite, in alto, dal capo laterale del muscolo gastrocnemio, in basso.

Identificato il setto intermuscolare laterale, è possibile accedere alla superficie dorsale della capsula articolare del ginocchio passando profondamente a tale struttura. Se ciò non è possibile, si procede alla sezione del setto e si arriva alla parte posteriore della capsula.

La corretta localizzazione della posizione over the top è individuata palpando con un dito il tubercolo posteriore del condilo femorale laterale. La manovra consente la protezione delle strutture nobili nella fase successiva dell'intervento.

Attraverso la via artroscopica antero-mediale, viene introdotta in articolazione una pinza di Kelly, fino a giungere nella gola intercondiloidea, addossandone la punta contro la parete posteriore della capsula, in una posizione il più possibile prossimale. Quando l'apice della pinza è palpabile dalla superficie laterale del femore, subito posteriormente al setto intermuscolare laterale, l'estremità viene spinta attraverso il sottile strato posteriore della capsula articolare fino ad arrivare allo spazio supero-laterale precedentemente preparato.

Sulla punta della pinza di Kelly viene posizionato un filo da sutura, che viene quindi traziionato attraverso la via artroscopica antero-mediale e messo in un'ansa metallica precedentemente inserita nella stessa via. Tirando l'ansa metallica dal lato tibiale, il nodo entra in articolazione ed attraversa il tunnel tibiale, fuoriuscendo dall'incisione sulla superficie antero-mediale della tibia, pronto ad essere caricato con i tendini per trascinarli in articolazione.

I punti sull'estremità libera dei tendini imbastiti vengono legati ad un passafilì, precedentemente introdotto dall'accesso femorale laterale in articolazione e quindi attraverso il tunnel tibiale, che viene ritirato attraverso l'articolazione.

Quando il tendine emerge dall'incisione laterale della gamba, viene creata una breccia sulla superficie femorale laterale, in prossimità della radice del condilo laterale. La procedura consente

una anteriorizzazione dei tendini, consentendone un posizionamento più isometrico.

Verificata la correttezza della posizione, l'impianto viene messo in tensione ed il ginocchio viene mobilizzato in tutto il ROM per controllarne la stabilità.

A questo punto, il trapianto viene messo in tensione con il ginocchio flesso a 90° ed il piede in extrarotazione e vengono utilizzate due cambre metalliche per la fissazione del tendine nella breccia ossea laterale del femore. Le cambre non devono essere impiantate troppo profondamente per evitare di resecare la struttura dei tendini.

Il moncone residuo del graft viene subito tensionato per verificare se è dotato di una lunghezza tale da poter arrivare al tubercolo tibiale del Gerdy sulla superficie tibiale antero-laterale, consentendo in tal caso il confezionamento della plastica laterale extra-articolare.

Quando tale condizione è positivamente soddisfatta, si effettua un'incisione di 1 o 2 cm di cute, sottocute e fascia anterolaterale, immediatamente al di sotto del tubercolo del Gerdy. Viene quindi inserita una piccola pinza di Kelly nel piano sottofasciale presso tale incisione e viene infilata superiormente fino ad emergere presso il condilo femorale laterale, in corrispondenza del quale il neoLCA è già fissato con le due cambre. I fili sull'estremità del moncone tendineo residuo vengono afferrati con l'apice della pinza e trazionati verso il basso, riemergendo in corrispondenza dell'incisione presso il tubercolo del Gerdy. Il tendine viene messo in tensione per controllare l'isometria della plastica laterale extra-articolare in via di ultimazione e la libertà del movimento del ginocchio in flessione-estensione.

Il graft, infine, viene fissato sulla superficie tibiale laterale appena al di sotto del tubercolo del Gerdy tramite una cambra dentata.

In tal modo si ottiene sia una ricostruzione intra-articolare, sia una plastica laterale esterna per l'ottimale correzione dell'instabilità anteriore e rotatoria.

Attraverso l'accesso artroscopico superomediale, occupato durante l'intervento dalla cannula per la soluzione fisiologica di lavaggio, viene inserito un drenaggio intra-articolare, mentre altri drenaggi addizionali vengono inseriti in corrispondenza di ogni ferita chirurgica.

Si procede alla chiusura della soluzione di continuo del tratto ileo-tibiale, confezionando una sutura fasciale in modo da prevenire una trazione eccessiva ed evitare una inclinazione laterale della gamba o la compressione della rotula.

L'incisione fasciale mediale in corrispondenza della zampa d'oca non viene suturata, onde evitare una sindrome compartimentale (Fig. 4.4.3).³⁷

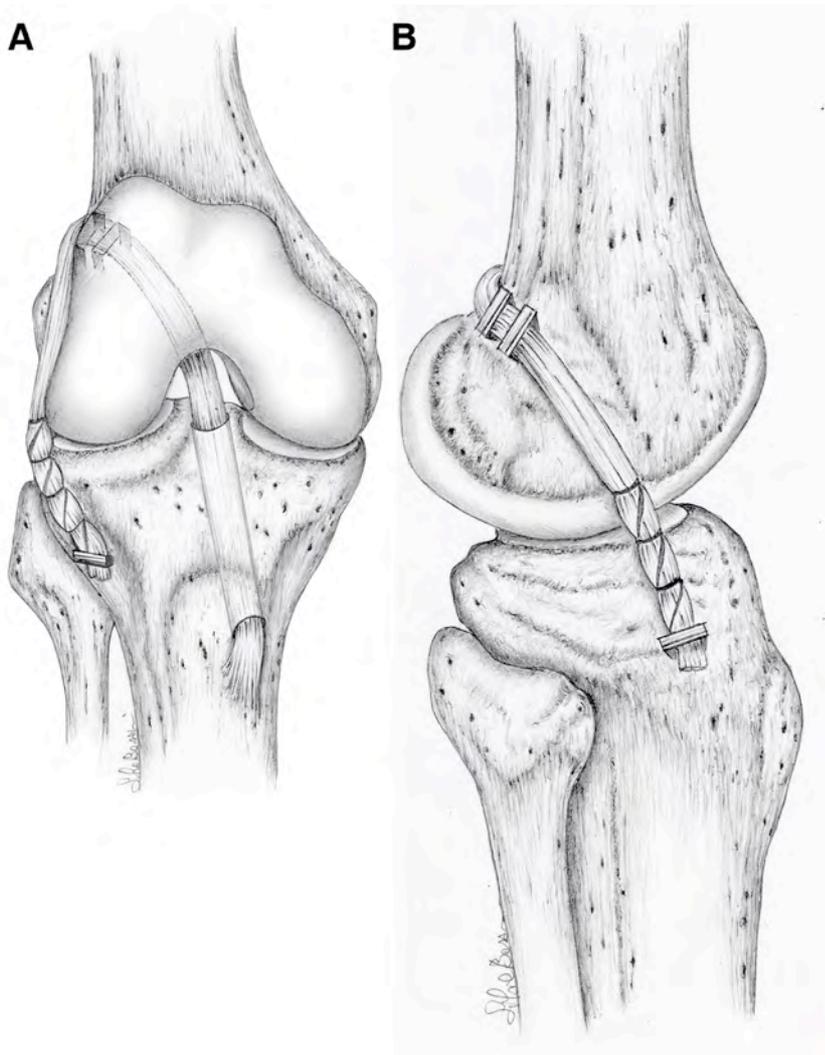


Fig. 4.4.3. Ricostruzione di LCA con tendini semitendinoso e gracile mediante tecnica “over-the-top + plastica esterna”

Il contemporaneo impiego dei tendini del semitendinoso e gracile adottato in tale tecnica ha portato ad un notevole miglioramento della tenuta dell’innesto e pertanto ad inequivocabili vantaggi:

- Possibilità di effettuare un’incisione di dimensioni ridotte per il prelievo dell’innesto;

- Minori complicanze e minore dolore rispetto alla tecnica con tendine rotuleo;
- Biomeccanica del neoLCA estremamente simile a quella del LCA nativo;
- Maggior resistenza alle sollecitazioni in tensione;
- Più rapida vascolarizzazione e neoligamentizzazione dell'innesto;
- Minore morbilità dell'impianto;

Gli svantaggi imputabili alla metodica sono legati alle possibili complicanze, come un eccessivo indebolimento della muscolatura flessoria del ginocchio. Possono, inoltre, incontrarsi delle difficoltà tecniche nell'eseguire la sezione dei tendini e il posizionamento corretto dell'innesto.

