



**I.S.F.O.A. HOCHSCHULE FÜR SOZIALWISSENSCHAFTEN UND MANAGEMENT LIBERA E PRIVATA UNIVERSITÀ DI
DIRITTO INTERNAZIONALE INTERNATIONAL OPEN UNIVERSITY UNIVERSITÀ TELEMATICA A DISTANZA ENTE DI
RICERCA SENZA SCOPO DI LUCRO E DI INTERESSE GENERALE**

**Istituzione Privata Svizzera di Istruzione Superiore Universitaria e di Ricerca Accademica di Qualità
Internazionale**

CORSO DI LAUREA

IN

SCIENZE MOTORIE L22

IL RECUPERO FUNZIONALE DEL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE

Relatore

Prof.re Radaelli Massimo

Laureando

Lenzarini Christian

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

Indice

Introduzione	pag. 3
Capitolo 1 - Il ginocchio: descrizione anatomica	pag. 4
1.1 Breve descrizione anatomica	pag. 4
1.1.1 Le articolazioni	pag. 5
1.1.2 I menischi	pag. 7
1.1.3 Capsula articolare e borse	pag. 8
1.1.4 I legamenti	pag.10
1.1.5 Il legamento crociato anteriore	pag.12
1.1.5.1 Principali cause, incidenza e recidive	pag.13
1.1.5.2 Diagnosi di lesione del legamento crociato anteriore	pag.15
Capitolo 2 - Fisiologia articolare e biomeccanica	pag.16
2.1 I principali muscoli del ginocchio	pag.16
2.1.1 Compartimento anteriore: breve descrizione anatomica	pag.17
2.1.2 Compartimento posteriore: breve descrizione anatomica	pag.20
2.2 Accenni di biomeccanica ed artrocinematica del ginocchio	pag.23
2.2.1 I movimenti del ginocchio	pag.24

2.2.2 I movimenti di Slide e Roll	pag.25
2.2.3 Accenni alla biomeccanica dell'estensione del ginocchio	pag.30
Capitolo 3 - Rieducazione funzionale del legamento crociato anteriore	pag.31
3.1 Le basi della rieducazione funzionale	pag.31
3.2 La Propriocezione	pag.32
3.2.1 La propriocezione nel ginocchio	pag.33
3.3 Le catene cinetiche	pag.37
3.3.1 Gli esercizi in sala pesi	pag.42
3.4 La prevenzione delle recidive in sala pesi	pag.47
Conclusioni	pag.53
Bibliografia	pag.55
Sitografia	pag.59

Introduzione

Il Legamento Crociato Anteriore (LCA) è una struttura fondamentale per la stabilità del ginocchio. La sua lesione è un infortunio molto comune, che può avvenire in seguito a traumi diretti o indiretti. In entrambi i casi, la lesione del LCA comporta un lungo periodo di recupero, che può durare diversi mesi.

In questo periodo, la riabilitazione è fondamentale per ripristinare la funzionalità dell'articolazione. Il programma riabilitativo viene solitamente suddiviso in fasi, che prevedono esercizi di mobilità, forza e propriocettiva. Questa fase del recupero andrà eseguita in sala pesi seguita da un personal trainer.

Nel caso specifico di questa tesi il termine "funzionale" fa riferimento alla funzione specifica del ginocchio, comprendendo tutte le sue strutture attive e passive. Si vedrà più avanti come la meccanica del movimento di questa articolazione segue regole molto fini, e come ogni grado di flessione ed estensione sia bilanciato e sostenuto dai complicatissimi rapporti che si creano fra tessuto muscolare, legamentoso, cartilagineo ed osseo. Verranno analizzati gli esercizi che più si addicono ad una persona che ha subito una lesione al legamento crociato anteriore, analizzando le differenze fra i lavori a catena cinetica aperta e chiusa, ed alcuni esercizi sui quali si hanno spesso opinioni contrastanti.

Dopo un'iniziale introduzione teorica, nella quale verrà presentata la parte anatomica del ginocchio, ponendo particolare attenzione al legamento crociato anteriore, verranno approfonditi alcuni aspetti biomeccanici ed artrocinematici, fondamentali per la comprensione delle soluzioni pratiche che verranno proposte in questa tesi.

