



# **Università degli Studi di Padova**

CORSO DI LAUREA IN FISIOTERAPIA  
PRESIDENTE: *Ch.mo Prof. Raffaele De Caro*

## **TESI DI LAUREA**

### **IL TRATTAMENTO RIABILITATIVO CON PARTICOLARE RIFERIMENTO ALLA PROPRIOCEZIONE IN SEGUITO ALL'INTERVENTO DI RICOSTRUZIONE DEL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE**

REHABILITATION TREATMENT, WITH PARTICULAR REFERENCE TO  
PROPRIOCEPTION, FOLLOWING ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT  
RECONSTRUCTION

RELATORE: Prof.ssa C. Tortorella  
Correlatore: Dott. Ft. C. Zaccomer

LAUREANDO: Michele Papa

Anno Accademico 2015-2016



## INDICE

RIASSUNTO.....	pag. 4
ABSTRACT.....	pag. 5
INTRODUZIONE.....	pag 6
1 - ANATOMIA DEL GINOCCHIO.....	pag 7
2 - FISIOLOGIA ARTICOLARE.....	pag 14
3 - PROTOCOLLO RIABILITATIVO.....	pag. 18
4 - LA PROPRIOCEZIONE.....	pag 25
5 - MATERIALI E METODI.....	pag 34
6 - REVISIONE DELLA LETTERATURA.....	pag 35
7 - CONCLUSIONI.....	pag 47
BIBLIOGRAFIA.....	pag 49

## RIASSUNTO

La lesione del legamento crociato anteriore (LCA) è un evento traumatico frequente nelle varie discipline sportive e in continuo aumento data l'ampia diffusione del fitness tra i non professionisti.

L'obiettivo di questa tesi è di valutare, mediante una revisione della recente letteratura, l'efficacia del trattamento riabilitativo propriocettivo in seguito all'intervento di ricostruzione del LCA.

Per raccogliere i dati necessari è stata effettuata una ricerca bibliografica usando le banche dati online PubMed e PEDro.

Si sono prese in esame esclusivamente le pubblicazioni relative agli ultimi 10 anni.

Gli articoli inoltre dovevano essere review, in lingua inglese e free full text. Per la ricerca sono state usate le parole chiave: "propriocezione", "training neuromuscolare" e "riabilitazione in seguito a rottura del LCA".

Sono stati eliminate le pubblicazioni non inerenti all'argomento e quelle in cui la riabilitazione propriocettiva era utilizzata insieme ad altre tecniche.

Dall'analisi dei dati è stato messo in evidenza come la rieducazione propriocettiva sia importante nella prima fase della riabilitazione per integrare il movimento corretto in quanto migliora il controllo motorio, la stabilità posturale, la sensibilità durante il movimento e riduce il rischio di infortunio. Inoltre l'integrazione all'allenamento di forza con quello neuromuscolare rende ottimale la biomeccanica.

Dalla letteratura non emergono indicazioni contrarie all'utilizzo delle tecniche propriocettive nella riabilitazione dopo intervento di ricostruzione del LCA. Tuttavia questa rieducazione da sola sembra non accelerare il ritorno all'attività sportiva e pertanto deve essere integrata ad altre tecniche riabilitative. Un corretto intervento riabilitativo è necessario per ottenere buoni risultati nel recupero della funzionalità dell'arto dopo ricostruzione del legamento.

## **ABSTRACT**

Damage to the anterior cruciate ligament (ACL) is a traumatic event frequently occurring in sport. Because of the widespread diffusion of fitness among non-professionals, its incidence is increasingly higher.

The aim of the present thesis is to provide a review of the recent literature to investigate the effects on proprioception of rehabilitation exercise performed after ACL reconstruction. To collect bibliographic data published in the last 10 years a search on PubMed and PEDro databases has been performed. Only review articles, in English and available as free full text were considered. The keywords “proprioception”, “neuromuscular training” and “rehabilitation of ACL reconstruction” were used for a first screening. Unrelated papers and those concerning proprioceptive rehabilitation in combination with other techniques were then excluded from the analysis.

The available data indicate that proprioceptive rehabilitation is of importance as a first stage of the rehabilitation course since it improves motor control, postural balance and sensitivity during movement leading to decreased risk of injury. Furthermore, the integration of strength and neuromuscular training leads to a fine-tuning of the biomechanics of movement.

Following ACL reconstruction, no harmful effects of the proprioceptive rehabilitation techniques were reported in the literature. However, this single approach does not seem to speed up the recovery of a normal physical activity and the support of other rehabilitation protocols is needed.

## INTRODUZIONE

La lesione del legamento crociato è frequente nei giocatori di calcio.

Ho scelto l'argomento della mia tesi perchè all'età di 17 anni ho avuto un serio infortunio praticando questa attività sportiva. In realtà questo sport ha solo accelerato il manifestarsi di un problema già esistente. Mi è stata infatti diagnosticata un'osteocondrite dissecante all'epicondilo laterale del femore sinistro e ho subito un trapianto osseo.

L'operazione è andata bene, ma la riabilitazione è stata lunga e difficile e mi ha lasciato comunque alcuni problemi quali articolari in flessione, forza del quadricipite, esauribilità di questa e lieve dolore in seguito a sforzi di medio-alta intensità.

Seguendo le lezioni nel corso di laurea in fisioterapia, ho scoperto l'importanza della propriocezione e il suo possibile utilizzo nelle tecniche riabilitative. Mi sono quindi chiesto se il recupero della funzionalità del mio ginocchio e la riduzione di deficit non avrebbero potuto essere migliori con questo tipo di rieducazione.

Durante il tirocinio ho avuto modo di assistere pazienti che stavano seguendo un programma riabilitativo dopo ricostruzione del LCA e ho riscontrato problemi sovrapponibili ai miei.

Da queste esperienze è derivato il mio interesse a reperire più informazioni possibili su questo argomento.

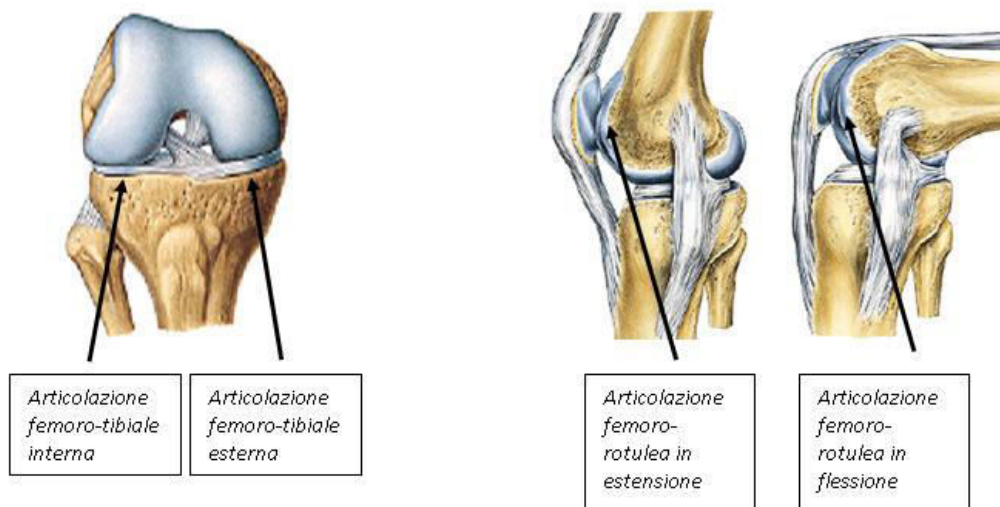
Nello svolgimento della tesi ho considerato l'anatomia del ginocchio, la sua fisiologia articolare e il protocollo riabilitativo. Ho poi dedicato un capitolo alla propriocezione che è la base della tecnica riabilitativa che ho scelto di esaminare nel mio studio.

Ho effettuato quindi una ricerca bibliografica, usando le principali banche dati online, focalizzandomi sulle più recenti pubblicazioni inerenti l'argomento.

La conclusione a cui sono giunto, dopo l'analisi dei dati, è che la rieducazione propriocettiva migliora il recupero della funzionalità dell'arto e pertanto può essere consigliata nella riabilitazione dopo intervento di ricostruzione del LCA anche se in abbinamento ad altre tecniche riabilitative.

## 1 - ANATOMIA DEL GINOCCHIO

Le ossa coinvolte nell'articolazione del ginocchio, che è tra le più complesse del corpo umano, sono: *femore, tibia e rotula*<sup>(1)</sup>. All'interno della stessa capsula articolare sono comprese due articolazioni, la *femoro-tibiale* che si stabilisce tra i condili femorali e le cavità glenoidee della tibia e la *femoro-rotulea* tra la faccia posteriore della rotula e la superficie patellare del femore. La femoro-tibiale è, anatomicamente, una condiloartrosi doppia e la femoro-rotula un'articolazione a sella.



### Superfici articolari

L'estremità distale del femore è costituita da due superfici ovalari convesse rivestite da cartilagine articolare, i condili laterale e mediale. I condili non sono paralleli tra loro, ma i loro assi maggiori anteroposteriori sono diretti da dietro in avanti e convergono nella superficie patellare anteriormente; inoltre il mediale diverge maggiormente ed è anche più stretto. Posteriormente i condili sono separati da una profonda depressione, la *fossa intercondiloidea*<sup>(1)</sup>.

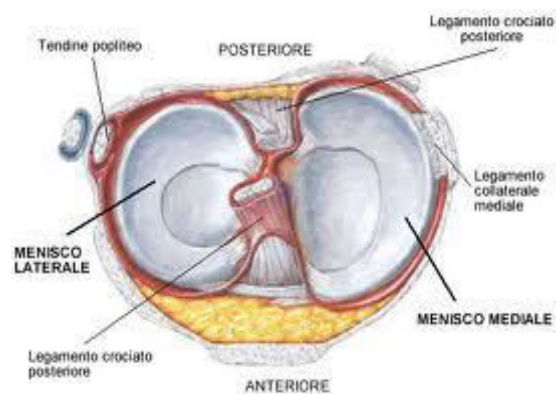
L'estremità prossimale della tibia è costituita da due condili la cui faccia superiore presenta due superfici articolari piuttosto pianeggianti rivestite da cartilagine articolare, le *cavità glenoidee mediale e laterale*. Sono separate tra loro da un rilievo, l'*eminenza intercondiloidea*, formato dai *tubercoli intercondiloidei laterale e mediale*. In avanti e indietro all'eminenza si trovano due superfici triangolari, le *aree intercondiloidee anteriore e posteriore*.

La superficie articolare della rotula corrisponde a gran parte della faccia posteriore ed è rivestita da cartilagine articolare. Una cresta verticale la divide in una faccetta laterale più ampia e una mediale di minori dimensioni<sup>(1,2)</sup>.

Le cavità glenoidee non hanno una forma idonea ad accogliere i condili del femore: la loro concavità è appena accennata, soprattutto per quel che riguarda la cavità laterale, il cui profilo, osservato nel piano sagittale, è addirittura lievemente convesso. Per rendere congrue le superfici articolari sono interposte delle strutture fibrocartilaginee, *i menischi*.

### Menischi

I menischi, distinti in laterale e mediale, sono due cuscinetti fibrocartilaginei che aderiscono alla parte periferica dei condili tibiali. Entrambi hanno forma a mezzaluna di spessore non uniforme che si riduce dalla periferia al centro. Il menisco mediale ha le estremità tra loro distanti e per tale motivo viene paragonato alla lettera “C”; quello laterale, quasi circolare, ricorda piuttosto una “O”.



(<http://t3.gstatic.com/images>)

La loro superficie inferiore, piatta, è in rapporto con la parte periferica delle cavità glenoidee; la faccia superiore, concava, è in rapporto con i condili femorali; la faccia laterale, verticale, è la parte più spessa dei menischi (6 mm per il menisco mediale e 8 mm per quello laterale) ed è in rapporto con la capsula articolare.

Le estremità o *corni* si inseriscono alla superficie intercondiloidea della tibia. Il corno anteriore del menisco mediale si fissa all'area intercondiloidea anteriore davanti all'origine del legamento crociato, il corno posteriore si fissa all'area intercondiloidea posteriore tra il legamento crociato posteriore e il corno posteriore del menisco laterale. I corni anteriore e posteriore del menisco laterale si inseriscono rispettivamente davanti e dietro l'eminenza intercondiloidea.

Il menisco mediale è connesso perifericamente alla capsula articolare e al legamento collaterale mediale. Il menisco laterale ha connessioni capsulari meno importanti; a livello del corno posteriore dà origine al *legamento menisco-femorale posteriore* che si porta alla superficie laterale del condilo mediale del femore<sup>(1)</sup>.



I menischi sono uniti anteriormente tra loro dal *legamento trasverso del ginocchio*, e ai margini laterali della rotula dalle *ali menisco rotulee*.