Il principale punto di debolezza della tecnica è costituito dalle metodiche di fissazione, incapace di raggiungere i livelli di tenuta delle fissazioni interossee possibili nei graft dotati di bratta ossea, con particolare riferimento al tendine rotuleo.

Per tale motivo, si è sviluppata una nuova tecnica che prevede la preparazione aggiuntiva di un tunnel femorale, sulla base delle nuove strumentazioni per il prelievo dei tendini, che vengono prelevati in una quantità tale da permetterne il raddoppiamento.

5. STUDIO CLINICO A 20 ANNI DI FOLLOW-UP MINIMO DOPO RICOSTRUZIONE DEL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE

5.1. Introduzione

In letteratura, non ci sono prove solide in rapporto al fatto che la ricostruzione del legamento crociato anteriore (LCA) possa prevenire l'artrosi. Inoltre, è stato dimostrato che diversi fattori influenzano l'insorgenza della patologia degenerativa articolare e il risultato clinico finale dopo ricostruzione di LCA. È stato dimostrato come la meniscectomia incrementi l'insorgenza dell'artrosi e la lassità del ginocchio dopo ricostruzione chirurgica del LCA^{12, 26, 55, 57, 62}. Le limitazioni del "range of motion" (ROM) o arco di movimento possono avere effetti negativi sui risultati clinici del follow-up a lungo termine e potrebbero essere responsabili dell'insorgenza precoce di artrosi^{46, 48, 56}. Il tempo trascorso tra la lesione di LCA e la ricostruzione è un altro parametro che potrebbe influenzare il risultato finale in seguito allo stiramento progressivo delle strutture periferiche, che servono come stabilizzatori secondari, assieme al rischio incrementato di lesioni meniscale^{26, 38}. È anche stato dimostrato che una ridotta attività fisica incide su alcuni dei risultati nel follow-up a lungo termine dopo la ricostruzione di LCA⁶.

Negli ultimi 10 anni, è stata invocata una ricostruzione di LCA più anatomica per incrementare il controllo delle rotazioni del ginocchio dopo la lesione di LCA, con l'obiettivo migliorare i risultati clinici e ridurre il tasso di artrosi^{15, 68}. I test in vitro^{16, 18, 50} ed alcuni studi clinici^{25, 29, 30, 42} hanno mostrato risultati migliori per la ricostruzione a doppio fascio di LCA: il rationale di questa tecnica è quello di riuscire a ripristinare la cinematica articolare e perciò migliorare la funzione del ginocchio; potenzialmente ridurre il numero di fallimenti; posticipare, ritardare o prevenire la patologia articolare degenerativa. Di recente, una tecnica di ricostruzione di LCA a singolo fascio anatomico è stata proposta nell'intento di controllare meglio la lassità rotatoria; quest'ultima ha mostrato risultati simili alla ricostruzione con doppio fascio anatomico in particolare se la tecnica viene individualizzata sul singolo paziente²¹.

L'associazione con una ricostruzione extra-articolare è stata proposta tempo fa come mezzo di controllo dell'instabilità rotatoria in ginocchia con LCA deficitari. In teoria, la plastica extra-articolare, grazie alla sua posizione periferica nel braccio di leva, sarebbe due volte più efficace nel controllo delle rotazioni rispetto a quella intra-articolare⁴⁴. Le analisi biomeccaniche in vitro della plastica extra-articolare hanno dimostrato una riduzione dello stress sul graft intra-articolare

(neoLCA) fino al 43%.⁹ Negli ultimi 20 anni, numerosi studi hanno valutato l'efficacia della plastica extra-articolare con risultati contrastanti.^{31, 43, 44, 49, 58} Tuttavia, studi clinici non hanno chiarito l'efficacia e l'importanza dell'aggiunta di una tenodesi extra-articolare nella ricostruzione di LCA. Roth et al,⁴⁹ O'Brien et al,⁴⁴ Strum et al⁵⁸ non hanno mostrato alcun miglioramento nei risultati clinici associando la plastica extra-articolare alla ricostruzione intra-articolare di LCA; al contrario hanno trovato un morbidità incrementata usando la procedura con plastica laterale. D'altro canto, Lerat et al³¹ e Noyes e Barber⁴³ hanno trovato miglioramenti oggettivi nella lassità del ginocchio aggiungendo una plastica laterale extra-articolare alla ricostruzione a singolo fascio di LCA. Il potenziale svantaggio dell'uso della plastica extra-articolare combinata alla ricostruzione articolare è un incremento del rischio chirurgico e del rischio potenziale di stress sul comparto laterale che potrebbe causare cambiamenti degenerativi tardivi. Pertanto, i rischi potenziali, combinati alla difficoltà nel determinare la precisa funzione dell'aggiunta extra-articolare nella ricostruzione del LCA, hanno progressivamente portato ad un suo abbandono specialmente in Nord America. Ci sono pochi studi pubblicati con follow-up a lungo termine sulla tecnica di ricostruzione intra-articolare ed extra-articolare del LCA, e molti di questi hanno indagato tecniche che prevedevano l'utilizzo del tendine rotuleo come graft intra-articolare^{1, 13, 31}. Negli ultimi tre decenni, l'utilizzo dei tendini della zampa d'oca (semitendinoso e gracile) si è diffuso grazie al tasso di complicanze relativamente basso rispetto all'utilizzo del tendine rotuleo.^{46, 48, 63} Alcuni studi hanno riportato ulteriori risultati soddisfacenti di follow-up a lungo termine dopo ricostruzione del LCA con tendini semitendinoso e gracile^{17, 22, 46}

Nel 1993 Il Prof. Marcacci e la sua equipe ha sviluppato una tecnica chirurgica unica che utilizza i tendini della zampa d'oca, lasciando intatta l'inserzione tibiale distale, per la ricostruzione intra-articolare del LCA con tecnica "over-the-top" ed associazione di tenodesi laterale extra-articolare (eseguita con il moncone residuo del graft).³⁷ L'associazione di ricostruzione intra-articolare ed extra-articolare è stata ideata per ridurre la lassità antero-posteriore e rotatoria del ginocchio, migliorare le proprietà di resistenza del graft ed i risultati. Questa tecnica ha dimostrato risultati molto buoni a 5³⁹ e 10³⁶ anni di follow-up minimo. Recentemente, durante i test biomeccanici in vivo eseguiti con il navigatore chirurgico, questa tecnica ha mostrato valori di lassità articolare paragonabili ad una ricostruzione di LCA con doppio fascio anatomico⁶⁷.

Lo scopo di questa tesi è stato quello di analizzare in modo prospettico i risultati clinici e radiografici della ricostruzione LCA con tecnica "over-the-top" associata a tenodesi laterale extra-articolare a 20 anni di follow-up minimo, valutando la percentuale di insorgenza di artrosi e paragonando i risultati con quelli a 5 anni e a 10 anni di follow-up minimo.

L'ipotesi di partenza era che la meniscectomia fosse il principale fattore determinante l'insorgenza

di artrosi a lunghissimo termine dopo ricostruzione di LCA. Per questa ragione abbiamo effettuato una sotto-analisi, comparando pazienti sottoposti a ricostruzione di LCA + meniscectomia con pazienti sottoposti alla sola ricostruzione di LCA a lunghissimo termine.

5.2. Materiali e Metodi

Tra il 1993 e 1995 sono stati arruolati, in questo studio prospettico, 60 pazienti consecutivi (45 maschi, 15 femmine), sottoposti ad intervento di ricostruzione intra-articolare di LCA con tendini autologhi (gracile e semitendinoso) e associata plastica extra-articolare, operati da un chirurgo esperto (M.M.).