CAPITOLO 1

IL GINOCCHIO: DESCRIZIONE ANATOMICA

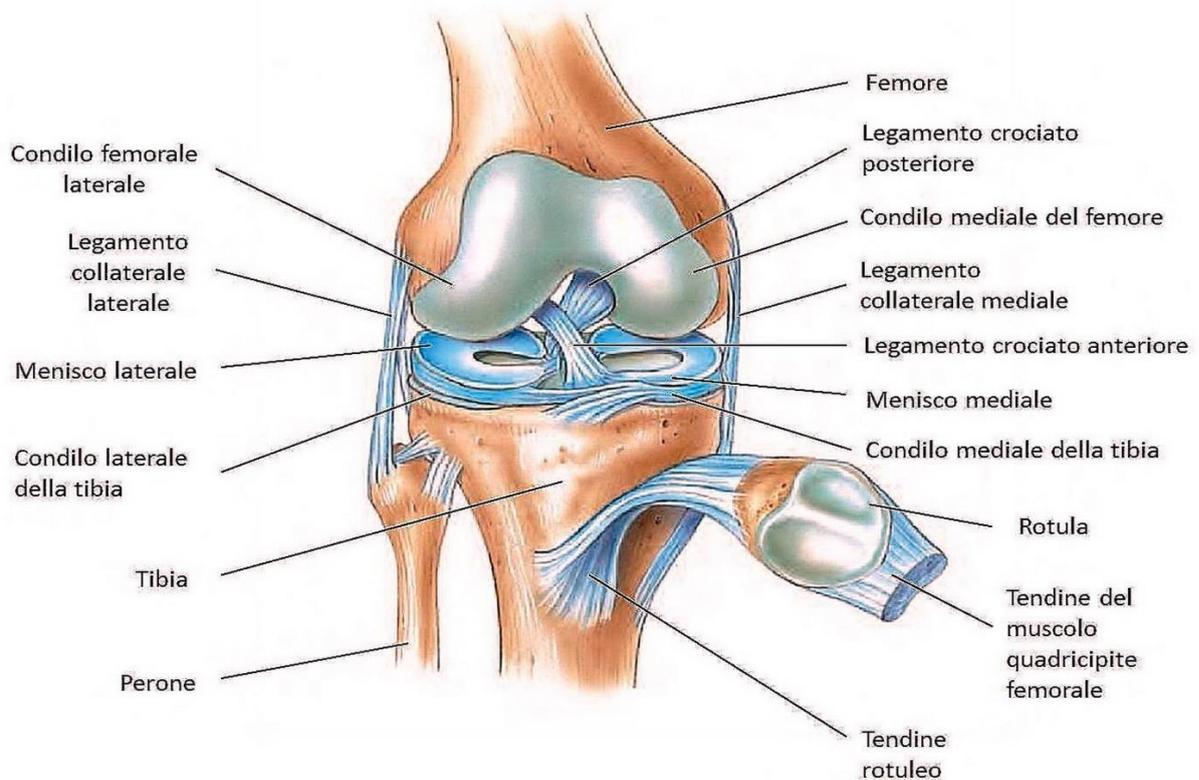


Figura n. 1 Vista anteriore del ginocchio destro

1.1 Breve descrizione anatomica

Il ginocchio rappresenta una complessa articolazione che, trovandosi in posizione intermedia nell'arto inferiore, e per il suo ruolo, necessita di una buona stabilità per poter sostenere il peso del corpo e le varie sollecitazioni provenienti da anca e caviglia. Pur non avendo tutti i gradi di libertà di altre articolazioni, come la spalla, anche il ginocchio deve garantire comunque una buona mobilità, senza che questo ne precluda il fatto di essere stabile.

A differenza di articolazioni come il gomito, la tenuta dei segmenti ossei che compongono l'articolazione del ginocchio non è data dalla congruità delle superfici articolari, ma da una complessa struttura composta da capsule, legamenti, muscoli, menischi e tendini.

1.1.1 Le articolazioni

Definendo le articolazioni del ginocchio, normalmente ne vengono prese in considerazione due: la femoro-tibiale, e la patello-femorale. Pur non avendo un ruolo attivo nelle dinamiche funzionali di movimento, deve essere citata anche una terza articolazione: la tibio-fibulare prossimale, artrodia che ha il fondamentale ruolo di ospitare inserzioni di muscoli e legamenti (Drake R. L., 2015).