I menischi intervengono in maniera importante nell'assorbimento degli urti e nella trasmissione delle forze e contribuiscono alla stabilizzazione di questa articolazione. La loro assenza determina l'insorgenza di lesioni degenerative delle strutture articolari, particolarmente della cartilagine, con lo sviluppo di fenomeni artrosici. I menischi sono poco vascolarizzati. Non più del 30% della loro porzione periferica, infatti, è provvista di capillari che provengono dalla capsula articolare. Per questo motivo solo le lesioni più marginali, che cadono all'interno della zona vascolarizzata, hanno possibilità riparativa; lesioni localizzate nella porzione avascolarizzata non guariscono spontaneamente e, a seconda dei casi, possono essere trattate chirurgicamente. Un danno meniscale, nella maggior parte dei casi, è la conseguenza di un movimento incongruo tra femore e tibia. Spesso capita che un movimento rapido di estensione del ginocchio porti a una dislocazione meniscale. Le lesioni meniscali possono essere di tipo traumatico o degenerativo e più frequentemente interessano il menisco mediale; possono essere isolate o associate a lesioni legamentose o delle superfici articolari. Nell'attività sportiva i movimenti lesivi sono soprattutto quelli combinati di rotazione e sollecitazione sul piano assiale. I sintomi sono: cedimento dell'articolazione e fenomeni di blocco del movimento.

### **Capsula articolare**

È un manicotto di spessore variabile<sup>(1)</sup> che collega l'estremità inferiore del femore e l'estremità superiore della tibia; internamente alla strato fibroso è presente la membrana sinoviale. Forma un cilindro con la parte posteriore infossata. Sulla tibia si inserisce al di sotto della cartilagine articolare<sup>(1)</sup>. A livello del femore la capsula, in avanti, si inserisce al di sopra della superficie patellare formando il recesso sottoquadricipitale<sup>(1,2)</sup>. In questo punto presenta un'interruzione e la membrana sinoviale si estroflette formando la *borsa sierosa sovrapatellare*<sup>(1)</sup> sulla quale si inserisce il muscolo articolare del ginocchio. Lateralmente e medialmente si fissa sotto gli epicondili; posteriormente si fissa sopra ai condili, dove si ispessisce dando luogo ai *gusci condiloidei*, e nella fossa intercondiloidea. Nella fossa la capsula penetra in profondità e si inserisce sulla faccia assiale dei condili; a livello del condilo mediale inferiormente all'inserzione del legamento crociato posteriore (LCP) e a livello di quello laterale tra la cartilagine e

l'inserzione del legamento crociato anteriore (LCA)<sup>(2)</sup>.

Nel ginocchio mobilità e stabilità giocano un ruolo pressoché equivalente; allo scopo di preservare tale equivalenza, esiste un *apparato capsulo-legamentoso* che svolge la funzione di stabilizzatore delle componenti ossee.

### Legamenti del ginocchio

I legamenti del ginocchio sono molti, anche se dal punto di vista pratico, si possono distinguere il cosiddetto pivot centrale, costituito dai legamenti crociati anteriore (LCA) e posteriore (LCP), che stabilizza il ginocchio nel piano sagittale e un complesso legamentoso periferico, costituito dai legamenti collaterali mediale (LCM) e laterale (LCL), che stabilizza il ginocchio sul piano frontale.



(<http://www.ancaeginocchio.it>)

I legamenti crociati si chiamano così perché si incrociano obliquamente sia nel piano sagittale che nel piano frontale. Sono legamenti intra-articolari ma completamente rivestiti dalla membrana sinoviale e perciò esclusi dalla cavità articolare<sup>(1,2)</sup>.

### Legamento crociato anteriore

Lungo poco meno di 4 cm, origina dall'area intercondiloidea anteriore della tibia e si porta in alto, indietro e lateralmente per inserirsi sulla faccia mediale del condilo laterale del femore. In corrispondenza dell'inserzione tibiale alcune sue fibre si intrecciano con il corno anteriore del menisco mediale. È distinto in tre fasci: il fascio antero-mediale (il più lungo e il più esposto a lesioni), il fascio postero-laterale (resiste nelle rotture parziali) e il fascio intermedio.



(<http://en.wikipedia.org>)

Nell'insieme ha forma ritorta su se stessa e non tutte le fibre hanno la stessa lunghezza: le fibre che originano anteriormente sulla superficie tibiale hanno una inserzione più

bassa e più anteriore sul femore mentre le fibre che originano posteriormente sulla tibia si inseriscono più in alto sul femore<sup>(2)</sup>.

#### *Legamento crociato posteriore*

Origina dall'area intercondiloidea della tibia e si porta in avanti, in alto e medialmente per inserirsi sulla faccia laterale del condilo mediale. È raddoppiato dal legamento menisco-femorale posteriore<sup>(1,2)</sup>. E' distinto in quattro fasci: il fascio postero-esterno, il fascio antero-interno, il fascio anteriore di Humphrey (incostante) e il fascio menisco-femorale di Wrisberg (si unisce al corno posteriore del menisco esterno)<sup>(2)</sup>.

#### *Legamento collaterale mediale o interno*

Lungo circa 10 cm, origina dall'epicondilo mediale del femore e si inserisce al condilo mediale della tibia, ricoperto dai tendini della zampa d'oca. È formato da uno strato di fibre più superficiali, a ventaglio, e da uno strato profondo che raggiunge la faccia periferica della capsula e del menisco mediale. E' costituito da fibre con diverso orientamento; le fibre posteriori si tendono maggiormente nell'estensione del ginocchio, le anteriori nella flessione. Questo legamento è il più importante stabilizzatore del compartimento mediale e il test diagnostico per valutare una sua lesione si effettua con una controllata sollecitazione in valgo da parte del medico. Le lesioni isolate del collaterale mediale vengono trattate in maniera conservativa, riservando il trattamento chirurgico per lesioni complesse.

#### *Legamento collaterale laterale o esterno*

Lungo circa 5 cm, origina dall'epicondilo laterale del femore e si inserisce sulla testa della fibula. A differenza del collaterale mediale, resta ben distinto dalla capsula e non è connesso al menisco esterno. Nella stabilizzazione del compartimento laterale del ginocchio, il legamento collaterale laterale è coadiuvato dalla bandelletta ileotibiale (lesioni isolate non frequenti conseguono un'instabilità in varo).

#### *Legamento rotuleo (o tendine rotuleo)*

Lungo 8 cm, costituisce la parte centrale del tendine del muscolo quadricipite femorale che si continua dall'apice della patella alla tuberosità tibiale. In prossimità dell'inserzione tibiale è raggiunto da fibre della bandelletta ileotibiale e dei retinacoli della rotula (vedi oltre). E' separato dalla tibia dalla borsa infrapatellare profonda e dalla membrana sinoviale da un voluminoso corpo adiposo (di Hoffa).

### *Legamento popliteo arcuato*

Origina dalla testa della fibula e si divide in 2 fasci: uno raggiunge il margine posteriore dell'area intercondiloidea posteriore, l'altro l'epicondilo laterale del femore. È connesso alla capsula articolare.

### *Legamento popliteo obliquo*

È uno dei tre fasci che costituiscono il tendine del muscolo semimembranoso e dalla superficie posteriore del condilo tibiale mediale si porta al condilo laterale del femore.

### *Retinacoli della rotula*

Posti di lato rispetto al legamento rotuleo, sono costituiti da fibre della fascia lata unite a fibre tendinee dei vasti mediali e laterale del quadricipite; raggiungono i condili tibiali.

## **Muscoli del ginocchio**

Possono essere divisi in muscoli estensori, flessori e rotatori.

### 1) Muscoli estensori del ginocchio

- *Quadricipite femorale*, muscolo anteriore della coscia, formato da quattro ventri: vasto mediale, vasto laterale, vasto intermedio e retto del femore che possiedono un tendine comune che si inserisce alla base e ai margini della rotula e quindi, tramite il legamento patellare, alla tuberosità tibiale. I tre vasti sono monoarticolari, il retto del femore è biarticolare; quest'ultimo ha effetto estensore (sviluppa 1/5 della forza estensoria) e in base alla posizione del ginocchio può agire anche come flessore dell'anca<sup>(1,2)</sup>.

### 2) Muscoli flessori del ginocchio

- *bicipite femorale*, *semitendinoso*, *semimembranoso*, muscoli posteriori della coscia (ischiocrurali),

- *muscoli gracile e sartorio* che insieme al già citato *semitendinoso* formano la zampa d'oca superficiale;

- *gastrocnemio* e *popliteo*, muscoli posteriori della gamba; i capi mediali e laterali (gemelli) del gastrocnemio svolgono soprattutto un ruolo importante come stabilizzatori del ginocchio.

Ad eccezione del capo breve del bicipite e del popliteo i suddetti muscoli sono tutti biarticolari: hanno azione estensoria dell'anca e flessoria del ginocchio.

### 3) Muscoli rotatori del ginocchio

I flessori del ginocchio sono anche rotatori. Rotatori esterni sono i muscoli bicipite femorale e tensore della fascia lata (quest'ultimo solo a ginocchio flesso, a ginocchio esteso diventa estensore). Rotatori interni sono i muscoli sartorio, semitendinoso, semimembranoso, gracile e popliteo <sup>(2)</sup>.

MUSCOLO	AZIONE	INNERVAZIONE
Sartorio	Anca: flessore, RE, abduttore Ginocchio: flessore e RI	Nervo femorale
Gracile	Anca: adduttore Ginocchio: flessore e RI	Nervo otturatore
Quadricipite: retto femorale vasti	Ginocchio: estensore; Anca: flessore Ginocchio: estensori	Nervo femorale
Popliteo	Ginocchio: flessore e RI	Nervo tibiale
Semimembranoso	Anca: estensore Ginocchio: flessore e RI	Nervo ischiatico
Semitendinoso	Anca: estensione Ginocchio: flessore e RI	Nervo ischiatico
Bicipite femorale: capo lungo	Anca: estensore Ginocchio: flessore e RE	Nervo ischiatico
capo breve	Ginocchio: flessore e RE	
Gastrocnemio	Ginocchio: flessore Caviglia: flessore plantari	Nervo tibiale

## 2 – FISILOGIA ARTICOLARE

L'articolazione del ginocchio è anatomicamente una condiloartrosi doppia ma l'imponente apparato legamentoso fa sì che meccanicamente funzioni come una troclea. Sull'asse trasversale è quindi permesso il movimento di flessione-estensione. La rotazione assiale sull'asse longitudinale in estensione è impedita dalla tensione dei legamenti, crociati e collaterali; un certo grado di rotazione assiale è possibile pertanto solo a ginocchio flesso.

L'articolazione del ginocchio abbina due funzioni contrastanti: possedere una notevole stabilità in estensione quando è maggiormente sottoposta alla forza peso e avere una grande mobilità in flessione, requisito necessario per la corsa e l'appoggio del piede al suolo.

### **Ampiezza dei movimenti di flessione-estensione e rotazione assiale del ginocchio:**

- Estensione: passiva  $+5^{\circ}/+10^{\circ}$  (iperestensione), attiva  $0^{\circ}$ .
- Flessione: passiva  $160^{\circ}$ , attiva  $140^{\circ}$  ad anca flessa –  $120^{\circ}$  ad anca estesa.
- Rotazione assiale (solo a ginocchio flesso): intrarotazione attiva  $30^{\circ}$ , passiva  $30^{\circ}-35^{\circ}$ ; extrarotazione attiva  $40^{\circ}$ , passiva  $45^{\circ}-50^{\circ}$ .
- Rotazione assiale "automatica": si realizza a inizio flessione con intrarotazione e a termine estensione con extrarotazione<sup>(1,2)</sup>.

### **Movimenti dei condili femorali sulle superfici articolari**

- nella flessione-estensione: il condilo ruota e scivola contemporaneamente sulla superficie articolare tibiale per impedire la lussazione posteriore pur permettendo la massima flessione. La proporzione di rotolamento e di scivolamento non è la stessa durante l'intero movimento. A partire dalla massima estensione si ha: rotolamento senza scivolamento, scivolamento progressivo, scivolamento maggiore rispetto al rotolamento, scivolamento senza rotolamento. Il condilo esterno rotola molto di più dell'interno.
- nella rotazione assiale: con rotazione neutra a ginocchio flesso la parte posteriore dei condili è a contatto con la parte mediale delle superfici articolari tibiali. Durante la rotazione esterna il condilo esterno va anteriormente rispetto alla superficie articolare tibiale mentre il condilo interno va posteriormente; durante la rotazione interna il

condilo interno va anteriormente rispetto alla superficie articolare tibiale mentre il condilo esterno va posteriormente<sup>(2)</sup>.

### **Spostamenti dei menischi**

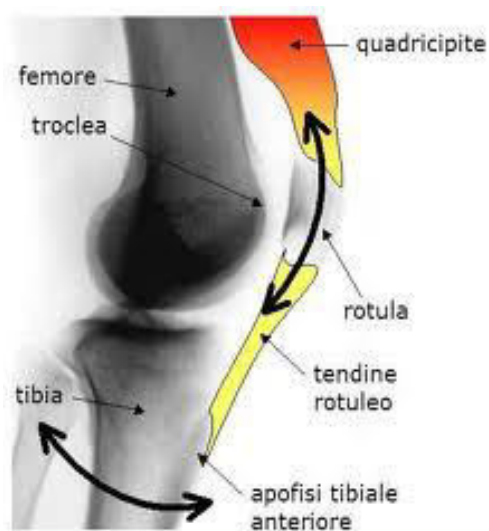
Come già detto precedentemente, i menischi risultano fissati alla tibia solo a livello dell'apice delle corna e ciò permette loro di adattarsi ai movimenti dei condili femorali sulla tibia. Analizziamo gli spostamenti nei due movimenti.