5.2.1. Criteri d'inclusione ed esclusione

I criteri di inclusioni dello studio sono stati (1) età compresa tra 15 e 50 anni, (2) ginocchio controlaterale normale senza antecedente traumatologico o chirurgico, (3) assenza di lesione osteocondrale maggiore di 3cm² e (4) una partecipazione in sport di contatto a livello professionistico o amatoriale.

I criteri di esclusione includevano (1) una concomitante lesione del legamento crociato posteriore dello stesso ginocchio, (2) condropatia superiore al grado 1 di Outerbridge al momento dell'intervento, (3) meniscectomia del ginocchio affetto superiore al 50% del menisco nativo⁶ al momento della ricostruzione del LCA, (4) malformazioni non corrette o mal allineamento assiale degli arti inferiori, (5) infezioni locali o sistemiche, (6) storia di reazione anafilattiche, (7) somministrazione per via sistematica di corticosteroidi o sostanza immunosoppressiva entro 30 giorni dall'intervento, (8) evidenza di osteonecrosi nel ginocchio coinvolto, (9) storia di patologie autoimmune, (10) Anomalie neurologiche oppure condizioni che potrebbe precludere l'adesione del paziente al programma riabilitativo e (11) un BMI>30 kg/m² di base oppure durante il follow-up.

5.2.2. Caratteristiche demografiche

A 5 anni di follow-up minimo (6,4 medio), 50 pazienti sono stati valutati per lo studio. A 10 anni di follow-up minimo (11 anni medio), sono stati valutati 4 nuovi pazienti, raggiungendo quota 54. I risultati di questa analisi son stati pubblicati in uno articolo.³⁶

A 20 anni di follow-up minimo (24 anni in media) 52 pazienti (M/F: 41/11; età media: 51.5±7.6

anni) sono stati valutati: 29 di questi (M/F:22/7; età media al follow-up 48 ± 7 anni) sono stati esaminati con esami clinici e strumentali radiografici; altri 23 pazienti (M/F:19/4 età media al follow-up 48.3 ± 6.8 anni) sono stati esaminati telefonicamente (per valutare il Tegner score soggettivo e registrare eventuali complicanze /ricidiva/ intervento di revisione). In 30 pazienti è stato interessato il ginocchio destro, in 22 il ginocchio sinistro. Ventitrè pazienti sono stati operati in acuto (entro 3 settimane dalla lesione), mentre 27 sono stati operati per lesioni croniche.

Etica

Il comitato etico dell'Istituto Ortopedico Rizzoli ha approvato il nostro studio prospettico.

5.2.3, Tecnica chirurgica

Tutti gli interventi sono stati svolti da un chirurgo esperto (M.M.), usando la tecnica chirurgica descritta in precedenza.³⁷ Il graft utilizzato era costituito dai tendini dei muscoli gracile e semitendinoso autologhi omolaterali suturati insieme a formare un unico innesto. L'inserzione tendinea sulla tibia è stata lasciata intatta. I tendini sono stati passati attraverso il tunnel tibiale e portati in posizione "over-the-top" sul femore. Nell'intento di pretensionare il graft, sono stati eseguiti 10 cicli di estensioni-flessioni del ginocchio. Con un osteotomo è stato creato un solco sulla parte laterale del condilo femorale laterale per decorticare l'osso ed aiutare l'integrazione del graft nel femore. Con il ginocchio flesso a 90° , dopo aver applicato un'extra-rotazione della tibia e un cassetto posteriore, i tendini sono stati fissati sulla corticale femorale con due cambre in titanio. Il moncone residuo del graft è stato passato sotto la banda ileo-tibiale e fissato, con il ginocchio flesso a 90° , con una cambra in titanio sul tubercolo di Gerdy per realizzare la plastica extra-articolare (Fig 5.1)

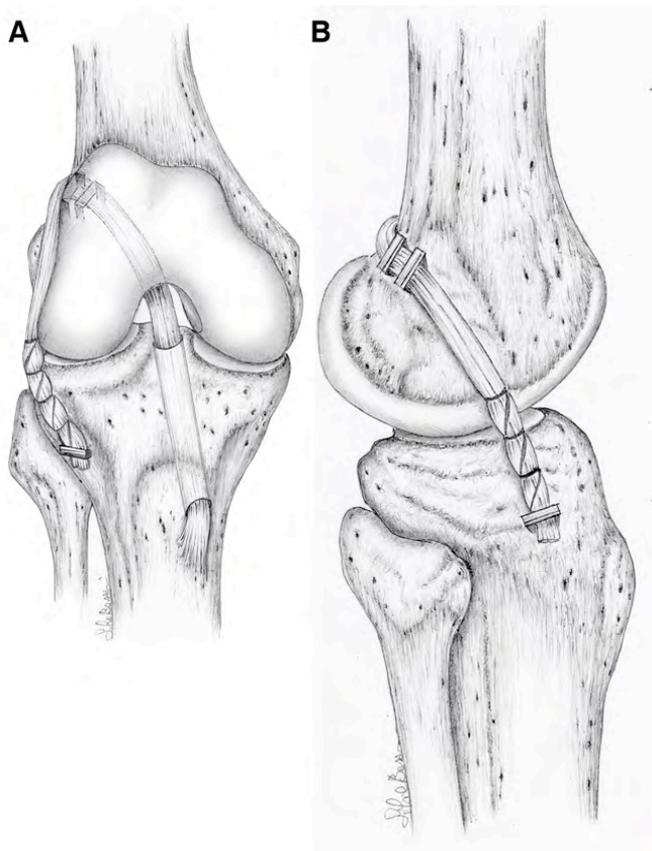


Fig. 5.1. – Tecnica chirurgica di ricostruzione LCA con tendini semitendinoso e gracile utilizzata nel presente studio.

5.2.4. Protocollo Riabilitativo

Tutti i pazienti sono stati sottoposti al medesimo programma riabilitativo post operatorio. Non è stato usato un tutore nel post operatorio. Il giorno dopo l'intervento sono stati iniziati esercizi per il recupero del ROM, esercizi attivi di rinforzo del quadricipite, sollevamenti a gamba estesa e gli esercizi di stretching dei flessori della coscia. È stata eseguita una stimolazione funzionale muscolare per 2 ore, 3 volte al giorno per 4 settimane. Ai pazienti è stato concesso un carico parziale sulla gamba per le prime due settimane. A seguire, dalla terza giornata post-operatoria sono stati iniziati esercizi di estensione passiva completa e flessione attiva da 0 a 120 gradi. Dalla terza settimana è stato concesso il carico completo. A 4 settimane dopo l'intervento sono stati introdotti cyclette, estensione attiva del ginocchio con pesi e mini-squats. Tutti gli esercizi sono stati eseguiti sotto la guida di un fisioterapista con un programma standard che assicura l'adesione del paziente al programma riabilitativo. Gli esercizi propriocettivi sono stati introdotti dopo 4 settimane, la corsa dopo 2 mesi e l'attività sportiva dopo 4 mesi. Al paziente è stato concesso il ritorno all'attività sportiva senza restrizioni al recupero del trofismo completo della gamba operata o comunque con

un'atrofia residua minore di 1 cm rispetto al controlaterale, con una capacità di salto su una gamba superiore al 90% del controlaterale. Queste misurazioni e la decisione sul ritorno alla pratica sportiva sono state prese dal chirurgo e dal fisioterapista.

5.2.5. Valutazione dei pazienti

I pazienti sono stati valutati pre-operatoriamente, al follow-up minimo di 5, 10 e 20 anni. La valutazione soggettiva è stata realizzata utilizzando il Lysholm score ai diversi follow-up³⁴; il ritorno all'attività sportiva rispetto ai livelli raggiunti prima alla lesione è stato valutato con il Tegner score⁵⁹; il tipo e il livello di attività sportiva praticata sono stati documentati nell'ultimo follow-up. L'analisi KOOS soggettiva della funzionalità del ginocchio è stata presa in considerazione nell'ultimo follow up⁴⁰ Gli esami clinici obiettivi sono stati svolti seguendo il modello dell'IKDC²⁰ (international knee documentation committee), comprendente la valutazione del range di movimento, del Lachman test e del Pivot shift test.²⁰

La lassità antero-posteriore del ginocchio è stata valutata ai diversi follow-up con l'artrometro KT-2000 (MEDmetric Corp, San Diego, California) misurando la differenza in mm di spostamento antero-posteriore tra il ginocchio operato e quello sano contro-laterale durante il test di Lachman eseguito a forza manuale massima. Nell'ultimo follow-up sono state valutate le differenze side-to-side di accelerazione tibiale misurata durante esecuzione del pivot shift mediante sensori inerziali (KiRA, Orthokey LTD, Lewes, DE - USA).