L'articolazione femoro-tibiale viene riconosciuta come la più importante per il ginocchio. A livello femorale si possono apprezzare i due condili: mediale e laterale. Il primo è riconoscibile da una forma più voluminosa e simmetrica, il secondo, quindi, risulta più piccolo ed asimmetrico. La componente tibiale dell'articolazione è rappresentata dal piatto tibiale, struttura che necessita di un breve approfondimento per una miglior comprensione dell'anatomia del ginocchio. È formato da due emipiatti: mediale e laterale. Il primo ha una forma ampia e concava, il secondo ha un profilo meno rappresentato, risultando addirittura convesso. Per favorire una corretta flessione del ginocchio, il piatto tibiale è inclinato in senso antero-posteriore, mediamente di circa 10° (Bisciotti G. N., 2007).

La configurazione delle componenti articolari di femore e tibia non garantisce stabilità fra le varie superfici che compongono l'articolazione del ginocchio, ma le strutture meniscali (di cui si parlerà successivamente) vanno ad ampliare la superficie di contatto articolare garantendone una sufficiente congruenza.

L'articolazione femoro-patellare (o femoro-rotulea) vede la patella (o rotula) adattarsi alla superficie patellare del femore. La rotula, osso a forma di sella asimmetrica, si estende sulle facce anteriori dei condili femorali come una U capovolta ed è mantenuta in posizione grazie all'azione del legamento patellare, questo si estende dal bordo inferiore della rotula per giungere sino alla tuberosità tibiale. La patella è l'osso sesamoide più grande di tutto il corpo e riveste un ruolo importante nella fisiologia articolare del ginocchio: il suo movimento circonferenziale,

che parte dalla troclea femorale per arrivare alla fossa intercondiloidea, agevola l'azione del quadricipite, mantenendo un braccio di leva favorevole durante tutta l'estensione della gamba, in modo da produrre un momento torcente invece di una forza di compressione. Questo concetto appare molto evidente grazie alla figura n.2, nella quale si può notare come la semplice presenza della rotula, agendo da puleggia, sposti anteriormente la forza di azione del quadricipite, accrescendone l'efficacia (Neumann D.A. 2016).

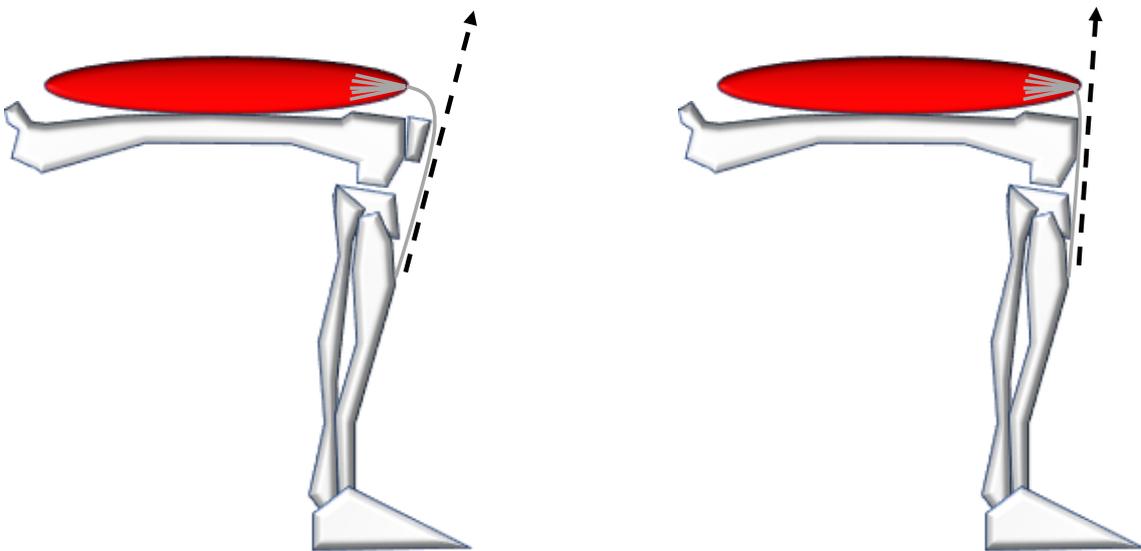


Figura n. 2 *Rappresentazione schematica delle forze del quadricipite con e senza rotula*