- Flesso-estensione: il punto di contatto tra condili femorali e piatti tibiali si sposta posteriormente in flessione e anteriormente in estensione; i menischi seguono questo movimento dei condili. Il menisco laterale arretra il doppio rispetto al menisco mediale. Nello spostamento si deformano (maggiormente l'esterno). Nell'estensione il maggior raggio di curvatura dei condili sulle superfici articolari tibiali determina il maggior contatto dei menischi con le superfici articolari e mette in tensione i legamenti collaterali. Nella flessione il minor raggio di curvatura dei condili sulle superfici articolari tibiali comporta una minor superficie di contatto dei menischi con i condili e detensione i legamenti collaterali.

- Rotazione assiale: i menischi seguono sempre i movimenti dei condili sui piatti tibiali. Durante la rotazione esterna il menisco laterale va anteriormente rispetto alla superficie articolare tibiale mentre il menisco mediale si sposta posteriormente; durante la rotazione interna il menisco mediale va anteriormente rispetto alla superficie articolare tibiale mentre il menisco laterale si sposta posteriormente<sup>(2)</sup>.

### **Spostamenti della rotula sul femore**

Nei movimenti di flesso-estensione la superficie patellare e la superficie intercondiloidea formano una scanalatura verticale in cui scivola la rotula. Nella flessione la rotula è trattenuta saldamente nella doccia intercondiloidea dal quadricipite; durante l'estensione diminuendo la tensione del quadricipite, la rotula tende ad allontanarsi dalla superficie patellare del femore<sup>(1,2)</sup>.



### **Spostamenti della rotula sulla tibia**

- Flesso-estensione: in estensione la superficie della rotula è rivolta indietro; nel movimento di flessione la rotula, nel piano sagittale, si muove posteriormente lungo un arco di circonferenza il cui centro è al livello della tuberosità tibiale e il cui raggio corrisponde alla lunghezza del legamento rotuleo. In massima flessione la superficie posteriore della rotula è pertanto rivolta in basso e indietro.
- Rotazione assiale: nel piano frontale, in posizione neutra, il legamento rotuleo è leggermente obliquo in basso e in fuori. Nell'intrarotazione il femore ruota esternamente trascinando in fuori la rotula e il legamento rotuleo diventa obliquo in basso e in dentro. Nell'extrarotazione il femore ruota internamente trascinando in dentro la rotula e il legamento rotuleo diventa obliquo in basso e in fuori<sup>(2)</sup>.

### **Ruolo meccanico dei legamenti crociati**

Assicurano la stabilità in antero-posteriore del ginocchio mantenendo sempre a contatto le superfici articolari; in particolare il LCA durante la flessione si oppone alle eccessive traslazioni indietro del femore, LCP quelle in avanti durante l'estensione.

Durante i movimenti di flesso-estensione i crociati assumono direzione e grado di tensione differenti:

- posizione neutra o flessione a 30°: LCA è più verticale; LCP è più orizzontale; tensione uguale;
- flessione a 60°: il LCP si raddrizza; il LCA diviene orizzontale; tensione quasi uguale;
- flessione a 90°- 120°: il LCA è orizzontale e in tensione; il LCP è verticale e ha una maggior tensione;
- flessione estrema: il LCA è quasi tutto deteso; LCP in tensione;
- iperestensione: LCA e LCP sono entrambi tesi; sul LCA si esercita una pressione da parte del fondo della fossa intercondiloidea. Il LCA contribuisce in maniera determinante a bloccare l'iperestensione.

I legamenti crociati sono importanti fattori passivi che richiamano i condili e li fanno scivolare sulle superfici articolari nel senso inverso al loro rotolamento:

- flessione: il LCA richiama il condilo in avanti, facendolo scivolare anteriormente e rotolare posteriormente;
- estensione: il LCP richiama il condilo indietro, facendolo scivolare posteriormente e rotolare anteriormente.



Studi recenti hanno dimostrato che i fasci del LCA svolgono compiti differenti durante la cinematica articolare del ginocchio: il fascio antero-mediale si tende in flessione, quello postero-laterale si tende in estensione; quest'ultimo fornisce anche la maggior resistenza all'iperestensione.

### **Stabilità rotatoria del ginocchio in estensione**

In estensione completa, la rotazione assiale è impedita dalla tensione dei legamenti:

- in posizione neutra la direzione dei crociati è obliqua; la rotazione esterna della tibia detende i crociati; la rotazione interna tende i crociati limitando il movimento stesso;
- in posizione neutra l'obliquità dei legamenti collaterali li avvolge in senso orario attorno all'asse di rotazione; in rotazione interna della tibia i legamenti collaterali si detendono; in rotazione esterna si tendono limitando il movimento stesso.

### 3- PROTOCOLLO RIABILITATIVO

**La riabilitazione pre-operatoria**, sarebbe consigliata, ma è poco utilizzata; dopo la lesione solitamente l'intervento chirurgico è rimandato fino a che i sintomi acuti non sono regrediti. Viene iniziata quando le condizioni la rendono possibile. Ha come obiettivi la riduzione del gonfiore, del dolore e dell'infiammazione, il ripristino del ROM, il training del passo e la prevenzione dell'atrofia muscolare. Lo scopo è di riportare l'articolazione allo stato prima della lesione. Il ROM completo è essenziale per prevenire l'artrofibrosi postoperatoria. Importante in questa fase è l'educazione del paziente sulla riabilitazione pre e post-operatoria e sulla procedura chirurgica.

**La Mobilizzazione passiva continua**, CPM (Continuous Passive Mobilization), è un meccanismo valido per controllare il dolore post-operatorio e per iniziare presto il movimento; oggi è usato meno di frequente che nel recente passato. Non può sostituire l'intervento riabilitativo normale ma può essere usato in associazione.

**L'Utilizzo dei tutori** ha come obiettivo la protezione del trapianto e la prevenzione di una contrattura in flessione del ginocchio. Con le moderne tecniche chirurgiche, la necessità e i vantaggi dell'uso del tutore sono diventati argomento di discussione; l'utilizzo del tutore è basato sul parere dell'ortopedico, sul tipo di trapianto usato, sulle osservazioni intraoperatorie, sulla qualità della fissazione, sulle procedure chirurgiche concomitanti (es: riparazione menisco e legamento collaterale) e sulla collaborazione del paziente nel programma riabilitativo.

**Il Carico precoce** dà diversi vantaggi rispetto al carico protetto quali la nutrizione della cartilagine, la riduzione dell'osteopenia da disuso, la riduzione della fibrosi perirotulea e il più veloce recupero della funzione del quadricipite. Il carico precoce si è reso possibile grazie ai progressi ottenuti nella fissazione del trapianto. Il carico protetto può essere utilizzato nelle prime due settimane o, in base alla tolleranza del paziente, subito dopo l'intervento. Il carico precoce può essere aumentato dalla 2<sup>a</sup>-3<sup>a</sup> settimana in base ai sintomi del paziente. Il carico è maggiormente protetto se coesistono altre lesioni o riparazioni (es: riparazione cartilaginea).

**La rigidità post chirurgica** è una delle conseguenze più frequenti dopo ricostruzione del LCA assieme al dolore anteriore del ginocchio; è intesa come perdita di mobilità

rispetto all'arto sano, dà maggior dolore anteriore di ginocchio e problemi femoro-rotulei, ipostenia del muscolo quadricipite, alterazioni della deambulazione, degenerazioni articolari. La limitazione in estensione è più frequente della limitazione in flessione. I fattori che possono predisporre alla perdita di articularità sono: artrofibrosi, posizionamento o sollecitazioni inappropriate o tensione del LCA, intervento chirurgico di emergenza su un ginocchio gonfio e infiammato, concomitante ricostruzione del LCM, programmi riabilitativi mal condotti, immobilizzazione.

**La progressione degli esercizi selezionati**, le attività funzionali e l'istruzione dei pazienti sono fondamentali nella riabilitazione dopo la ricostruzione del LCA. Gli esercizi iniziano immediatamente nel primo giorno postoperatorio, grazie all'uso di trapianti forti e una buona fissazione del trapianto; c'è la possibilità di utilizzare la mobilizzazione passiva continua. Dobbiamo ricordare che nelle prime 2-3 settimane il trapianto del tendine va incontro a un processo di necrosi, poi di rivascolarizzazione e infine di maturazione. Quindi gli esercizi devono progredire con prudenza rispettando le fasi maturative. Se è stato prescritto un tutore, si eseguono gli esercizi con il tutore. La progressione degli esercizi e dell'allenamento funzionale dipendono da molti fattori: età, condizioni preoperatorie, tipo di trapianto e fissazione, lesioni associate; sicuramente i pazienti più giovani o in migliori condizioni fisiche hanno un recupero più rapido. In generale la mobilizzazione passiva e isometrica viene eseguita immediatamente dopo l'intervento, dopo 20 giorni dall'intervento è possibile iniziare con esercizi in CCA e di recupero del trofismo muscolare. Il paziente può andare in piscina con indicazione di nuoto terapeutico dopo 40 giorni. Il recupero totale avviene in 3 mesi con la possibilità della corsa in piano e a 5-6 mesi per l'attività sportiva da contatto.

**La rieducazione funzionale** è focalizzata sul paziente in toto e prevede un buon ricondizionamento cardiocircolatorio, la propriocezione e la coordinazione muscolare, con esercizi appropriati e inseriti in maniera graduale-sicura nel trattamento riabilitativo. E' anche utile per distogliere l'attenzione del paziente verso il ginocchio; per mantenere l'interesse durante le sedute riabilitative si utilizzano diversi attrezzi come tavolette oscillanti, gradini, palloni, etc. Gli esercizi gesto-specifici aiutano nel recupero dei movimenti necessari al ritorno all'attività sportiva. Le varie fasi della rieducazione funzionale sono stati inseriti all'interno del trattamento riabilitativo

accelerato.

### **Riabilitazione neuromuscolare: la propiocezione**

E' stato dimostrato che un'alterata propiocezione riduce la capacità di una persona di proteggere il ginocchio e conseguentemente lo sottopone a stress ripetuti che possono portare alla rottura del LCA (il ruolo del LCA nella propiocezione è ancora oggetto di studio). Nei pazienti che hanno lesione del LCA il riflesso di stabilizzazione dinamica degli ischiocrurali e della propiocezione sono compromessi. Si è osservato che dopo la lesione del LCA ci sono differenze nella propiocezione tra pazienti sintomatici e asintomatici; c'è inoltre correlazione fra propiocezione e miglioramento dopo ricostruzione del LCA. Per il controllo dei centri superiori si lavora su attività coscienti e ripetitive di posizionamento che aumentano le informazioni sensoriali migliorando la corretta attività di stabilizzazione dell'articolazione; il controllo inconscio si può ottenere con tecniche distraenti durante l'esercizio es: lancio di una palla. Per il controllo del tronco encefalico si usano esercizi di equilibrio e di mantenimento posturale, prima ad occhi aperti e poi chiusi. Il programma riabilitativo segue una progressione di attività da superfici fisse a instabili e dall'appoggio bipodalico a monopodalico. Per il controllo a livello spinale si lavora con movimenti rapidi delle posizioni articolari. Un obiettivo nel trattamento riabilitativo neuromuscolare è ridare al paziente la sicurezza di avere un ginocchio stabile e di riacquisire l'abilità di rispondere prontamente alle perturbazioni. Il training alla propiocezione inizia, di solito, a due settimane dall'intervento.

## **TRATTAMENTO RIBILITATIVO ACCELERATO**

Per il successo clinico della ricostruzione chirurgica del LCA è indispensabile oltre a un programma riabilitativo idoneo anche una collaborazione continua tra l'ortopedico, il fisioterapista e il paziente<sup>(4)</sup>.

### **FASE I<sup>(4)</sup> o Fase di protezione massima e moderata<sup>(5)</sup>**

Durante il primo periodo postintervento bisogna trovare un equilibrio tra la protezione dell'innesto e della sede del prelievo contro gli effetti dell'immobilità (aderenze, contratture, degenerazioni articolari, debolezza e atrofia)<sup>(4,5,6)</sup>.

## **Parte 1 1<sup>a</sup> settimana<sup>(4)</sup> - Fase di protezione massima<sup>(5)</sup>**

Obiettivi: proteggere la fissazione dell'innesto; istruire il paziente sul programma riabilitativo<sup>(6)</sup>; controllo del dolore, dell'edema e dell'infiammazione; recupero del ROM per prevenire le complicanze post-chirurgiche<sup>(4,6)</sup>; iniziare la deambulazione con le stampelle; prevenire l'inibizione riflessa della muscolatura del ginocchio; prevenire le aderenze; aumento della consapevolezza cinestesica e del controllo muscolare; migliorare la forza e articolarietà della muscolatura dell'anca e della caviglia<sup>(5)</sup>.