Sono state eseguite su tutti i pazienti durante i diversi follow-up delle radiografie: una radiografia panoramica degli arti inferiori sotto-carico in proiezione antero-posteriore, una a 30 gradi di flessione in proiezione laterale del ginocchio ed infine una radiografia dell'articolazione femoro-rotulea in proiezione assiale. Su queste radiografie è stata valutata la progressione dell'artrosi usando lo score di Kellgren-Lawrence²⁸ per l'articolazione femoro-tibiale e lo score di Iwano²⁴ per l'articolazione femoro-rotulea. Radiografie digitali bilaterali in semi flessione postero-anteriore e sotto carico sono state eseguite durante l'ultimo follow-up per misurare comparativamente, secondo Shelbourne et al,⁵³ la riduzione della linea interarticolare. La valutazione del posizionamento del tunnel tibiale sono state fatte secondo il metodo Good et al,¹⁹ analizzando la posizione dell'orifizio interno rispetto alla depressione sagittale dell'emipiatto tibiale mediale nella cartilagine articolare. Il diametro del tunnel tibiale è stato misurato 1 cm distalmente all'inserzione dell'LCA sulle radiografie in proiezioni antero-posteriore e laterale¹⁰. Le complicanze, le recidive e i re-interventi sono stati registrati durante l'intero periodo di follow-up. Il tasso complessivo di fallimenti (IKDC obiettivi, KT-2000 e recidive), secondo Crawford et al,⁵ è stato calcolato nell'ultimo follow-up.

A 20 anni di follow-up minimo 29 pazienti su 52 sono stati disponibili per le valutazioni prospettiche strumentali, radiografiche e cliniche; 23 pazienti su 52 sono stati valutati telefonicamente con il Tegner score, indagando eventuali complicanze, recidive e re-interventi.

5.2.6. Analisi statistica:

L'analisi statistica è stata eseguita con il programma MedCalc. Le variabili continue sono state espresse come media e deviazione standard, mentre quelle nominali come percentuale e numero assoluto rispetto al totale. Solamente il Tegner score è stato espresso come mediana e range interquartile. Le comparazioni statistiche per le variabili continue sono state eseguite con l'"independent t-test" e con il "paired t-test" nel caso di comparazione rispettivamente di due gruppi, o del medesimo gruppo a diversi follow-up. Analogamente, la comparazione statistica del Tegner score è stata eseguita con il test di Wilcoxon o con il Mann-Whitney. La comparazione delle variabili nominali è stata eseguita con il "chi-square test".

Nel conteggio dei valori medi di side-to-difference KT-1000 e del "joint-space narrowing" sono stati esclusi i pazienti con lesione del LCA controlaterale.

L'analisi multivariata è stata eseguita con metodo "stepwise", elaborando diversi modelli che hanno utilizzato i vari score clinici come variabile dipendente e Kellgren-Lawrence, Iwano, età, sesso, side-to-side difference al KT-1000 e al Kira, stato del menisco, come variabili indipendenti.

La significatività statistica è stata considerata con $p < 0.05$.

5.3. Risultati.

Valutazione clinica

Gli scores soggettivi di Lysholm e Tegner sono riportati nella Tab. 1. All'ultimo follow-up 82.6% di pazienti erano tornati a praticare attività sportiva (dettagli nella Tab. 2). Durante il follow-up ci si sono stati delle variazioni statisticamente significative con decremento del Tegner score da 7 (range 6-8) a 5 anni follow-up fino a 4 (range 3-5) ($P < 0.0001$) a 10 anni di follow-up. E' stato altresì registrato un decremento del Lysholm score da 96.1 ± 7.3 a 10 anni di follow-up fino a 85.7 ± 14.6 ($P = 0.0003$) a 20 anni di follow-up.

TABLE 1
Subjective Lysholm and Tegner clinical scores ^a

	Pre-Injury	5-year FU	10-year FU	20-year FU	P (pre-injury vs 5y FU)	P (5y vs 10y FU)	P (10y vs 20y FU)
Lysholm (n=29)							
mean ± SD	NA	95.9±6.9	96.1±7.3	85.7±14.6	NA	=0.2777	=0.0003*
Excellent		24 (86%)	24 (86%)	13 (45%)			
Good		3 (10%)	3 (10%)	5 (17%)			
Fair		2 (7%)	2 (7%)	6 (21%)			
Poor		0 (0%)	0 (0%)	5 (17%)			
Tegner (n=52)							
median (range)	7 (6-8)	7 (6-8)	4 (3-5)	4 (3-4)	=0.9341	<0.0001*	=0.0641

^a n, number of patients; SD, standard deviation; FU, follow-up; y, year; NA, not available.

* statistically significant differences ($P < .05$)

Tab. 1 – Valutazione clinica soggettiva.

TABLE 2
Sport Activity (n=52)^a

Type of Sport	Pre-injury		20-year FU	
	n (%)	Rec/Pro	n (%)	Rec/Pro
Soccer	16 (55.2%)	7/9	2 (6.9%)	2/0
Basketball	3 (10.4%)	2/1	0 (0%)	0/0
Rugby	1 (3.4%)	0/1	0 (0%)	0/0
Tennis	2 (6.9%)	2/0	1 (3.4%)	1/0
Volleyball	2 (6.9%)	1/1	0 (0%)	0/0
Skiing	3 (10.4%)	3/0	1 (3.4%)	1/0
Running\Jogging	0 (0%)	0/0	5 (17.2%)	4/1
Track and field	1 (3.4%)	0/1	3 (10.4%)	3/0
Cycling	1 (3.4%)	1/0	3 (10.4%)	3/0
Yoga\Pilates	0 (0%)	0/0	3 (10.4%)	3/0
Gym	0 (0%)	0/0	3 (10.4%)	3/0
Swimming	0 (0%)	0/0	4 (13.8%)	4/0
High-impact	20 (70%)	9/11	2 (6.9%)	2/0
Moderate-impact	8 (27.6%)	6/2	10 (34.5%)	9/1
Low-impact	1 (3.4%)	1/0	13 (44.8%)	13/0
Total sport	29 (100%)	16/13	25 (86.2%)	24/1
No sport	0 (0%)	0/0	4 (13.8%)	4/0

^a n, number of patients; FU, follow-up; Rec, recreational; Pro, Professional.

Tab. 1 – Valutazione attività sportiva.

Lo score del KOOS soggettivo all'ultimo follow-up era 83.7 ± 11.6 (Fig. 5.2 per sotto-scale del KOOS).

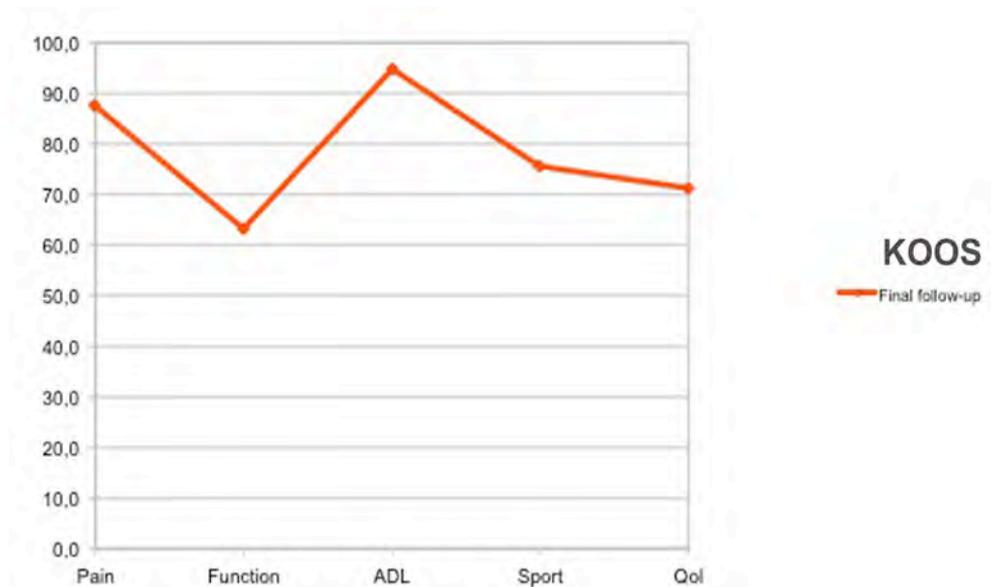


Fig. 5.2. – Valutazione clinica soggettiva KOOS.