1.1.2 I menischi

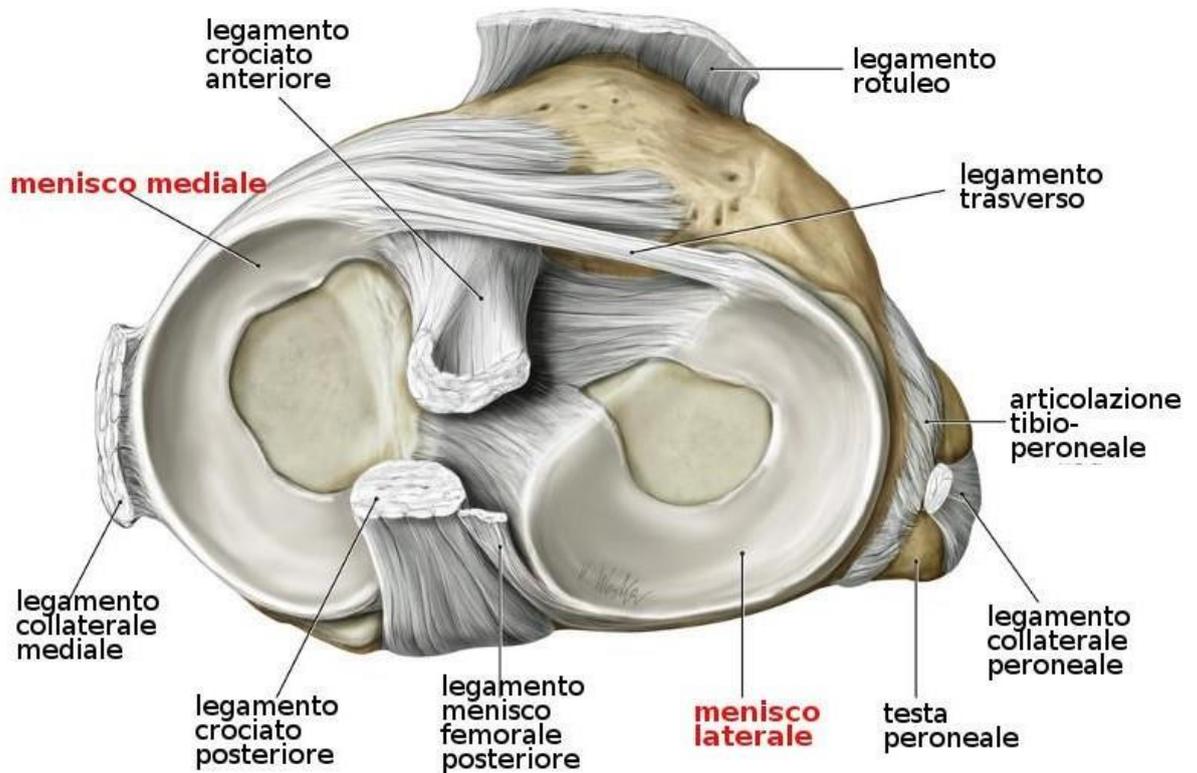


Figura n. 3 *Rappresentazione grafica dei menischi del ginocchio destro*

Come precedentemente accennato, i menischi, rivestono un ruolo primario nell'aumentare la congruenza tra la superficie articolare di femore e tibia, accogliendo i condili femorali e favorendone la stabilità. Ogni alterazione delle strutture fibroarticolari dei menischi comporta una maggiore trasmissione del carico sulla cartilagine tibiale e sull'osso subcondrale, aumentando il rischio di lesione della struttura stessa. Motivo per cui anche gli interventi di meniscectomia mirano a salvaguardare il più possibile i menischi (Urso A., Vaglino N., 2014). La loro struttura esterna è maggiormente vascolarizzata rispetto a quella più interna, che invece è priva di vasi, motivo per cui il potenziale di guarigione spontanea di una lesione meniscale è caratterizzato dalla sede della stessa.