Fasi iniziali: fondamentale, soprattutto in estensione, il recupero della mobilità passiva e attiva<sup>(31)</sup> che riduce il dolore, stimola l'omeostasi cartilaginea, previene problemi femoro-rotulei, alterazioni dello schema del passo, atrofia del quadricipite, artrofibrosi e le complicanze vascolari. Inoltre è utile istruire il paziente sugli esercizi a domicilio.

Utilizzo del ghiaccio in presenza di dolore o gonfiore per prevenire le complicanze postchirurgiche<sup>(4)</sup> e del tutore se indicato<sup>(6)</sup>.

Esercizi: nei primi giorni movimenti attivi di flessione di ginocchio (per reclutare i muscoli ischiocrurali); mobilizzazione multidirezionale della rotula (mantiene il ROM articolare e l'inibizione del quadricipite); esercizi isometrici e isotonici senza carichi a ROM limitato per salvaguardare il neolegamento (aiutano il controllo neuromuscolare, dalla letteratura indicazioni sul possibile utilizzo di esercizi in CCC range 0-60° e CCA range 90-40°; cautela deve essere posta con esercizi in CCA per i pazienti operati con ST-G fino alla dodicesima settimana); contrazioni isometriche del quadricipite a ginocchio esteso (senza rischio); esercizi di sollevamento della gamba estesa (se non ci sono cedimenti in flessione); flessione-estensione del ginocchio con scivolamento del tallone sul lettino; minisquat (0-30°); flessione del ginocchio in CCA (per i muscoli ischi crurali).

Carico: completo dal 10° giorno postchirurgico (senza dolore o alterazioni dello schema del passo). Non determina rischi per la stabilità del ginocchio e migliora la funzionalità del quadricipite. Per alleviare il carico è possibile l'utilizzo di stampelle per 15 giorni<sup>(4)</sup>; se il carico è tollerato e si ha un buon controllo del quadricipite è possibile il cammino senza stampelle dopo 7 giorni<sup>(6)</sup>.

Criteri per il passaggio alla fase successiva: dolore invariato o diminuito (utilizzo VAS e

misurazione circonferenze del ginocchio), minor gonfiore, completa estensione e almeno 90° di flessione, buona mobilità rotulea, sufficiente controllo del quadricipite, cammino anche con stampelle<sup>(4)</sup>.

## **Parte 2 2<sup>a</sup>-9<sup>a</sup> settimana<sup>(4)</sup> - Fase di protezione massima-moderata<sup>(5)</sup>**

Obiettivi: esercizi per il controllo del dolore, dell'edema e dell'infiammazione; recupero del ROM per prevenire le complicazioni post-chirurgiche (recupero flessione del ginocchio mantenendo l'estensione e la mobilità rotulea ed estensione completa dopo la prima settimana postoperatoria; alla nona settimana il ROM del ginocchio deve essere completo); migliorare la forza e la resistenza dell'arto inferiore; schema del passo corretto senza stampelle; migliorare il controllo neuromuscolare, la propriocezione e l'equilibrio; rinforzo cardiovascolare<sup>(5)</sup>.

N.B. entro le prime due settimane recupero completo dell'estensione altrimenti il ginocchio deve essere trattato in maniera aggressiva per prevenire lo sviluppo di artrofibrosi ed evitare stress eccessivi in traslazione tibiale anteriore per la protezione del neolegamento.

Esercizi: isocinetici in presenza di equipaggiamento adatto e personale istruito; iniziale rinforzo della resistenza del muscolo quadricipite con carichi bassi e un numero elevato di ripetizioni (3-4 serie da 15-20 ripetizioni) in un range articolare protetto (CCC 0-60°, CCA 90-40°) così da prevenire la lassità legamentosa e il dolore anteriore del ginocchio. La letteratura indica la possibilità di aumentare il ROM in sicurezza. Gli esercizi in CCA sono sconsigliati fino alla dodicesima settimana in pazienti operati con ST-G<sup>(4)</sup>. Esercitare ischio-crurali, abduttori e adduttori dell'anca. Possibile utilizzo di stimolazione elettrica o biofeedback per il rinforzo del quadricipite. Training del cammino (simmetrico, lunghezza e ritmo del passo adeguati)<sup>(5)</sup>.

N.B. Il persistere a 5 settimane dall'intervento di un'estensione passiva incompleta, alterazioni nella deambulazione e deficit del quadricipite sono fattori predittivi di debolezza del quadricipite a 6 mesi dall'intervento<sup>(4)</sup>.

Criteri per il passaggio alla fase successiva: dolore e gonfiore minimi, completa estensione e almeno 120° gradi di flessione, normale schema del passo, esecuzione corretta degli esercizi, possibile somministrazione di test specifici che valutano sintomi e limitazioni funzionali nelle lesioni legamentose del ginocchio<sup>(4)</sup>.

## **FASE II 9<sup>a</sup>-16<sup>a</sup> settimana<sup>(4)</sup> o Fase di protezione minima<sup>(5)</sup>**

Necessario recuperare e mantenere la mobilità completa del ginocchio per prevenire complicanze postchirurgiche.

Obiettivi: rinforzo degli stabilizzatori del ginocchio; aumento resistenza e forza muscolare.

Esercizi: incremento degli esercizi in CCC e CCA per il rinforzo degli stabilizzatori del ginocchio (la resistenza del neolegamento è in aumento); in base al dolore e al gonfiore, progressione degli esercizi di resistenza (più ripetizioni a basso carico<sup>(4)</sup>, dando importanza al lavoro eccentrico<sup>(5)</sup>) a quelli di forza (meno ripetizioni a carico maggiore); in assenza di dolore e gonfiore si potrà passare a effettuare 3-4 serie da 8-12 ripetizioni con carichi maggiori<sup>(4)</sup>.

Criteri per il passaggio alla fase successiva: assenza dolore o gonfiore, ROM completo; forza del muscolo quadricipite e ischio-crurali superiore al 75% rispetto ai controlaterali; rapporto ischio-crurali/quadricipite minore o uguale al 15% rispetto alla coscia controlaterale; opzionale test isocinetico a 180°/secondo, Hop test superiore al 75% rispetto al controlaterale; esecuzione corretta degli esercizi<sup>(4)</sup>.

## **FASE III 16<sup>a</sup>-24<sup>a</sup> settimana<sup>(4)</sup> o Fase di protezione minima<sup>(5)</sup>**

Obiettivi: massimo recupero della forza e resistenza dei muscoli stabilizzatori del ginocchio, ottimo controllo neuromuscolare con esercizi pliometrici, allenamento di agilità e ritorno alle abilità sport-specifiche<sup>(4)</sup>.

Criteri per il ritorno all'attività sportiva: assenza dolore o gonfiore con ROM completo; hop test e la forza del quadricipite e degli ischiocrurali sono almeno l'85% dell'arto controlaterale; rapporto ischio-crurale/quadricipite minore o uguale al 15% rispetto all'arto controlaterale; tolleranza attività sportiva da parte del paziente (assenza dolore, gonfiore); test isocinetico (opzionale) a 60°, 180°, 300°/secondo e test di resistenza a 180°/secondo; esecuzione corretta degli esercizi<sup>(4)</sup>.

## **Fase di ritorno all'attività sportiva (> 24 mesi)<sup>(4-5)</sup>**

Il ritorno all'attività sportiva competitiva può variare da 4-5 mesi fino ad un anno. I tempi variano in base allo sport praticato, ai referti dell'esame clinico (soprattutto la

stabilità del ginocchio) e al paziente (aspettative del lavoro, attività ricreative)<sup>(5)</sup>.

Dopo il ritorno all'attività sportiva continuare il programma riabilitativo di potenziamento e di controllo neuromuscolare per il recupero dei deficit residui che, dalla letteratura, sembrano rimanere anche a distanza di uno o due anni dall'intervento<sup>(4)</sup>.



## 4 – LA PROPRIOCEZIONE

### La propiocezione

Sherrington nel 1906 fu il primo a introdurre il termine *propriocezione*, che nel tempo ha avuto vari significati, a volte non coerenti con il contesto originale. Con questa definizione egli indicava un sistema di regolazione della postura globale e segmentaria, coinvolto in numerose “sensibilità muscolari” conscie. Egli descrisse 4 modalità di sensibilità muscolare: posturale, dinamica passiva, dinamica attiva e di resistenza ai movimenti. Queste sottomodaltà attualmente sono sinonimo di: senso di posizione articolare, cinestesia e sensazione di resistenza o pesantezza.

L’esigenza di una terminologia che tenesse conto dei riferimenti fisiologici ha portato a ridefinire l’intero sistema. Riemann nel 2002 ha introdotto il concetto più attinente di *sistema sensomotore* che comprende tutte le informazioni meccanorecettoriali, termocettive e chemiocettive provenienti dalla periferia<sup>(2,3)</sup>. La componente conscia di tale sistema fornisce la sensibilità tattile, dolorifica, termica e propriocettiva che può essere identificata con la cinestesia, il senso di posizione articolare e il senso di forza<sup>(30)</sup>. I sistemi del nostro organismo sono strutturati in maniera gerarchica per mantenere l’omeostasi (insieme dinamico dei processi messi in atto da un organismo per rendere stabile l’ambiente interno nonostante le variazioni esterne). A tal fine è necessario che detti sistemi si integrino tra loro.

### La fisiologia dei propriocettori

Il sistema nervoso centrale (SNC), per poter fornire le corrette istruzioni ed effettuare così movimenti in maniera rapida e coordinata, deve costantemente ricevere informazioni sullo stato dell’apparato locomotore e sulla posizione nello spazio del corpo<sup>(2)</sup>.

I propriocettori, contenuti nei muscoli e nelle articolazioni, segnalano le variazioni statico-dinamiche di tale apparato<sup>(3)</sup>. I propioceettori specifici sono i fusi neuromuscolari e gli organi tendinei del Golgi. A questi si aggiungono altri recettori, con funzione simile, situati in diverse strutture (capsule, fasce muscolari, etc) e che vengono deformati meccanicamente, e quindi eccitati, nei movimenti muscolari e articolari. Nella seguente tabella sono riassunti i principali recettori dell’apparato muscolo-scheletrico<sup>(30)</sup>.

Localizzazione	Tipologia	Stimoli rilevati
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nello spessore delle capsule articolari</li> <li>▪ Nei legamenti</li> <li>▪ Nella membrana sinoviale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tipo I (simili ai corpuscoli di Ruffini)</li> <li>▪ Tipo II (simili ai corpuscoli di Pacini)</li> <li>▪ Tipo III (simili ai GTO)</li> <li>▪ Tipo IV (terminazioni libere)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Adattamento lento, rilevano stimoli pressori prolungati ed intensi</li> <li>▪ Adattamento rapido, rilevano stimoli vibratorii o rapide modificazioni meccaniche</li> <li>▪ Sensibili alla tensione</li> <li>▪ Sensibili alla pressione e al dolore</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ossa</li> <li>▪ Periostio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Corpuscoli di Pacini</li> <li>▪ Terminazioni libere</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Come sopra</li> <li>▪ Come sopra</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Muscoli</li> <li>▪ Giunzioni miotendinee</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fusi neuromuscolari</li> <li>▪ Organi tendinei di Golgi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sensibili allo stiramento</li> <li>▪ Sensibili alla tensione</li> </ul>

Nelle capsule articolari, nei legamenti e nella membrana sinoviale ci sono quattro tipi di recettori:

- *Tipo I*, simili ai corpuscoli di Ruffini, si presentano come terminazioni capsulate e pluriramificate con scarsa adattabilità e per questo sensibili a stimoli pressori prolungati e intensi. Si trovano negli strati superficiali delle capsule articolari e forniscono informazioni sui movimenti dell'articolazione. Hanno bassa soglia di attivazione e sono recettori a lento adattamento; sono considerati recettori sia statici che dinamici;

- *Tipo II*, simili ai corpuscoli del Pacini, sono strutture complesse costituite da una capsula all'interno della quale è localizzata una fibra amielinica che diventa mielinica all'uscita dall'involucro. Il corpuscolo ha un adattamento rapido, per cui è stimolato solo da stimoli vibratorii o da altre modificazioni meccaniche rapide del tessuto in cui è incluso. Per la loro bassa soglia di attivazione e il loro adattamento rapido sono considerati solo come recettori dinamici;

- *Tipo III*, simili agli organi tendinei del Golgi si trovano nei legamenti, ma non nelle capsule articolari. Sono meccanorecettori ad alta soglia e lento adattamento. Servono a prevenire eccessivi stiramenti a livello articolare;

- *Tipo IV*, rappresentati da terminazioni libere che si ramificano nelle capsule articolari e nei cuscinetti adiposi adiacenti; rispondono a movimenti esagerati delle articolazioni fornendo anche informazioni dolorifiche.

- Infine, nelle ossa e nel periostio, si trovano corpuscoli del Pacini e terminazioni nervose libere<sup>(3)</sup>.