Lo score clinico oggettivo dell'IKDC²⁰ ha dimostrato buoni o eccellenti risultati (A e B) nell' 86% dei pazienti all'ultimo follow-up, senza differenze significative rispetto ai risultati ottenuti nei follow-up a 5 e 10 anni (dettagli nella Tab. 3 e Fig. 5.3).

TABLE 3
Objective IKDC clinical score (n=29)^a

IKDC category	5-year FU	10-year FU	20-year FU	P (5y vs 10y FU)	P (10y vs 20y FU)
A	11 (38%)	10 (34%)	9 (31%)	=0.7470	=0.5328
B	14 (48%)	15 (52%)	16 (55%)		
C	3 (10%)	4 (14%)	2 (7%)		
D	1 (4%)	0 (0%)	2 (7%)		

^a n, number of patients; FU, follow-up; y, year.

Tab. 1 – Valutazione clinica oggettiva IKDC.

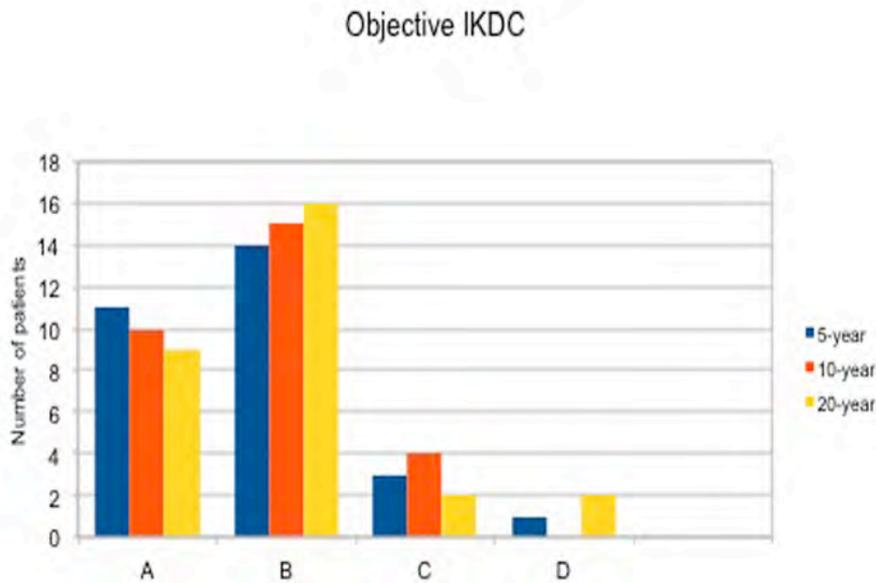


Fig. 5.3. – Valutazione clinica oggettiva IKDC.

Valutazione del Range di movimento (ROM)

Il deficit di estensione è stato misurato come perdita di estensione nell'arto coinvolto rispetto all'arto controlaterale sano. A 5 anni di follow-up 48 pazienti su 50 (96%) avevano riacquisito l'estensione completa del ginocchio, 50 pazienti su 54 (92%) a 10 anni di follow-up mentre a 20 anni di follow-up minimo 26 pazienti su 29 (90%) hanno riacquisito l'estensione completa del ginocchio operato. Una perdita di flessione superiore a 5 gradi è stata trovata in 1 paziente su 50 (2%) a 5 anni, 6 pazienti su 54 a 10 anni (11%) e 4 pazienti su 29 (14%) a 20 anni di follow-up. Questi pazienti con perdita di flessione hanno valori di IKDC C o D e i più bassi valori di score soggettivi.

Valutazioni manuale di lassità

I tre pazienti (6%) che avevano dimostrato positività al test di Lachman ed al del pivot shift test a 5 anni di follow-up hanno mantenuto lo stessa obiettività a 10 anni di follow-up. Dopo 20 anni di follow-up minimo 3 pazienti su 29 (10%) avevano un test manuale di lachman e un pivot shift test positivo.

Valutazione strumentale di lassità

La valutazione prospettica della lassità antero-posteriore con il KT-2000 è riportata nella Tab. 4. Solamente in 4 pazienti su 29 (14%) si è evidenziato al follow-up finale una differenza side-to-side al manual maximum con KT-2000 >5mm. Il sistema KiRA ha documentato una positività anomala del pivot shift (differenza side-to-side >0.9m/s² in accelerazione tibiale) in 3 pazienti (3 pazienti sui 29 valutati, 10%) e in media una differenza side-to-side in accelerazione tibiale di 0.48±1.05m/s² al follow-up conclusivo.

TABLE 4
Anteroposterior laxity evaluation (n=26)#^a

KT-2000 Manual maximum	5-year FU	10-year FU	20-year FU	P (5y vs 10y FU)	P (10y vs 20y FU)
mean±SD	1.3±0.8	1.8±1.7	1.7±2.5	=0.3458	=0.6422
<3 mm	19 (73%)	18 (69%)	19 (73%)	=0.9427	=0.7309
3-5 mm	5 (15%)	6 (23%)	4 (15%)		
>5 mm	2 (8%)	2 (8%)	3 (12%)		

3 patients excluded from KT-1000 evaluation due to contralateral ACL injury

^a n, number of patients; SD, standard deviation; FU, follow-up; y, year.

Tab. 4. – Valutazione strumentale KT-2000.

Valutazione radiografica

I risultati radiografici sono globalmente riassunti nella Tab. 5. La valutazione radiografica (26 pazienti con ginocchio controlaterale sano) ha dimostrato una differenza significativa tra lo spazio interarticolare mediale fra il ginocchio operato e il ginocchio sano in pazienti con concomitante meniscectomia mediale (n=8; 3.2±0.6 Vs 5.0±1.8mm; P=0.0114). Non è stata rilevata nessun differenza statistica per il comparto articolare laterale.

TABLE 5
Radiographic measurements at 20-year minimum follow-up (n=26)^a

<i>Joint space evaluation</i>	Indexed knee (mean±SD mm)	Healthy knee (mean±SD mm)	SSD	P
Medial joint space (n=26)	3.6±1.1	4.5±1.4	-0.9±1.6	=.0485*
Intact medial meniscus (n=18)	3.9±1.1	4.3±1.2	-0.5±1.2	=.2240
Medial meniscectomy (n=8)	3.2±0.6	5.0±1.8	-1.8±1.9	=.0114*
SSD Medial meniscectomy vs Intact				=.0341*
Lateral joint space (n=26)	5.3±1.5	5.1±1.2	0.2±1.7	=.5797
Intact lateral meniscus (n=18)	5.2±1.6	5.1±1.1	0.2±1.7	=.7121
Lateral meniscectomy (n=8)	5.5±1.2	5.3±1.2	0.3±1.9	=.6747
SSD Lateral meniscectomy vs Intact				=.9257
Medial vs Lateral joint space difference				
Total (n=26)	-1.7±1.6	-0.6±1.8		=.0223*
Both intact menisci (n=13)	-1.6±1.7	-0.8±1.4		=.1756
<i>ACL reconstructed knee osteoarthritis</i>	Kellgren-Lawrence^b	Iwano^c		
Grade 0	1 (3.5%)	3 (10.4%)		
Grade I	9 (31%)	23 (79.3%)		
Grade II	14 (48.2%)	3 (10.4%)		
Grade III	5 (17.3%)	0 (0%)		
Grade IV	0 (0%)	0 (0%)		

^a n, number of patients; SD, standard deviation; SSD, side-to-side difference.