Si riconoscono due tipi di menischi: mediale e laterale. Il primo è riconoscibile dalla sua classica forma di semicerchio ed ha uno spessore crescente in senso antero-posteriore. È formato dal corno anteriore, che si inserisce anteriormente alla tibia, nell'area intercondiloidea;

dal corpo, che rappresenta la continuazione della capsula articolare (che verrà descritta successivamente); e dal corno posteriore, inserito nella regione posteriore della tibia, nell'area intercondiloidea. Il menisco laterale, più piccolo rispetto al menisco mediale, grazie alla sua forma a cerchio pressoché completo, riesce a coprire una vasta area dell'emipiatto tibiale nel quale è inserito. Costituito anch'esso da un corno anteriore, da un corpo e da un corno posteriore, anteriormente si inserisce a livello della fossa intercondiloidea anteriore; lateralmente trova inserzione dietro al legamento crociato anteriore (al quale verrà dedicato un ampio approfondimento); e la sua parte posteriore si inserisce di fronte all'estremità del menisco mediale, a livello della fossa intercondiloidea.

Grazie alla loro struttura elastica, i menischi, sono in grado di spostarsi a seconda dei movimenti del ginocchio. Si può infatti notare come, ad esempio, durante la rotazione interna della tibia, il menisco mediale si muoverà anteriormente, mentre quello laterale si sposterà posteriormente. L'extra-rotazione, invece, porterà il menisco mediale a muoversi posteriormente, ed indurrà il menisco laterale a muoversi anteriormente. Questi movimenti di scorrimento sono resi possibili dagli stretti rapporti anatomico-funzionali che i menischi stringono con le strutture vicine: muscolo popliteo, quadricipite e semimembranoso.

1.1.3 Capsula articolare e borse sinoviali

La capsula del ginocchio rappresenta il principale mezzo di connessione fra le articolazioni ed è la più estesa capsula articolare dell'uomo, è di forma a cilindro con una finestra anteriore necessaria per accogliere la rotula. Ha un'importante funzione contenitiva, e serve inoltre a dare origine ai legamenti collaterali (di cui si parlerà in seguito) ed ai legamenti alari del ginocchio. È formata da un tessuto connettivo denso a fasci intrecciati ed è infiltrata spesso dal grasso. La sua inserzione femorale è prossimale ai 2 condili, mentre quella tibiale si trova lungo i margini delle superfici articolari dei piatti tibiali; l'inserzione anteriore è posta attorno al margine della

rotula (Kapandji A.I. 2011). Tra la parte superiore della rotula e l'epicondilo mediale si nota un ispessimento della capsula articolare che va a formare i legamenti femoro-rotulei mediali.

La superficie interna della capsula è rivestita dalla membrana sinoviale, che ha il compito, mediante la regolazione del liquido sinoviale, di lubrificare le superfici di scorrimento articolari proteggendo, nello stesso tempo, la cartilagine che le riveste. Grazie ai macrofagi al suo interno può inoltre smaltire le cellule usurate di piccoli frammenti cartilaginei.

Meritano un breve accenno anche le borse sinoviali del ginocchio. Queste strutture sono delle piccole sacche contenenti del liquido sinoviali, che hanno la funzione di ridurre le forze di attrito, come fra un tendine o un legamento, che possono sfregare contro altri tessuti, ledendosi nel tempo. In linea generale nel ginocchio si riconosce la borsa sovrarotulea, posizionata fra la rotula e la cute; le due borse infrarotulee, la prima superficiale posta fra tendine rotuleo e cute, la seconda, profonda, si trova fra la parte distale del tendine rotuleo, il corpo adiposo di Hoffa (o infrapatellare, fondamentale per lo scorrimento della rotula durante la flessione-estensione del ginocchio) e la tuberosità tibiale; la borsa del semimembranoso, nella regione mediale del ginocchio; la borsa della zampa d'oca si trova nella parte interna del ginocchio fra i tendini dei muscoli gracile, semitendinoso e sartorio (Vascellari A., Zaffagnini S., 2016).