**I fusi neuromuscolari** sono recettori specializzati di forma affusolata compresi tra le fibre muscolari scheletriche e orientati parallelamente alle stesse. Sono eccitati da stiramenti lungo il loro asse maggiore e pertanto quando i muscoli in cui sono contenuti si allungano<sup>(2)</sup>. Sono strutture di 3-10 mm di lunghezza<sup>(2,30)</sup>, formate da una capsula connettivale che circonda da 3 a 12 piccole fibre muscolari striate definite *intrafusali* e fissate con le loro estremità appuntite all'endomysio delle circostanti fibre muscolari *extrafusali*<sup>(2,30)</sup>. Le fibre intrafusali differiscono da quest'ultime per avere un diametro cinque-dieci volte minore, per i nuclei situati nella porzione centrale e per possedere fibrille contrattili esclusivamente nelle porzioni polari.

Si distinguono due tipi di fibre intrafusali:

- *fibre a sacco nucleare*, voluminose, in numero da 1 a 3 per ogni fuso e caratterizzate nella regione equatoriale da un rigonfiamento contenente i nuclei;

- *fibre a catena nucleare*, più sottili e corte, in numero da 2 a 8 per ogni fuso e caratterizzate da una singola fila di nuclei nella parte centrale.

Le fibre intrafusali sono innervate da fibre afferenti (sensitive) e da fibre efferenti (motrici).

**Innervazione afferente.** La porzione recettrice si trova nella parte centrale della fibra intrafusale e riceve due tipi di terminazioni nervose sensitive. Le *terminazioni primarie* o *anulospirali* appartengono a fibre nervose di tipo Ia, di grande diametro (17  $\mu\text{m}$ ) e alta velocità di conduzione (100 m/s). Queste terminazioni avvolgono la parte equatoriale sia delle fibre a sacco nucleare sia di quelle a catena nucleare. Le *terminazioni secondarie* o *a fiorami* sono fibre nervose del tipo II, più sottili e a minor velocità, che terminano nella regione iuxtaequatoriale delle fibre con catena nucleare.

La regione recettrice può essere interessata da uno stiramento sia lento che rapido: nel primo caso si realizza una *risposta statica* che vede un aumento dell'intensità di scarica di entrambe le fibre sensitive direttamente proporzionale al grado di stiramento; tale risposta è dovuta principalmente all'attivazione delle fibre a catena nucleare. Al contrario, se lo stiramento è repentino, si realizza una *risposta dinamica* a carico delle fibre a sacco nucleare, che vedono un'intensa attivazione delle terminazioni primarie

(maggiore di quanto si abbia nella risposta statica) e che si mantiene tale solo per il periodo di stiramento fusale. L'intensità dell'attivazione risulta essere correlata non tanto al grado di variazione di lunghezza quanto piuttosto alla velocità di tale variazione.

Quando la lunghezza cessa di aumentare, il livello di scarica si attenua fino a portarsi a quello della risposta statica e può perdurare anche per qualche minuto; al contrario, se la lunghezza del fuso si riduce, la frequenza di scarica si abbassa bruscamente, a volte fino a cessare, e riprende successivamente al raggiungimento della nuova lunghezza fusale.

**Innervazione efferente.** Le fibre intrafusali sono innervate da fibre mieliniche, le *fibre gamma*, di calibro più piccolo rispetto alle fibre alfa destinate alle fibre extrafusali, che prendono rapporto con le estremità polari contrattili. Le fibre originano da motoneuroni ( $\gamma$ ) contenuti nel corno anteriore del midollo spinale. Le fibre gamma possono essere suddivise in due differenti tipi: gamma-dinamiche (gamma-d) e gamma-statiche (gamma-s). Le fibre a sacco nucleare ricevono principalmente le gamma-d; le fibre a catena nucleare le gamma-s. Quando le fibre gamma dinamiche eccitano le fibre a sacco nucleare la risposta dinamica aumenta notevolmente, mentre la risposta statica risulta smorzata o cessata. Viceversa le fibre gamma-statiche, che eccitano le fibre a catena nucleare, hanno scarsa influenza sulla risposta dinamica e accentuano la risposta statica. L'abbondanza di fusi rispetto alla porzione extrafusale rispecchia la finalità del muscolo in oggetto: muscoli deputati alla realizzazione di movimenti fini saranno provvisti, in rapporto, di un maggior numero di fusi.

**Gli organi tendinei del Golgi (GTO)** sono recettori di forma fusata localizzati in prossimità della giunzione miotendinea. Lunghi circa 0,5 mm e larghi 0,1 mm, sono costituiti da piccoli fascetti di collagene circondati da una capsula connettivale sottile. Una fibra sensitiva piuttosto spessa e provvista di una cospicua guaina mielinica si ramifica tra i fascetti tendinei intracapsulari. In media 10-15 fibre muscolari risultano poste in serie con ogni GTO e questo fa sì che questi recettori, differentemente dai fusi neuromuscolari, siano stimolati da forti stiramenti passivi del muscolo e, soprattutto dalla sua contrazione attiva. Quindi la contrazione del muscolo diminuisce la scarica fusale ed eccita gli organi tendinei, la cui frequenza di scarica è direttamente proporzionale all'entità della contrazione stessa.

Le fibre provenienti da questo recettore sono grosse fibre a conduzione veloce di tipo

Ib. Anche il GTO è in grado di produrre risposte sia dinamiche che statiche. La risposta dinamica si realizza a seguito di un brusco aumento di tensione muscolare che provoca un consistente aumento della frequenza di scarica del recettore; nel giro di una frazione di secondo la scarica si abbassa a un livello che resta costante e direttamente proporzionale alla tensione muscolare (risposta statica)<sup>(2,3)</sup>.

L'importanza fondamentale che i recettori sensoriali dei muscoli ricoprono nell'esecuzione del movimento è stata messa in luce dai lavori di Sherrington che dimostrò come l'isolamento dei recettori muscolari, mediante sezione delle vie nervose, causasse paralisi nonostante il mantenimento delle connessioni dai motoneuroni ai muscoli. Fu quindi evidenziato il ruolo di questi recettori nel trasmettere le informazioni sullo stato del muscolo ai centri motori del midollo spinale, della corteccia cerebrale e del cervelletto e come, in assenza di tali elementi, diventi impossibile inviare un qualsiasi comando motorio al muscolo.

I sistemi motori non controllano soltanto i muscoli collegati all'articolazione coinvolta nel movimento, ma contemporaneamente devono anche agire su altri gruppi muscolari. Quando, per esempio, alziamo un braccio mentre siamo in piedi, prima ancora dei muscoli del braccio verranno contratti quelli degli arti inferiori per impedire che il rapido spostamento del centro di gravità provochi la perdita di equilibrio.

Un'altra dimostrazione della complessità del controllo messo in atto dai sistemi motori è data dall'azione esercitata sui muscoli antagonisti. L'afferrare semplicemente una tazza con una mano ci impone di muovere il nostro braccio lungo una data traiettoria e, per eseguire questo movimento, non è sufficiente controllare i muscoli scheletrici agonisti ma occorre attivare anche gli antagonisti.

Il controllo degli antagonisti non è sempre uguale. In alcuni casi devono essere soltanto rilasciati in modo da permettere agli agonisti di svolgere il movimento con il minor impiego di energia possibile; nel caso di movimenti veloci gli antagonisti devono essere contratti nell'ultima parte del movimento per poter rallentare la velocità impressa all'arto dall'attivazione dei muscoli agonisti<sup>(2)</sup>.

### **I riflessi propriocettivi**

Il riflesso è una risposta fissa e automatica con la quale l'organismo reagisce a un determinato stimolo. Si realizza mediante il collegamento tra la struttura recettrice dello

stimolo e la struttura effettrice della risposta. Questo circuito nervoso si chiama *arco riflesso*. I riflessi più semplici hanno i loro centri nel midollo spinale, altri più complessi coinvolgono centri superiori.

I riflessi vengono suddivisi in viscerali e somatici. I somatici sono distinti nei *riflessi esteroceettivi* (o superficiali come ad esempi il riflesso nervoso addominale, il riflesso plantare cutaneo, etc) e nei *riflessi propriocettivi* (o profondi).

I riflessi propriocettivi profondi sono attivati da stimoli che agiscono su propriocettori. Il significato funzionale di questi riflessi è quello di mantenere la postura, controllare la lunghezza e la forza muscolare e facilitare la locomozione. Fanno parte di questi riflessi: - *il riflesso miotatico fasico*. Una forza applicata su un segmento corporeo modifica l'apertura dell'angolo articolare e provoca l'allungamento dei muscoli coinvolti nell'articolazione stimolando i fusi neuromuscolari. Le fibre afferenti (Ia) dei recettori raggiungono il midollo spinale, e tramite una connessione monosinaptica, i motoneuroni alfa degli stessi muscoli provocandone la contrazione. La contrazione annulla la variazione di lunghezza del muscolo riportando l'articolazione in posizione iniziale (meccanismo a feedback).

- *il riflesso tonico*. E' attivato dalla forza di gravità che tende ad allungare i muscoli antigravitari. Lo stimolo è continuo e la risposta è tonica. Il tono dei muscoli antigravitari è dovuto a questo riflesso, le fibre afferenti attivano interneuroni che scaricano sui motoneuroni in modo continuo a bassa frequenza.

- *il riflesso inverso di stiramento*. L'eccessiva contrazione di un muscolo eccita gli organi tendinei del Golgi le cui fibre afferenti (Ib) terminano nel midollo spinale su interneuroni che inibiscono i motoneuroni alfa innervanti il muscolo. Esse hanno anche connessioni eccitatorie con motoneuroni diretti ai muscoli antagonisti. La frequenza di scarica degli organi di Golgi è direttamente proporzionale all'entità della contrazione muscolare.

## VIE SENSITIVE PROPRIOCETTIVE

**Via dei cordoni posteriori.** Inoltra segnali tattili epicritici e propriocettivi destinati a divenire coscienti da tutti i territori corporei (escluso quelli della faccia). Decorre omolateralmente fino al bulbo.

Il 1° neurone della via è un neurone pseudounipolare contenuto nei gangli spinali il cui

prolungamento centrifugo prende rapporto con recettori tattili e propriocettivi; il prolungamento centrifugo, tramite la radice posteriore, raggiunge il funicolo posteriore omolaterale del midollo spinale, piega a L ed entra nella costituzione dei fascicoli *gracile e cuneato*.

Il fascicolo gracile, situato medialmente, raccoglie la sensibilità della parte inferiore del corpo; è formato dai prolungamenti centrifughi delle cellule gangliari dei nervi spinali inferiori (da Co fino a T5).

Il fascicolo cuneato, posto lateralmente al precedente, raccoglie la sensibilità della parte superiore del corpo; si forma al di sopra del 5° mielomero toracico.

I due fasci terminano nei *nuclei gracile e cuneato* del bulbo, sede del 2° neurone della via. Da questi nuclei originano fibre che incrociano la linea mediana, piegano a L, ed entrano nella costituzione del *lemnisco mediale* che percorre il tronco encefalico ponendosi medialmente al lemnisco spinale. Gli assoni dei neuroni dei nuclei gracile e cuneato raggiungono il nucleo ventrale postero-laterale del talamo, sede del 3° neurone della via.

N.B. A livello dei fascicoli gracile e cuneato le fibre che originano dai gangli spinali più caudali sono poste medialmente, quelle che derivano dai gangli via via più rostrali sempre più lateralmente. A livello della decussazione le fibre subiscono una rotazione di 180°, per cui le fibre che veicolano segnali raccolti dalle porzioni inferiori del corpo si pongono lateralmente, quelle originate dalle porzioni superiori medialmente.

Dal talamo i segnali vengono proiettati alla corteccia cerebrale, circonvoluzione postcentrale, sede dell'area sensitiva primaria (area 3,1,2 della mappa di Brodmann)<sup>(3)</sup>.

**Vie spino-cerebellari.** Sono vie che inoltrano al cervelletto informazioni sulla posizione del corpo e delle sue parti nello spazio. Tali informazioni costituiscono la propriocettività incosciente.

Il 1° neurone delle vie è un neurone pseudounipolare contenuto nei gangli spinali. Il prolungamento centrifugo prende rapporto con i propriocettori, quello centripeto entra nella radice posteriore. Il 2° neurone è localizzato nel nucleo di Clarke del corno posteriore (o nelle border cells). L'assone di questi neuroni piega a L e si porta alla corteccia paleocerebellare (tramite i peduncoli cerebellari inferiori o superiori).

Si distinguono due fasci: la via *spino-cerebellare dorsale* o diretta e la via *spino-cerebellare ventrale o crociata*.

La via spino-cerebellare dorsale proietta alla corteccia paleocerebellare omolaterale afferenze propriocettive e tattili provenienti dal tronco e dagli arti inferiori. Le fibre contenute nelle radici posteriori T1-L3 entrano nel corno posteriore e fanno sinapsi con i neuroni del nucleo di Clarke (situato nei mielomeri da C8-L3). Le fibre contenute nelle radici posteriori L3-S5 penetrano invece nel funicolo posteriore, piegano a L, ed entrano nel fascicolo gracile. Quando hanno raggiunto i primi mielomeri lombari si dirigono in avanti e lateralmente e raggiungono i segmenti caudali del nucleo di Clarke. Gli assoni dei neuroni di Clarke si portano nel funicolo laterale omolaterale, piegano a L e ascendono al cervelletto. N.B. le fibre che provengono dai territori sacrali sono poste dorsalmente, quelle dei territori toracici ventralmente.