^b Kellgren-Lawrence classification for femorotibial osteoarthritis.

^c Iwano classification for patellofemoral osteoarthritis.

* statistically significant differences ($P < .05$)

Tab. 5 – Valutazione Radiografica.

Complicanze, interventi successivi e tasso di fallimenti

Nel post-operatorio 4 pazienti hanno lamentato parestesie nel territorio di distribuzione del nervo safeno. La rimozione delle cambre è stata necessaria in 8 pazienti (13%) prima del follow-up a 10 anni. Solitamente le cambre sintomatiche sono state quelle femorali; in ogni caso, le cambre sintomatiche, sia femorali sia tibiali, sono state tutte rimosse. Al follow-up minimo di 10 anni, 3 pazienti hanno subito una meniscectomia parziale mediale in artroscopica per lesione del menisco mediale. Successivamente, nel periodo tra i 10 anni e i 20 anni di follow-up, uno di questi pazienti ha subito un osteotomia tibiale prossimale valgizzante in minus per l'artrosi mono compartimentale sviluppatasi dopo la meniscectomia.

Uno dei pazienti (2%) intervistati telefonicamente ha avuto una ri-rottura 6 mesi dopo la ricostruzione ed è stato trattato con ricostruzione con tendine LCA allograft e tenodesi extra-articolare. Questo paziente non è stato incluso nello studio perché non presente nei precedenti

follow-up intermedi. 3 pazienti su 52 (5.8%) hanno avuto una lesione dell'LCA controlaterale; questi ultimi sono stati trattati tramite ricostruzione over-the-top con tendini hamstring controlaterali autologhi e tenodesi extra-articolare (sono stati esclusi dalle valutazione KT-2000). Il tasso complessivo di fallimenti (objective IKDC, KT-2000 e ri-rottura), secondo Crawford et al,⁵ è stato di 15.7% (4 fallimenti clinici su 29 e 1 ri-rottura su 52) al follow-up conclusivo.

5.4. Discussione

Il risultato più rilevante di questo studio è stata una significativa minor incidenza di segni radiologici di artrosi nel sottogruppo di pazienti con ricostruzione di LCA senza meniscectomia. L'ipotesi iniziale di questo studio è stata pertanto confermata. La meniscectomia è stata la variabile che ha maggiormente influenzato a lungo termine l'insorgenza di artrosi dopo ricostruzione di LCA.

All'attuale stato dell'arte in letteratura solo due articoli riportano risultati a 20 anni di follow-up dopo ricostruzione del LCA, ma entrambi hanno utilizzato ricostruzioni di LCA con tendine rotuleo autologo^{45, 47} e solamente uno dei due riporta risultati di ricostruzione di LCA associata a tenodesi extra-articolare⁴⁵. Il nostro studio è il primo a riportare gli effetti della ricostruzione di LCA con tecnica over-the-top più tenodesi extra-articolare eseguita con tendini gracile e semitendinoso autologhi, con almeno 20 anni di follow-up. I risultati dei test manuali e strumentali di lassità, realizzati durante il nostro studio dopo almeno 20 anni di follow-up hanno mostrato un ottima percentuale di successo con percentuale di 84.3% di ginocchia normali o quasi normali all'IKDC rating system. Un peggioramento dei risultati della motilità articolare (ROM) ed un aumento di lassità è stato evidenziato rispetto ai precedenti follow-up intermedi, non risultando però statisticamente significativo. I risultati ottenuti nel nostro studio si sono rivelati migliori di quelli osservati con altra tecnica intra-articolare più extra-articolare nel follow-up a lungo termine da Pernin et al.⁴⁵ Questo è probabilmente dovuto al diverso tipo di innesto utilizzato (tendine rotuleo) e all'applicazione di vecchi protocolli riabilitativi molto restrittivi del ROM. Il calo di attività fisica notato nei nostri pazienti al follow-up dopo 10 anni si è mantenuto costante a 20 anni di follow-up. Secondo le ricerche di Daniel et al⁶ questo calo a lungo termine è dovuto verosimilmente a variazioni del stile di vita e diminuzione dell'attività sportiva piuttosto che a reali problemi al ginocchio.

Il rischio d'insorgenza di artrosi e di deformazione secondaria in varo del ginocchio in seguito ad un eccessivo restringimento del comparto laterale è stato considerato il principale limite della ricostruzione combinata, come suggerito da alcuni autori^{7, 45}; questo ha spinto molti chirurghi a

preferire il tendine rotuleo come innesto ed un'immobilizzazione post-operatoria prolungata. I risultati del nostro studio smentiscono questa teoria. Le valutazioni radiologiche dopo 5 e 10 anni di follow-up sono in accordo con i risultati ottenuti da Strum et al⁵⁸ E Ferretti et al.¹³ Questi autori hanno dimostrato in studi controllati che non ci sono differenze nello sviluppo di artrosi tra la sola ricostruzione di LCA intra-articolare e quella combinata a tenodesi extra-articolare dopo un follow-up rispettivamente a medio e lungo termine. Inoltre, a un follow-up minimo di 20 anni dopo l'intervento, non sono stati rilevati segni radiologici significativi di artrosi del comparto laterale nei pazienti che hanno eseguiti una tenodesi laterale extra-articolare. Questi risultati sono in contrasto con quelli ottenuti da Pernin et al.⁴⁵, che hanno evidenziato un più elevato livello di artrosi post-operatoria rispetto alla nostra coorte ad un follow-up a lungo termine. Il maggiore sviluppo di artrosi potrebbe essere ricondotto all'utilizzo di vecchi protocolli riabilitativi che prevedevano un'immobilizzazione fino a 2 mesi dopo l'intervento chirurgico. Un'altra causa potrebbe essere l'impiego di una tecnica di tenodesi extra-articolare più vincolante, come per esempio la tecnica di Lemaire. Per tutti questi motivi, oggi, l'idea che un'eccessiva tensione laterale sia responsabile dell'evoluzione artrosica del comparto articolare laterale non è più sostenuta da risultati clinici.

Questo studio ha confermato che la ricostruzione del LCA insieme alla concomitante meniscectomia mediale incrementa fortemente il rischio di sviluppo di artrosi a lungo termine (20 anni di follow-up minimo); questo va in accordo con quanto rilevato da Claes et al⁴ (10 anni di follow-up minimo), da Pernin et al⁴⁵ E da Risberg et al⁴⁷ (20 anni di follow-up minimo) con tecniche di ricostruzione diverse.

Sanders et al⁵¹ hanno recentemente condotto uno studio retrospettivo che dimostra che i pazienti che hanno subito una ricostruzione del LCA hanno rischio minore di lesione meniscale secondaria, di successiva artrosi sintomatica e di necessità di protesi totale di ginocchio rispetto ai pazienti trattati conservativamente dopo la lesione di LCA. Inoltre, hanno dimostrato che una ricostruzione precoce del LCA riduce significativamente il rischio di conseguente lesione meniscale e artrosi paragonato ad un intervento di ricostruzione di LCA ritardato. Quindi, una ricostruzione precoce di LCA sembra effettivamente prevenire l'artrosi secondaria prevenendo l'incidenza di nuove lesione meniscali. La parte successiva del nostro studio (in corso) sarà di esaminare questo argomento in uno studio randomizzato controllato prospettico, confrontando tra di loro tre tecniche di ricostruzione di LCA (tecniche over-the-top con tenodesi laterale extra articolare, singolo fascio anatomico e doppio fascio anatomico). Lo scopo sarà di evidenziare se una di queste tecniche è superiore nel prevenire o posticipare l'insorgenza di artrosi rispetto alle altre. Questa parte dello studio sarà condotta analizzando lo stato della cartilagine articolare prima e dopo la ricostruzione di

LCA mediante immagini di risonanza magnetica T₂-pesate, allo stato dell'arte la tecnica non invasiva in grado di rilevare degenerazione articolare anche a 2 anni di follow-up.