1.1.4 I legamenti

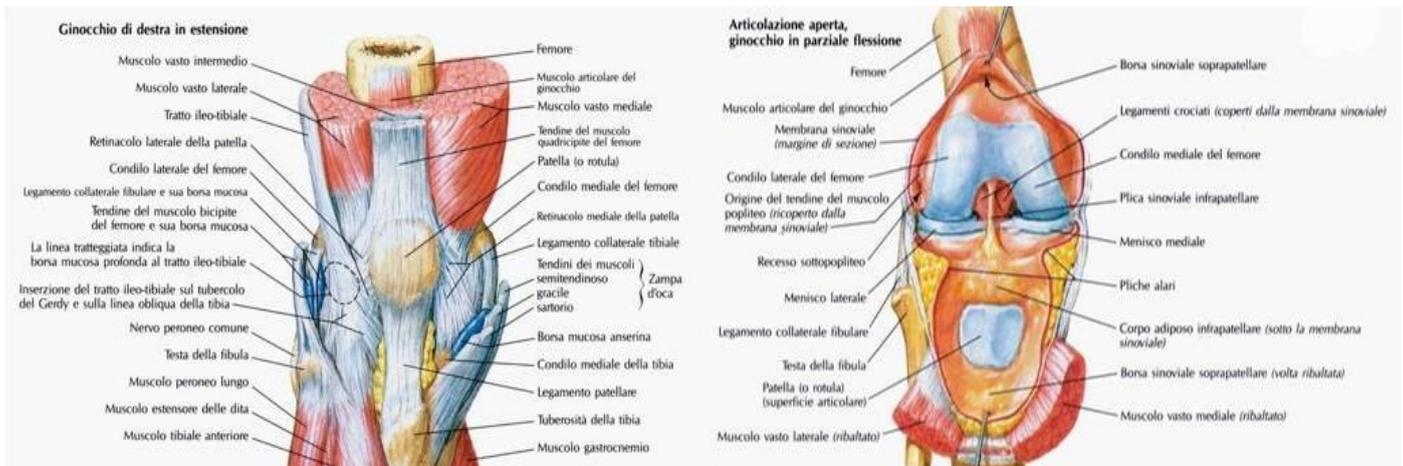


Figura n. 4 Vista frontale del ginocchio destro in estensione ed in parziale flessione

L'apparato legamentoso rappresenta un importante complesso anatomico del ginocchio deputato a migliorarne la stabilità. Oltre al legamento crociato anteriore, protagonista di questa tesi, che vedrà uno specifico approfondimento, si notano: il legamento crociato posteriore, il legamento patellare, i legamenti collaterali, il legamento popliteo obliquo (Balboni G., 2016).

Il legamento crociato posteriore è posto al centro dell'articolazione e, dividendosi nei suoi fasci laterale e mediale, garantisce una continua stabilizzazione articolare durante i movimenti di flessione ed estensione del ginocchio; la sua inserzione prossimale è sulla superficie laterale del condilo femorale mediale, mentre l'inserzione tibiale si trova posteriormente al legamento crociato anteriore, sulla fossa intercondiloidea posteriore e sulla parte posteriore dei piatti tibiali. Il legamento patellare, o legamento rotuleo, anche noto come tendine rotuleo, è in continuità con i tendini del quadricipite femorale. È possibile trovare questo legamento anche sotto il nome di "tendine patellare", poiché non esiste una netta separazione fra il tendine del muscolo quadricipite, che avvolge la patella, con l'area di inserzione fra patella e tibia (Dervin F., 2014). Decorre dalla parte inferiore della patella per inserirsi sulla tuberosità tibiale. Con la sua azione mantiene la rotula nella giusta sede e supporta l'azione di estensione del ginocchio. I legamenti collaterali si distinguono in mediale e laterale, essendo posti rispettivamente sul

lato interno ed esterno del ginocchio. Il legamento collaterale mediale, o tibiale, o interno, origina dal tubercolo del condilo mediale del femore per inserirsi sul condilo mediale della tibia, e vede le sue fibre più profonde collegate con il menisco mediale. Il legamento collaterale laterale, o fibulare, o esterno, origina dal condilo laterale del femore e si va ad inserire sulla superficie laterale della testa della fibula.

I legamenti collaterali garantiscono stabilità al ginocchio in senso trasversale, specialmente a ginocchio esteso, impedendo eccessive sollecitazioni sia in varo che in valgo. Il legamento popliteo obliquo (LPO) ha un'origine variabile, per la quale è impossibile trovare coerenza ed uniformità di dati nella letteratura scientifica (Wu X., et al., 2017), alcuni testi la posizionano nel tendine del muscolo semimebranoso (Fam, L.P.D.A. et., al. 2013); la sua inserzione pur essendo variabile, corrisponde indicativamente al condilo laterale del femore. Il ruolo principale del legamento popliteo obliquo è quello di prevenire l'iperestensione del ginocchio, e di opporsi all'eccessiva rotazione esterna dello stesso.