Il fascio spino-cerebellare dorsale esce dal midollo spinale e raggiunge la corteccia paleocerebellare tramite il peduncolo cerebellare inferiore.

La via spino-cerebellare ventrale proietta alla corteccia paleocerebellare afferenze propriocettive e tattili provenienti da tutti i territori corporei (esclusi quelli innervati dal trigemello). I prolungamenti centripeti del 1° neurone raggiungono il corno posteriore e prendono rapporto con le border cells. Gli assoni di questi neuroni incrociano la linea mediana ed entrano nel funicolo laterale (ventralmente al fascio spino-cerebellare dorsale e con la medesima somatotopia). Il fascio piega a L, percorre il tronco encefalico fino al mesencefalo, incrocia la linea mediana e raggiunge la corteccia paleocerebellare tramite il peduncolo cerebellare superiore. Questa via crocia quindi due volte, una a livello del midollo e una a livello mesencefalico, rispettando la regola dell'omolateralità delle proiezioni alla corteccia cerebellare.

### **Relazione tra percezione e azione**

Questo argomento è fonte di dibattito da sempre. All'inizio si è cercato di dare più attenzione alla percezione. I cinque sensi tatto, olfatto, vista, gusto e udito sono essenziali per la sopravvivenza; altrettanta importanza riveste però la propriocezione che è strettamente collegata al movimento. Molti studiosi invece hanno messo più in risalto l'azione, ma non bisogna dimenticare che la percezione non è solo interpretare dei messaggi sensoriali, ma anche una simulazione interna dell'azione (si stanno studiando i neuroni specchio che si attivano quando si vede un altro compiere un'azione). Nella realtà azione e percezione sono collegate e interdipendenti.

Le informazioni propriocettive sono necessarie per il controllo motorio, ma anche vista,



udito e tatto forniscono informazioni sull'ambiente che ci circonda. Tutte queste informazioni sono essenziali per la pianificazione dei movimenti e per la loro esecuzione.

Le informazioni sono usate per correggere gli errori di movimento attraverso meccanismi di controllo:

- *Feedback*: retroazione, risposta correttiva susseguente alla rilevazione di una perturbazione da parte dei sistemi di controllo<sup>(30)</sup>. Mantengono costante una variabile, come la posizione di un'articolazione o la forza esercitata da un muscolo, o la modulano (processi di regolazione). Nel SNC i meccanismi a feedback vengono usati solo per movimenti lenti e nel controllo degli atti motori sequenziali perché il loro tempo di elaborazione è lungo<sup>(3)</sup>.

- *Feedforward*: anticipazione, possibilità della messa in atto di uno schema anticipatorio<sup>(30)</sup>, basato su informazioni sensitive derivanti da esperienze passate, prima che si manifestino eventi che lo possano influenzare (es: afferrare una palla). Sono più rapidi<sup>(3)</sup>.

I sensori sono comuni a entrambi i sistemi di controllo ma il modo in cui le informazioni sono elaborate sono differenti<sup>(3)</sup> e la loro gestione estremamente complessa<sup>(30)</sup>. Si presume che la maggior parte dei movimenti sia controllato in modo intermittente (cioè usa entrambi i sistemi), come a volte accade nel mantenimento della postura<sup>(3,30)</sup>. Con l'esercizio che porta all'uso progressivo dei meccanismi a feedback e feedforward i movimenti vengono raffinati. Con l'esercizio si impara sempre meno a utilizzare il feedback e si può migliorare sia in velocità che in precisione (di solito i movimenti più veloci sono meno precisi).

## 5 - MATERIALI E METODI

Per raccogliere i dati necessari per questa tesi ho effettuato una revisione della letteratura usando le banche dati online PubMed e PEDro.

Per la selezione degli studi sono state utilizzate le parole chiave “proprioception” e “rehabilitation ACL”; inoltre gli articoli dovevano essere review, in lingua inglese, pubblicati entro 10 anni e free full text.

Ho eliminato gli articoli non inerenti all’argomento e quelli in cui la riabilitazione propriocettiva era utilizzata insieme ad altre tecniche.

Al termine della ricerca bibliografica sono stati selezionati i seguenti 6 articoli:

1	Kruse L.M., Gray B., Wright R.W. (2012), Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction, <i>J.Bone Joint Surg Am.</i> , 94, 1737-1748
2	Akbari A., Ghiasi F., Hosseinifar M. (2015), The effects of balance training on static and dynamic postural stability indices after acute acl reconstruction, <i>Glob.J.Health Sci.</i> , 8, 68-81
3	Bien D.P., Dubuque T.J. (2015), Considerations for late stage acl rehabilitation and return to sport to limit re-injury risk and maximize athletic performance, <i>Int.J.Sports Phys.Ther.</i> , 10, 256-271
4	Viggiano D., Corona K., cerciello S., Vasso M., Schiavone-Panni A. (2014), The kinematic control during the backward gait and knee proprioception: insights from lesions of the anterior cruciate ligament, <i>J.Hum.Kinet.</i> , 41, 51-57.
5	An K.O., Park D., Lee J.C. (2015), Effects of acceleration training 24 weeks after anterior cruciate ligament reconstruction on proprioceptive and dynamic balancing functions, <i>J.Phys.Ther.Sci.</i> , 27, 2825-2828
6	Ma Y., Deie M., Iwaki D., Asaeda M., Fujita N., Adachi N., Ochi M. (2014), Balance ability and proprioception after single-bundle, single-bundle augmentation and double-bundle acl reconstruction, <i>ScientificWorldJournal</i> , 2014, 342012

## 6 – REVISIONE DELLA LETTERATURA

**Primo articolo**<sup>(31)</sup> La review prende in considerazione 85 articoli dal 2006 al 2010. Di questi ho tenuto conto esclusivamente degli articoli riguardanti la propriocezione.

**Risultati:** sono riportati nelle tabella 1 e 2.

### **Discussione:**

Dall'analisi dei dati è emerso che gli esercizi neuromuscolari hanno avuto poco significato in quanto non diminuiscono di molto i tempi per ritornare all'attività fisica. Si è visto inoltre che questi esercizi devono essere accompagnati da quelli di forza e di range of motion.

Tabella 1: Studi sull'allenamento neuromuscolare			
<b>Studio (livello di evidenza)</b>	<b>N. di pz /gruppi</b>	<b>Differenze tra i gruppi</b>	<b>Randomizzazione</b>
Risberg et al. (1)	74/2	6 mesi di allenamento neuromuscolare vs. allenamento di forza	Il computer ha assegnato casualmente le persone
Brunetti et al. (1)	30/2	Vibrazioni vs. placebo	Non specificato
Moezy et al. (1)	23/2	WBVT vs. terapia convenzionale per 1 mese	Non specificato
Benazzo et al. (1)	69/2	PEMF vs. placebo	Non specificato
Cooper et al. (2)	29/2	6 settimane di allenamento propriocettivo/equilibrio vs. allenamento di forza	Non specificato
Vathrakokilis et al. (2)	24/2	8 settimane di allenamento vs riabilitazione radizionale	Non specificato
Hartigan et al. (2)	19/2	Allenamento con perturbazioni vs. solo allenamento di forza preoperazione	Non specificato
Hartigan et al. (2)	40/2	Allenamento con perturbazioni vs. solo allenamento di forza preoperazione	Non specificato

VAS = visual analog scale, SF-36 = Short Form-36, BTB = bone-patellar tendon-bone, IKDC = International Knee Documentation Committee, WBVT = whole-body vibration training, PEMF = pulsed electromagnetic field, NSAID = nonsteroidal anti-inflammatory drug, and KOS-ADLS = Activities of Daily Living Scale of the Knee Outcome Survey.

Tabella 2			
Parametri misurati	Risultati significativi	Metodo LCA	Bias
Cincinnati knee score, VAS pain and function, SF-36, hop test, forza, propiocezione, equilibrio, lassità	Grande forza flessoria nel gruppo di allenamento di forza a 1 e 2 anni; migliorata la VAS function precedente ai 2 anni	BTB	Selection
Single-leg balance, momento torcente dei quadricipiti, IKDC, SF-36	Migliorato il Single-limb balance, migliorato il momento torcente ai 90 e 270 giorni	Hamstring	Selection
Stabilità posturale, propiocezione	Il gruppo WBVT ha avuto un grande miglioramento nella stabilità e nella propiocezione durante il trattamento	BTB	No long-term follow-up
IKDC, SF-36, VAS, NSAID use	Recupero più rapido e diminuzione NSAID use nel gruppo PEMF; nessuna differenza ai 24 mesi	Hamstring	Attrition
Cincinnati knee score, scale funzionali, range of motion, hop test	Nessuna differenza tra i gruppi dopo 6 settimane	BTB	Selection
Biodex stability system	Risultati migliori nel gruppo di equilibrio	Hamstring autograft	Treatment
Contrazione del quadricipite ed escursione del ginocchio durante il cammino	A 6 mesi dall'intervento: il gruppo di perturbazioni ha avuto un miglioramento dell'escursione del ginocchio paragonabile al gruppo di sola forza	Hamstring autograft o allograft	
Forza dei quadricipiti, hop test, KOS-ADLS, global rating scale, pass vs. fail return to sport	Nessuna differenza clinicamente significativa tra i gruppi a 3, 6, o 12 mesi	Hamstring autograft o allograft	

**Secondo articolo**<sup>(32)</sup> **Obiettivi:** in questo studio si sono valutati gli effetti degli esercizi di equilibrio e di stabilità posturale nel primo periodo di riabilitazione in soggetti che hanno subito la ricostruzione del LCA.

**Materiali e metodi:** sono stati costituiti 2 gruppi da 24 soggetti, uno con un programma di esercizi di equilibrio, l'altro con soggetti sani. Il primo gruppo ha eseguito gli esercizi per 2 settimane; prima e dopo l'intervento sono stati misurati gli indici di stabilità anteroposteriore e mediolaterale con il Biodex Balance System monolateralmente e bilateralmente a occhi chiusi e aperti.

**Risultati:** nello studio è stato dimostrato che gli esercizi propriocettivi e di equilibrio migliorano la stabilità posturale nel primo periodo di riabilitazione nei soggetti con deficit al LCA. Nell'articolo si è inoltre evidenziato che non ci sono indicazioni contrarie all'allenamento neuromuscolare e pertanto può essere utilizzato per i pazienti operati al LCA.

**Terzo articolo**<sup>(33)</sup> **Obiettivi:** nello studio gli autori si sono proposti di cercare le cause per cui un'elevata percentuale di atleti, anche dopo la riabilitazione, continua ad avere deficit al LCA ricostruito. I deficit che persistono sono: di forza, attivazione muscolare, potenza, stabilità posturale, biomeccanica alterata. In molti pazienti, inoltre, questi fattori influiscono a livello psicologico in maniera negativa e il movimento alterato aumenta il rischio di infortunio. Lo scopo dello studio è di riconoscere, valutare e affrontare questi fattori che hanno un'influenza significativa nella riabilitazione della rottura del LCA.

**Materiali e metodi:** nella review sono stati esaminati 136 articoli.

**Risultati:** la ricerca ha mostrato che l'allenamento isolato di forza non garantisce la corretta cinematica di anca e ginocchio. Questo suggerisce che i deficit di forza e di attivazione muscolare sono dei fattori importanti che comportano una non ottimale performance e contribuiscono al rischio di re-infortunio. Aggiungendo al solo allenamento di forza quello neuromuscolare che simula in maniera più specifica i pattern di movimento, stimolazioni interne ed esterne a cui un atleta va incontro durante l'attività, si ottiene una biomeccanica ottimale.

Negli ultimi anni è stato osservato che 1/3 delle persone operate al LCA sono state poi

operate al LCA controlaterale. Una possibile causa di questo fenomeno potrebbe essere il non aver effettuato una corretta riabilitazione. Questo ha indotto a dare maggiore importanza all'allenamento neuromuscolare e ad associarlo ad altre tecniche riabilitative.

Testare la qualità del movimento è fondamentale per il ritorno all'attività sportiva, per farlo si utilizzano il FMS e Y Balance Test che sono stati validati dalla letteratura come test che misurano il rischio di infortunio. La qualità del movimento, in più, deve essere accompagnata dalla velocità e forza richieste dall'attività stessa.

L'allenamento dovrà tenere conto dei gesti che aumentano il rischio di infortunio come saltare, cambiare direzione, etc.

Gli autori, tramite le tecniche di allenamento neuromuscolare, hanno cercato le strategie adeguate per migliorare il controllo motorio e ridurre il rischio di infortunio.

**Quarto articolo<sup>(34)</sup> Obiettivi:** in questo studio si sono analizzate le differenze tra un'attività automatica come il cammino e una non automatica come il cammino all'indietro.

**Materiali e metodi:** si è utilizzato un tapis-roulant con 5 diverse velocità (da 1 a 5 km/h) e sono stati creati 3 gruppi: uno composto da persone con un LCA che ancora presenta deficit dopo l'operazione, uno composto con un LCA che ha avuto un buon recupero post-operatorio e uno composto da soggetti sani.