Questo studio presenta alcune limitazioni.

Lo studio presenta il limite dell'assenza di un gruppo di controllo con pazienti non operati. La limitazione accomuna molti studi pubblicati sulla ricostruzione di ACL: la creazione di un gruppo di controllo non è possibile per ragioni etiche.

Un'altra limitazione è stata l'assenza di gruppo di controllo con pazienti con ricostruzione del LCA non associata a tenodesi extra-articolare. Questo non è stato possibile perché lo studio non includeva un gruppo di controllo. Come descritto sopra, la parte successiva del nostro studio (in corso) valuterà lo sviluppo di artrosi dopo ricostruzione di LCA in uno studio randomizzato controllato prospettico, confrontando tre diverse tecniche di ricostruzione di LCA.

6. CONCLUSIONI

La tecnica di ricostruzione del LCA over-the-top combinata a tenodesi laterale extra-articolare ha dimostrato un tasso di successo di 84.3% a 20 anni di follow-up minimo. La plastica laterale extra-articolare associata alla ricostruzione di LCA non ha generato artrosi tibio-femorale laterale o femoro-rotulea. Il fattore determinante nell'incremento dell'artrosi è stato la meniscectomia.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Aglietti P, Buzzi R, D'Andria S, Zaccherotti G. Long-term study of anterior cruciate ligament reconstruction for chronic instability using the central one-third patellar tendon and a lateral extraarticular tenodesis. *Am J Sports Med.* 1992;20(1):38-45.
2. Alm A, Gillquist J. Reconstruction of the anterior cruciate ligament by using the medial third of the patellar ligament. Treatment and results. *Acta Chir Scand.* 1974;140(4):289-296.
3. Berruto M, Uboldi F, Gala L, Marelli B, Albisetti W. Is triaxial accelerometer reliable in the evaluation and grading of knee pivot-shift phenomenon? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(4):981-985.
4. Claes S, Hermie L, Verdonk R, Bellemans J, Verdonk P. Is osteoarthritis an inevitable consequence of anterior cruciate ligament reconstruction? A meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(9):1967-1976.
5. Crawford SN, Waterman BR, Lubowitz JH. Long-term failure of anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2013;29(9):1566-1571.
6. Daniel DM, Stone ML, Dobson BE, Fithian DC, Rossman DJ, Kaufman KR. Fate of the ACL-injured patient. A prospective outcome study. *Am J Sports Med.* 1994;22(5):632-644.
7. Draganich LF, Reider B, Ling M, Samuelson M. An in vitro study of an intraarticular and extraarticular reconstruction in the anterior cruciate ligament deficient knee. *Am J Sports Med.* 1990;18(3):262-266.
8. Edwards A, Bull AM, Amis AA. The attachments of the anteromedial and posterolateral fibre bundles of the anterior cruciate ligament: Part 1: tibial attachment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007;15(12):1414-1421.
9. Engebretsen L, Lew WD, Lewis JL, Hunter RE. The effect of an iliotibial tenodesis on intraarticular graft forces and knee joint motion. *Am J Sports Med.* 1990;18(2):169-176.
10. Fahey M, Indelicato PA. Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament replacement. *Am J Sports Med.* 1994;22(3):410-414.
11. Fairbank TJ. Knee joint changes after meniscectomy. *J Bone Joint Surg Br.* 1948;30B(4):664-670.
12. Ferretti A, Conteduca F, De Carli A, Fontana M, Mariani PP. Osteoarthritis of the knee after ACL reconstruction. *Int Orthop.* 1991;15(4):367-371.
13. Ferretti A, Monaco E, Ponzio A, et al. Combined Intra-articular and Extra-articular Reconstruction in Anterior Cruciate Ligament Deficient Knee: 25 Years Later. *Arthroscopy.* 2016.
14. France EP, Daniels AU, Goble EM, Dunn HK. Simultaneous quantitation of knee ligament forces. *J Biomech.* 1983;16(8):553-564.
15. Fu FH, Shen W, Starman JS, Okeke N, Irrgang JJ. Primary anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a preliminary 2-year prospective study. *Am J Sports Med.* 2008;36(7):1263-1274.
16. Fukuda Y, Woo SL, Loh JC, et al. A quantitative analysis of valgus torque on the ACL: a human cadaveric study. *J Orthop Res.* 2003;21(6):1107-1112.
17. Gabler CM, Jacobs CA, Howard JS, Mattacola CG, Johnson DL. Comparison of Graft Failure Rate Between Autografts Placed via an Anatomic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Technique: A Systematic Review, Meta-analysis, and Meta-regression. *Am J Sports Med.* 2016;44(4):1069-1079.
18. Gabriel MT, Wong EK, Woo SL, Yagi M, Debski RE. Distribution of in situ forces in the anterior cruciate ligament in response to rotatory loads. *J Orthop Res.* 2004;22(1):85-89.

19. Good L, Odensten M, Gillquist J. Precision in reconstruction of the anterior cruciate ligament. A new positioning device compared with hand drilling. *Acta Orthop Scand*. 1987;58(6):658-661.
20. Hefti F, Muller W, Jakob RP, Staubli HU. Evaluation of knee ligament injuries with the IKDC form. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 1993;1(3-4):226-234.
21. Hussein M, van Eck CF, Cretnik A, Dinevski D, Fu FH. Individualized anterior cruciate ligament surgery: a prospective study comparing anatomic single- and double-bundle reconstruction. *Am J Sports Med*. 2012;40(8):1781-1788.
22. Ibrahim SA, Al-Kussary IM, Al-Misfer AR, Al-Mutairi HQ, Ghafar SA, El Noor TA. Clinical evaluation of arthroscopically assisted anterior cruciate ligament reconstruction: patellar tendon versus gracilis and semitendinosus autograft. *Arthroscopy*. 2005;21(4):412-417.
23. Insall JN. *Insall & Scott Surgery of the Knee*. IV ed. Philadelphia; 2006.
24. Iwano T, Kurosawa H, Tokuyama H, Hoshikawa Y. Roentgenographic and clinical findings of patellofemoral osteoarthritis. With special reference to its relationship to femorotibial osteoarthritis and etiologic factors. *Clin Orthop Relat Res*. 1990(252):190-197.
25. Jarvela T. Double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized clinical study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2007;15(5):500-507.
26. Jomha NM, Borton DC, Clingeleffer AJ, Pinczewski LA. Long-term osteoarthritic changes in anterior cruciate ligament reconstructed knees. *Clin Orthop Relat Res*. 1999(358):188-193.
27. Kapandji IA. Il ginocchio. In: Maloine-Monduzzi, ed. *Kapandji: Fisiologia articolare*. Vol 2. 5° edizione italiana ed. Parigi; 2004:74-139; 154-155.
28. Kellgren JH, Lawrence JS. Radiological assessment of osteo-arthritis. *Ann Rheum Dis*. 1957;16(4):494-502.
29. Kondo E, Yasuda K, Azuma H, Tanabe Y, Yagi T. Prospective clinical comparisons of anatomic double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction procedures in 328 consecutive patients. *Am J Sports Med*. 2008;36(9):1675-1687.
30. Lee S, Kim H, Jang J, Seong SC, Lee MC. Comparison of anterior and rotatory laxity using navigation between single- and double-bundle ACL reconstruction: prospective randomized trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2012;20(4):752-761.
31. Lerat JL, Chotel F, Besse JL, et al. [The results after 10-16 years of the treatment of chronic anterior laxity of the knee using reconstruction of the anterior cruciate ligament with a patellar tendon graft combined with an external extra-articular reconstruction]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 1998;84(8):712-727.
32. Lopomo N, Signorelli C, Bonanzinga T, Marcheggiani Muccioli GM, Visani A, Zaffagnini S. Quantitative assessment of pivot-shift using inertial sensors. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2012;20(4):713-717.
33. Lopomo N, Zaffagnini S, Bignozzi S, Visani A, Marcacci M. Pivot-shift test: analysis and quantification of knee laxity parameters using a navigation system. *J Orthop Res*. 2010;28(2):164-169.
34. Lysholm J, Gillquist J. Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *Am J Sports Med*. 1982;10(3):150-154.
35. Marcacci M, Molgora AP, Zaffagnini S, Vascellari A, Iacono F, Presti ML. Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction with hamstrings. *Arthroscopy*. 2003;19(5):540-546.
36. Marcacci M, Zaffagnini S, Giordano G, Iacono F, Presti ML. Anterior cruciate ligament