L'accorciamento del passo risulta essere una strategia utilizzata dal SNC in presenza di incertezza o instabilità. La camminata all'indietro è caratterizzata da un accorciamento del passo e una maggior variabilità tra un passo e un altro.

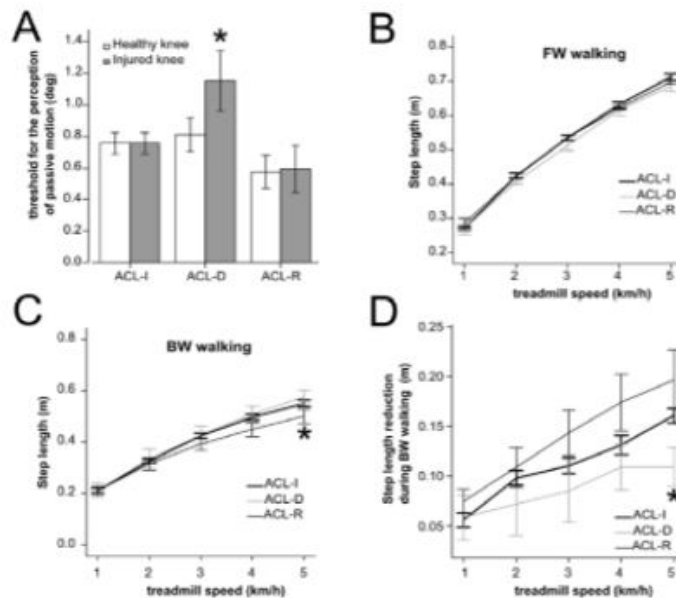
Quindi in prima ipotesi la camminata all'indietro può essere importante per dare le informazioni propriocettive all'arto inferiore sulla corretta lunghezza dei passi. Per dimostrarla è stato comparato il gruppo con LCA deficitario (LCA-D) con il gruppo LCA ricostruito (LCA-R) e con quello con LCA intatto (LCA-I).

Ai soggetti è stato chiesto di camminare sul tapis-roulant con un incremento di 1 km/h, successivamente di ripetere l'operazione ma camminando all'indietro.

**Risultati:** sono mostrati nelle seguenti tabelle.

**Table 1**  
*IKDC and Tegner & Lysholm scales in the experimental groups (mean±S.D.)*

Group	Tegner & Lysholm	IKDC
ACL-I (intact)	99.88±0.35	99.14±2.44
ACL-D (damaged)	68.86±18.18	64.41±15.45
ACL-R (repaired)	93.38±5.58	91.26±5.48



**Figure 1**

*Knee proprioception and gait parameters during forward and backward walking in anterior cruciate ligament (ACL)-deficient subjects*

*A: Subjects with ACL deficiency show a reduction in knee conscious proprioception measured as a threshold for the perception of passive motion. The healthy knee shows normal sensibility, comparable to that of control subjects and subjects with a reconstructed ACL.*

*B: step length during treadmill walking at different speeds.*

*C: step length during treadmill walking in backward direction, at different speeds.*

*D: reduction of step length during backward walking at different speed.*

*Subjects with ACL damage show smaller correction of step length compared to controls.*

*ACL-I: intact ACL. ACL-D: damaged ACL; ACL-R: reconstructed ACL. Asterisk:  $p < 0.05$  vs controls.*



Il dato principale che risulta da questo studio è che i pazienti con una scarsa propiocezione (gruppo-D), dopo la lesione al LCA, non adottano la strategia di accorciamento del passo durante il cammino all' indietro. Viceversa quelli che hanno recuperato quasi completamente (gruppo-R) adottano la strategia di accorciare il passo ma con un'ipercorrezione durante il cammino all'indietro. Questa osservazione suggerisce che una migliore propiocezione e/o la stabilità del ginocchio sono necessari per indurre la riduzione della lunghezza del passo.

La camminata all'indietro, in quanto inusuale e non automatica, è importante per capire il controllo motorio nel cammino. Tuttavia, le ragioni per cui durante questo cammino venga adottato l'accorciamento del passo non sono ancora chiare.

**Quinto articolo<sup>(35)</sup> Obiettivi:** questo studio si propone di trovare se gli effetti, dopo riabilitazione propriocezionale del LCA, sono diversi tra maschi e femmine.

**Materiali e metodi:** sono stati creati 2 gruppi di soggetti tra i 20 e i 30 anni divisi per sesso.

Nel primo periodo di riabilitazione (12 settimane) si è utilizzato il programma di riabilitazione di Shelbourne e Nitz per tre volte alla settimana in ospedale. Dalla 12esima alla 24esima settimana i pazienti hanno fatto una seduta alla settimana in ospedale e due volte alla settimana a casa secondo uno specifico programma.

I test per valutare la propiocezione sono stati due:

- Active joint position sense (AJPS);
- Passive joint position sense (PJPS).

Per valutare l'equilibrio dinamico si è utilizzato il Biodex Medical System Co. e sono stati analizzati i risultati prima dell'operazione, a 12 settimane e a 24 settimane.

## Risultati:

**Table 1.** Changes in the proprioceptive functions of the groups according to the measurement period

Category			Prior to the operation	12 weeks after the operation	24 weeks after the operation	Hypothesis test result
Affected side	Extension	Male	41.1±7.4	40.4±7.8	38.0±8.2	A*
	AJPS (°)	Female	43.6±8.1	43.7±9.7	45.3±7.3	
	Extension	Male	53.3±7.9	54.1±3.0	53.5±4.5	
	PJPS (°)	Female	58.8±6.9	53.0±6.9	51.7±7.6	
	Flexion	Male	35.0±6.3	37.7±6.1	39.3±7.6	
	PJPS (°)	Female	33.3±6.9	41.3±10.5	40.8±6.4	
Unaffected side	Extension	Male	41.8±4.7	42.8±3.9	41.4±7.0	A***
	AJPS (°)	Female	44.1±8.6	45.1±4.8	48.7±7.0	
	Extension	Male	50.1±9.7	50.5±8.3	49.1±4.7	
	PJPS (°)	Female	55.7±10.7	52.1±7.5	53.5±8.0	
	Flexion	Male	30.6±5.5	36.6±5.1	38.8±5.8	
	PJPS (°)	Female	29.7±9.1	33.8±8.2	38.5±7.6	

AJPS: Active Joint Position Sense, PJPS: Passive Joint Position Sense

Values are presented as mean ± SD

A: Period

\*p < 0.05, \*\*\*p < 0.001

**Table 2.** Changes in the dynamic balance functions of the groups according to the measurement period

Category			Prior to the operation	12 weeks after the operation	24 weeks after the operation	Hypothesis test result
Affected side	Overall	Male	1.6±0.5	1.5±0.9	1.6±1.0	B*
	actual score	Female	1.5±0.6	1.1±0.3	1.0±0.4	
Unaffected side	Overall	Male	1.8±0.8	1.5±0.4	1.8±1.0	
	actual score	Female	1.4±0.5	1.1±0.4	1.0±0.6	

Values are presented as mean ± SD

B: Group

\*p < 0.05

Nel lato colpito si è visto un miglioramento significativo nel tempo solo nella flessione PJPS. Il miglioramento a 12 settimane dall'operazione è considerato il risultato dell'applicazione di un allenamento neuromuscolare appropriato nel primo periodo di riabilitazione. L'allenamento propriocettivo deve essere iniziato il prima possibile in quanto il controllo motorio può prevenire infortuni e migliorare la sensibilità durante il movimento.

Nonostante non siano state riscontrate differenze statisticamente significative tra il gruppo femminile e il gruppo maschile nell'equilibrio dinamico, una valutazione complessiva di tutti i dati raccolti porta a concludere che il gruppo femminile rispetto al maschile tende a avere un migliore equilibrio dinamico a 24 settimane dall'operazione.

**Sesto articolo<sup>(36)</sup> Obiettivi:** in questo studio si è voluto valutare l'influenza delle tecniche di ricostruzione del LCA, singolo fascio (SB), rinforzo del singolo fascio (SBA), doppio fascio (DB), sull'abilità di equilibrio e la funzione propriocettiva.

**Ipotesi di partenza.** La tecnica migliore è quella che ripristina la corretta struttura anatomica del legamento che comprende il fascio anteromediale (AM) e posterolaterale (PL). Le tecniche DB e SBA riproducono meglio la cinematica del ginocchio rispetto al SB. In base alle precedenti considerazioni, gli autori hanno ipotizzato che il gruppo DB, nell'abilità di equilibrio e nella propriocezione, possa ottenere risultati migliori rispetto al gruppo SB e simili al gruppo SBA.

**Materiali e metodi:**

**Abilità di equilibrio:** i pazienti utilizzano la G-620 e devono mantenere per 20 secondi la posizione di un arto inferiore a occhi chiusi.

**Funzione propriocettiva del ginocchio:** è misurata da una macchina apposita prima dell'operazione, a 6 e a 12 mesi dall'operazione.

Il paziente è seduto con la fossa poplitea distante 5 cm dal bordo. Nell' arto inferiore da testare viene inserito un air splint (dispositivo di plastica pieno d'aria che ha lo scopo di immobilizzare una parte del corpo) sul piede e sulla caviglia per eliminare ogni stimolazione cutanea e diminuire gli input neurali dei meccanocettori. Durante il test sono utilizzate delle cuffie insonorizzanti per evitare interferenze acustiche esterne.

Gli assi di movimento sono connessi a un trasduttore interfacciato con un computer che ne legge i risultati (tempo di reazione del movimento passivo).

I pazienti sono istruiti a schiacciare un pulsante quando sentono il movimento del ginocchio e devono dire se si tratta di flessione o di estensione. La velocità di movimento della macchina è di 0,2°/s. Il tempo di risposta viene misurato e analizzato.

**Stabilità del ginocchio:** è stata misurata la lassità in anteroposteriore del ginocchio pre e post intervento dalla Knee Lax3. Sono state misurate entrambe le articolazioni del ginocchio ripetendo la misurazione per 3 volte e prendendo come dato di riferimento il massimo spostamento. Successivamente si è sottratto il valore del ginocchio sano con quello del ginocchio operato.

**Forza del quadricipite e ischiocrurali:** per misurare la forza dei muscoli del ginocchio è stata utilizzata la Biodex Multi-Joint System 3. Il paziente viene fatto sedere sulla

macchina e fissato con delle cinghie. La resistenza è stata posta sulla tibia il più distalmente possibile. Il centro di rotazione della leva è stato allineato il più accuratamente possibile con l'asse del condilo laterale di flessione-estensione. Il range di movimento del ginocchio va da 0° a 90°. Sono state effettuate cinque contrazioni concentriche massimali in maniera isocinetica di 60°/s. Il massimo momento è stato relazionato con il peso e utilizzato nell'analisi statistica.

**Analisi statistica:** come sistema di analisi statistica è stato utilizzato l'ANOVA. Sono state prese le differenze nel tempo e tra i diversi gruppi.

**Risultati:**

**Body sway** (oscillazione orizzontale dalla proiezione verticale del centro di massa):

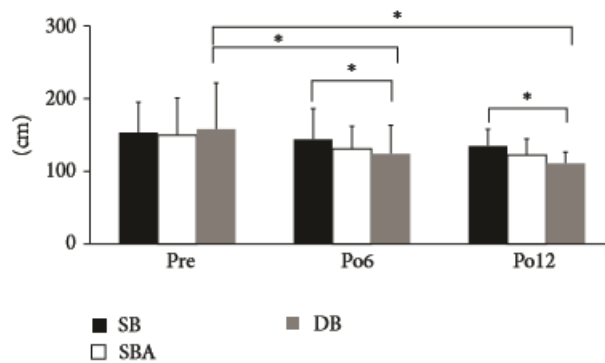


FIGURE 3: Total length of center of pressure. The value in the DB reconstruction was significantly shorter than that in the SB reconstruction at 6 and 12 months after ACL-R (\* $P < 0.05$ ). In the DB reconstruction, the values at 6 and 12 months after ACL-R were significantly shorter than the preoperative value (\* $P < 0.05$ ).

**TTDPM** (tempo di reazione per rilevare se il movimento è di flessione o di estensione):

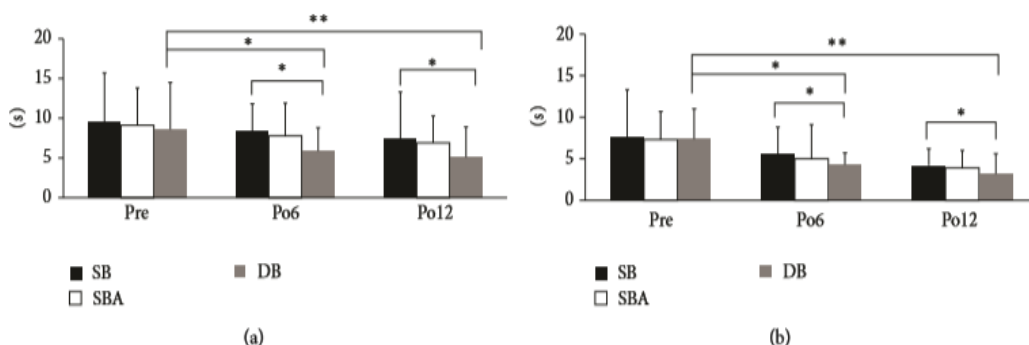


FIGURE 4: Proprioceptive reaction time for the knee in extension (a) and flexion (b). The time in the DB reconstruction was significantly shorter than that in the SB reconstruction at 6 and 12 months after ACL-R (\* $P < 0.05$ ). In the DB reconstruction, the times at 6 and 12 months after ACL-R were significantly shorter than the preoperative value ( $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ ).

### Stabilità anteroposteriore:

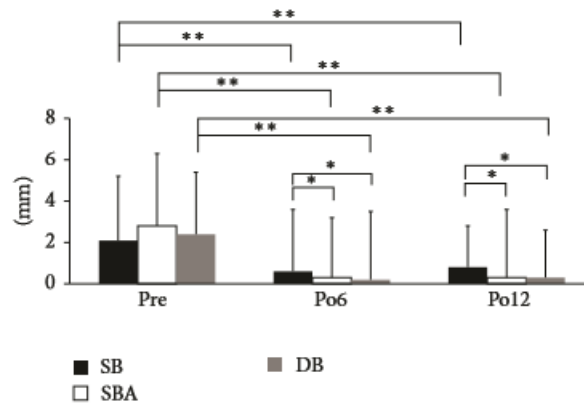


FIGURE 5: Knee stability measured by KT-2000. The values with the SBA and DB reconstruction were significantly lower than that with the SB reconstruction at 6 and 12 months after ACL-R (\*  $P < 0.05$ ). In all reconstructions, the values at 6 and 12 months after ACL-R were significantly lower than the preoperative value ( $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ ).

### Forza del quadricipite e ischiocrurali:

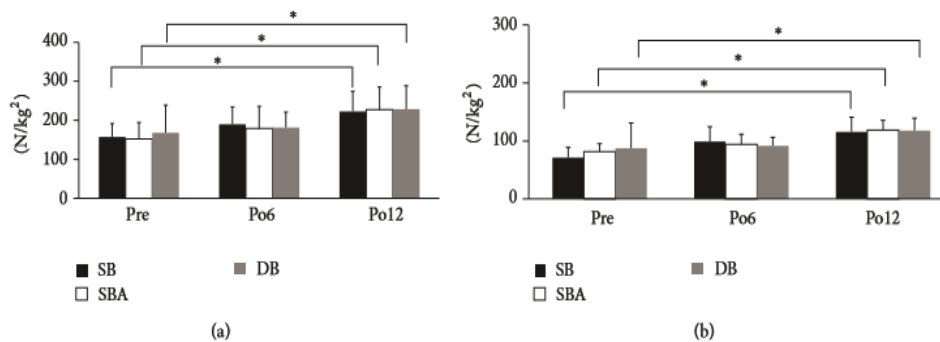


FIGURE 6: Preoperative and postoperative muscle strength for the knee in extension (a) and flexion (b). The values at 12 months after ACL-R were significantly larger than the preoperative value with each reconstruction (\*  $P < 0.05$ ).

### Discussione:

I risultati ottenuti vanno a confermare l'ipotesi iniziale. Dallo studio infatti si è rilevato che l'abilità di equilibrio (misurata con il body sway) e la funzione propriocettiva (misurata con il TTDPM) sono migliori nei pazienti operati con DB rispetto ai SB a 6 e 12 mesi. La stabilità meccanica del ginocchio (misurata dalla stabilità anteroposteriore) è migliore nei DB rispetto ai SBA a 6 e 12 mesi.

Per quanto riguarda la forza del quadricipite e degli ischiocrurali non si hanno grosse

differenze tra i gruppi.

Un limite di questo studio è il non aver considerato che la forza muscolare possa essere influenzata da età, sesso, corporatura e tempo di attesa per l'operazione; un'altra criticità è non aver tenuto conto dello spessore del legamento rimasto integro nei SBA.

## 7 – CONCLUSIONI

Dopo aver analizzato questi articoli, riguardanti sotto vari aspetti la propriocezione nella riabilitazione del LCA, ho tratto alcune conclusioni:

- la rieducazione propriocettiva è importantissima nella prima fase dell'intervento riabilitativo in quanto migliora il controllo motorio, la stabilità posturale, la sensibilità durante il movimento e riduce il rischio di infortunio;
- aggiungendo all'allenamento di forza quello neuromuscolare, che simula in maniera più specifica i pattern di movimento e le stimolazioni interne ed esterne a cui un atleta va incontro durante l'attività sportiva si ottiene la biomeccanica ottimale;
- un aspetto che rivela la presenza di un deficit propriocettivo consiste nel fatto di non adottare la strategia di accorciamento del passo durante il cammino all'indietro;
- un migliore equilibrio dinamico a 6 mesi dall'operazione è stato riscontrato nei pazienti di sesso femminile rispetto a quelli di sesso maschile;
- l'abilità di equilibrio e la funzione propriocettiva risultano migliori nei pazienti operati con DB rispetto ai SB a 6 e 12 mesi; inoltre la stabilità meccanica del ginocchio è migliore nei DB rispetto ai SBA a 6 e 12 mesi;
- la rieducazione propriocettiva, tuttavia, non diminuisce i tempi del ritorno all'attività sportiva; è perciò consigliabile che questi esercizi siano accompagnati da quelli di forza e di range of motion.

### **Quesiti in sospeso e ricerca futura**

Negli studi esaminati, a mio parere, non sono stati presi in considerazione aspetti importanti quali:

- **componente psicologica:** deve essere considerata in quanto può cambiare in senso positivo o negativo diversi aspetti come l'alleanza terapeutica, le

tempistiche, la qualità della riabilitazione, il rischio di infortunio, etc;

- **componente ortopedica:** si è visto che la tecnica di ricostruzione SB è superata; inoltre non è ancora chiaro quale sia migliore tra DB e SBA oppure quando sia preferibile l'una o l'altra;
- **integrazione con il training di forza:** si ritiene che la rieducazione propriocettiva sia importante, ma da sola non sia completa; si rende pertanto necessario trovare la giusta integrazione tra il training neuromuscolare e quello di forza.



## BIBLIOGRAFIA

- 1) Luciana Travan, Franco Favaro, Piera Rossitti, Leo Iona (2003); "Dall'anatomia al movimento", Poletto Editore, 196-202.
- 2) Roberto Nicoletti, Anna M. Borghi (2007); "Il controllo motorio", il Mulino editore.
- 3) Pietro Enrico di Prampero, Arsenio Veicsteinas e di autori vari (2002); "Fisiologia dell'uomo", edi-ermes editore.
- 4) Silvano Ferrari, Paolo Pillastrini, Marco Testa, Carla Vanti (2010); "Riabilitazione post-chirurgica nel paziente ortopedico", Elsevier Masson editore.
- 5) C.Kisner – L.A. Colby (2010); "L'esercizio terapeutico - Principi e tecniche di rieducazione funzionale", Piccin editore.
- 6) S.Brent Brotzman, Kevin E.WIIK (2008); "Manuale di riabilitazione in ortopedia", Elsevier Masson editore, 293-317.
- 7) Alli Gokeler et al.; Br J Sports Med: 2012 Mar; 46 (3): 180-92; "Proprioceptive deficits after ACL injury: are they clinically relevant?".
- 8) Karasel S. et al. Acta Orthop Traumatol Turc.: 2010; 44 (3):220-8; "Clinical and functional outcomes and proprioception after a modified accelerated rehabilitation program following anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon autograft".
- 9) Azar Moezy et al; Br J Sport Med.: 2008 May 42 (5): 373-8; "A Comparative Study of Whole Body Vibration Training and Conventional Training on Knee Proprioception and Postural Stability after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction".
- 10) Cooper RL. et al; Res Sports Med.:2005 Apr-Jun; 13(2): 163-78; "A systemic review of the effect of proprioceptive and balance exercises on people with an injured or reconstructed anterior cruciate ligament".
- 11) Ageberg E. et al.; Am J Sports Med.: 2005 Oct; 33(10):1527-35; "Balance in Single-Limb Stance in Patients With Anterior Cruciate Ligament Injury Relation to

Knee Laxity, Proprioception, Muscle Strength, and Subjective Function”.

- 12) Howells BE. et al.; *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.*: 2011 Jul 19(7): 1168-77; “Is postural control restored following anterior cruciate ligament reconstruction? A systematic review”.
- 13) Shi DL. et al.; *Chin Med J (Engl)*: 2010 Nov; 123 (21):3137-42; “Effect of anterior cruciate ligament reconstruction on biomechanical features of knee in level walking: a meta-analysis”.
- 14) Van Grinsven S. et al.; *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc.*: 2010 Aug; 18(8):1128-44; “Evidence-based rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction”.
- 15) Lee HM. et al.; *Knee.*: 2009 Oct; 16(5):387-91; “Correlation between proprioception, muscle strength, knee laxity, and dynamic standing balance in patient with chronic anterior cruciate ligament deficiency”.
- 16) Zhou MW. Et al.; *Chin Med J.*: 2008 Nov 20; 121(22):2224-8; “Factors affecting proprioceptive recovery after anterior cruciate ligament reconstruction”.
- 17) Bonfim TR. et al.; *Neurosci Lett.*: 2008 Aug 29; 441(3):257-60; “Additional sensory information reduces body sway of individuals with anterior cruciate ligament injury”.
- 18) Boerboom AL. et al.; *Gait Posture*: 2008 Nov; 28(4): 610-4; “Validation of a method to measure the proprioception of the knee”.
- 19) Anders JO. et al. ; *Int Orthop.*: 2008 Oct; 32(5): 627-33; ”Proprioceptive skills and functional outcome after anterior cruciate ligament reconstruction with a bone-tendon-bone graft”.
- 20) Risberg MA. et al.; *Phys Ther.*: 2007 Jun, 87(6):737-50; “Neuromuscular Training Versus Strength Training During First 6 Months After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Randomized Clinical Trial”.
- 21) Owen J.L. et al.; *Phys Ther.*: 2006; 86:1436-1440; “is there evidence that proprioception or balance training can prevent anterior cruciate ligament (ACL) injuries in athletes without previous ACL injury?”.

- 22) Héroux ME. et al.; Arch Phys Med Rehabil.: 2005 jul; 86(7):1362-8; "Weight discrimination after anterior cruciate ligament injury: a pilot study".
- 23) Hiemstra LA. et al.; Clin J Sport Med.: 2004 Sep; 14(5):274-80; "Hamstring and Quadriceps Strength Balance in Normal and Hamstring Anterior Cruciate Ligament-Reconstructed Subjects".
- 24) Bonfim TR. et al.; Arch Phys Med Rehabil.: 2003 Aug; 84(8):1217-23; "Proprioceptive and behavior impairments in individuals with anterior cruciate ligament reconstructed knees".
- 25) Doorenbosch CA. et al.; Clin Biomech. (Bristol, Avon): 2003 Feb; 18(2):142-9; "A clinically applicable EMG-force model to quantify active stabilization of the knee after a lesion of the anterior cruciate ligament".
- 26) Reider B. et al.; Arthroscopy.: 2003 May; 34(3):141-9; "Proprioception of the knee before and after anterior cruciate ligament reconstruction".
- 27) Fremerey RW. et al.; J Bone Joint Surg.: 2000 Aug; 82(6):801-6; "Proprioception after rehabilitation and reconstruction in knees with deficiency of the anterior cruciate ligament".
- 28) Carter ND. et al.; Br J Sport Med.: 1997 Sep; 31(3):209-12; "Joint position sense and rehabilitation in the anterior cruciate ligament deficient knee".
- 29) Bonnel F., Jaeger S.H., Mansat C.H.: 1987; "Le lassità croniche del ginocchio"; Oriens editore, Roma.
- 30) Angeluzzi M., De Angelis M., Valenti M.: 2006; Ital J Sport Sci; 13:99-163; "Progettazione di un nuovo protocollo per lo studio del controllo fine della forza muscolare";
- 31) L.M. Kruse, MD, B. Gray, MD, and R.W. Wright; 2012 October; 3; "MD rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction";
- 32) Asghar Akbari, Fateme Ghiasi, Mohsen Mir & Mohammad Hosseinifar; 2015 July, 30; "The effects of balance training on static and dynamic postural stability indices after acute acl reconstruction";
- 33) Daniel P. Bien, PT, OCS, CSCS1 Thomas J. Dubuque; 2015 April "Considerations

for late stage acl rehabilitation and return to sport to limit re-injury risk and maximize athletic performance";

34) Davide Viggiano, Katia Corona, Simone Cerciello, Michele Vasso, Alfredo Schiavone-Panni; 2014 June; "The kinematic control during the backward gait and knee proprioception: insights from lesions of the anterior cruciate ligament";

35) Keun Ok An, Gi Duck Park, Joong-Chul Lee; 2015 June, 9; "Effects of acceleration training 24 weeks after anterior cruciate ligament reconstruction on proprioceptive and dynamic balancing functions";

36) Yubao Ma, Masataka Deie, Daisuke Iwaki, Makoto Asaeda, Naoto Fujita, Nobuo Adachi, Mitsuo Ochi; 2014 December, 31; "Balance ability and proprioception after single-bundle, single-bundle augmentation and double-bundle acl reconstruction".