- reconstruction associated with extra-articular tenodesis: A prospective clinical and radiographic evaluation with 10- to 13-year follow-up. *Am J Sports Med.* 2009;37(4):707-714.
37. Marcacci M, Zaffagnini S, Iacono F, Neri MP, Loreti I, Petitto A. Arthroscopic intra- and extra-articular anterior cruciate ligament reconstruction with gracilis and semitendinosus tendons. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1998;6(2):68-75.
 38. Marcacci M, Zaffagnini S, Iacono F, Neri MP, Petitto A. Early versus late reconstruction for anterior cruciate ligament rupture. Results after five years of followup. *Am J Sports Med.* 1995;23(6):690-693.
 39. Marcacci M, Zaffagnini S, Iacono F, et al. Intra- and extra-articular anterior cruciate ligament reconstruction utilizing autogeneous semitendinosus and gracilis tendons: 5-year clinical results. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2003;11(1):2-8.
 40. Monticone M, Ferrante S, Salvaderi S, et al. Development of the Italian version of the knee injury and osteoarthritis outcome score for patients with knee injuries: cross-cultural adaptation, dimensionality, reliability, and validity. *Osteoarthritis Cartilage.* 2012;20(4):330-335.
 41. Muller W. Cinematica. In: Ghedini, ed. *Il ginocchio*. edizione italiana ed. Milano; 1986:9-17.
 42. Muneta T, Koga H, Mochizuki T, et al. A prospective randomized study of 4-strand semitendinosus tendon anterior cruciate ligament reconstruction comparing single-bundle and double-bundle techniques. *Arthroscopy.* 2007;23(6):618-628.
 43. Noyes FR, Barber SD. The effect of an extra-articular procedure on allograft reconstructions for chronic ruptures of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am.* 1991;73(6):882-892.
 44. O'Brien SJ, Warren RF, Pavlov H, Panariello R, Wickiewicz TL. Reconstruction of the chronically insufficient anterior cruciate ligament with the central third of the patellar ligament. *J Bone Joint Surg Am.* 1991;73(2):278-286.
 45. Pernin J, Verdonk P, Si Selmi TA, Massin P, Neyret P. Long-term follow-up of 24.5 years after intra-articular anterior cruciate ligament reconstruction with lateral extra-articular augmentation. *Am J Sports Med.* 2010;38(6):1094-1102.
 46. Pinczewski LA, Lyman J, Salmon LJ, Russell VJ, Roe J, Linklater J. A 10-year comparison of anterior cruciate ligament reconstructions with hamstring tendon and patellar tendon autograft: a controlled, prospective trial. *Am J Sports Med.* 2007;35(4):564-574.
 47. Risberg MA, Oiestad BE, Gunderson R, et al. Changes in Knee Osteoarthritis, Symptoms, and Function After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A 20-Year Prospective Follow-up Study. *Am J Sports Med.* 2016;44(5):1215-1224.
 48. Roe J, Pinczewski LA, Russell VJ, Salmon LJ, Kawamata T, Chew M. A 7-year follow-up of patellar tendon and hamstring tendon grafts for arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: differences and similarities. *Am J Sports Med.* 2005;33(9):1337-1345.
 49. Roth JH, Kennedy JC, Lockstadt H, McCallum CL, Cunnning LA. Intra-articular reconstruction of the anterior cruciate ligament with and without extra-articular supplementation by transfer of the biceps femoris tendon. *J Bone Joint Surg Am.* 1987;69(2):275-278.
 50. Sakane M, Fox RJ, Woo SL, Livesay GA, Li G, Fu FH. In situ forces in the anterior cruciate ligament and its bundles in response to anterior tibial loads. *J Orthop Res.* 1997;15(2):285-293.
 51. Sanders TL, Kremers HM, Bryan AJ, et al. Is Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Effective in Preventing Secondary Meniscal Tears and Osteoarthritis? *Am J Sports Med.* 2016.

52. Shaieb MD, Kan DM, Chang SK, Marumoto JM, Richardson AB. A prospective randomized comparison of patellar tendon versus semitendinosus and gracilis tendon autografts for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2002;30(2):214-220.
53. Shelbourne KD, Dickens JF. Joint space narrowing after partial medial meniscectomy in the anterior cruciate ligament-intact knee. *J Am Acad Orthop Surg.* 2007;15(9):519-524.
54. Shelbourne KD, Freeman H, Gray T. Osteoarthritis after anterior cruciate ligament reconstruction: the importance of regaining and maintaining full range of motion. *Sports Health.* 2012;4(1):79-85.
55. Shelbourne KD, Gray T. Results of anterior cruciate ligament reconstruction based on meniscus and articular cartilage status at the time of surgery. Five- to fifteen-year evaluations. *Am J Sports Med.* 2000;28(4):446-452.
56. Shelbourne KD, Gray T. Minimum 10-year results after anterior cruciate ligament reconstruction: how the loss of normal knee motion compounds other factors related to the development of osteoarthritis after surgery. *Am J Sports Med.* 2009;37(3):471-480.
57. Sommerlath K, Lysholm J, Gillquist J. The long-term course after treatment of acute anterior cruciate ligament ruptures. A 9 to 16 year followup. *Am J Sports Med.* 1991;19(2):156-162.
58. Strum GM, Fox JM, Ferkel RD, et al. Intraarticular versus extraarticular reconstruction for chronic anterior cruciate ligament instability. *Clin Orthop Relat Res.* 1989(245):188-198.
59. Tegner Y, Lysholm J. Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop Relat Res.* 1985(198):43-49.
60. Testut L, Latarjet A. Articolazione del ginocchio. *Anatomia Umana.* Vol 1. 5 ed. Torino: UTET; 1971.
61. Wirth CJ, Artmann M. [Behavior of rolling-gliding-motions of the knee joint under load after loss and repair of the anterior cruciate ligament (author's transl)]. *Arch Orthop Unfallchir.* 1974;78(4):356-361.
62. Wu WH, Hackett T, Richmond JC. Effects of meniscal and articular surface status on knee stability, function, and symptoms after anterior cruciate ligament reconstruction: a long-term prospective study. *Am J Sports Med.* 2002;30(6):845-850.
63. Zaffagnini S, Bruni D, Marcheggiani Muccioli GM, et al. Single-bundle patellar tendon versus non-anatomical double-bundle hamstrings ACL reconstruction: a prospective randomized study at 8-year minimum follow-up. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011;19(3):390-397.
64. Zaffagnini S, Lopomo N, Signorelli C, et al. Inertial sensors to quantify the pivot shift test in the treatment of anterior cruciate ligament injury. *Joints.* 2014;2(3):124-129.
65. Zaffagnini S, Lopomo N, Signorelli C, et al. Innovative technology for knee laxity evaluation: clinical applicability and reliability of inertial sensors for quantitative analysis of the pivot-shift test. *Clin Sports Med.* 2013;32(1):61-70.
66. Zaffagnini S, Marcacci M, Lo Presti M, Giordano G, Iacono F, Neri MP. Prospective and randomized evaluation of ACL reconstruction with three techniques: a clinical and radiographic evaluation at 5 years follow-up. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006;14(11):1060-1069.
67. Zaffagnini S, Signorelli C, Lopomo N, et al. Anatomic double-bundle and over-the-top single-bundle with additional extra-articular tenodesis: an in vivo quantitative assessment of knee laxity in two different ACL reconstructions. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2012;20(1):153-159.

- 68.** Zantop T, Herbort M, Raschke MJ, Fu FH, Petersen W. The role of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament in anterior tibial translation and internal rotation. *Am J Sports Med.* 2007;35(2):223-227.