1.1.5 Il legamento crociato anteriore

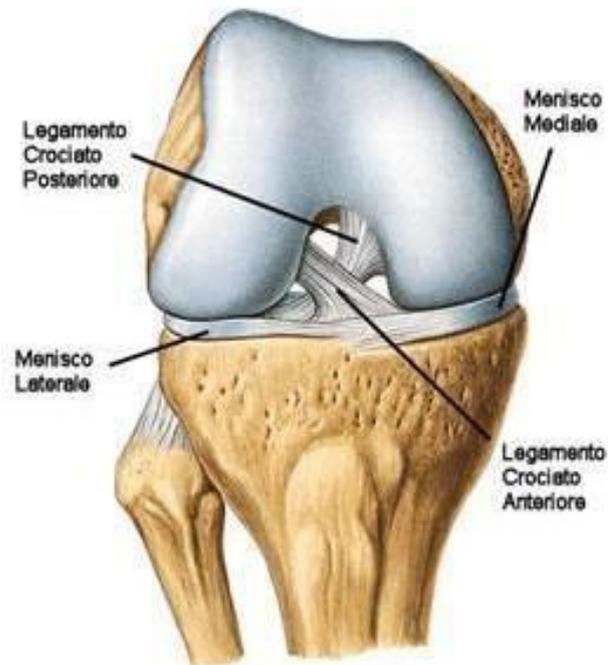


Figura n. 5 *Rappresentazione grafica dei legamenti crociati del ginocchio destro*

La sua origine è nella fossa intercondilare dell'estremità distale del femore e si inserisce sull'eminanza tibiale mediale (Zantop T. et al., 2005). È formato da una banda di tessuto connettivo denso che ruota attorno al proprio asse longitudinale, mostrando quindi un andamento a spirale. La relazione fra i due fasci anatomici che compongono il LCA, anteromediale e postero-laterale, varia in base ai gradi di flessione ed estensione del ginocchio. A ginocchio esteso, infatti, troviamo i due fasci in completa estensione e paralleli fra di loro, al contrario, quando il ginocchio è flesso, questi si incrociano per via dell'orientamento più orizzontale del fascio postero-laterale (Girgis F., et al., 1975).

Il legamento crociato anteriore è racchiuso all'interno di una struttura, composta da tessuto fibroso, che avvolge l'articolazione del ginocchio stabilizzandolo: la capsula articolare, la cui membrana sinoviale passa davanti al legamento crociato anteriore e posteriore. Trovandosi quindi a contatto con la superficie esterna di tale membrana ma al di fuori della cavità articolare, il LCA ha una sede intracapsulare ed extra-articolare.

Fra le funzioni del legamento crociato anteriore troviamo innanzitutto quella di dare stabilità al ginocchio, limitando lo scivolamento anteriore della tibia sul femore, caratteristica che verrà ampiamente approfondita successivamente. Altra importante funzione è quella di limitarne l'intrarotazione del ginocchio.

Va inoltre sottolineato come il LCA sia sede di vari meccanoceffori: corpuscoli di Pacini, corpuscoli di Ruffini e terminazioni nervose libere (Georgoulis A.D., et al., 2001) influenzando direttamente il controllo neuromuscolare del ginocchio (Melick N., et al., 2016). Successivamente ad una sua lesione si possono quindi notare veri e propri cambiamenti nella strategia di controllo motorio, che andranno ad influire sulla propriocezione, sul controllo posturale, sulla forza muscolare e sugli schemi motori in generale (Decker L.M. et al., 2011). Per questo motivo un danno al legamento crociato anteriore può essere considerato anche una disfunzione neurofisiologia, oltre che una lesione muscolo-scheletrica periferica (Kapreli E. 2009).

1.1.5.1 Principali cause, incidenza e recidive

Contrariamente a quanto si può pensare il maggior numero di infortuni riguardanti il legamento crociato anteriore deriva dalle cosiddette "lesioni da non contatto". Si parla di circa il 70% del totale, causati la maggior parte delle volte per via di una rotazione interna della tibia a ginocchio leggermente flesso, contro la rimanente percentuale che deriva da lesioni da contatto (diretto o indiretto) (McNair Pj., et al. 1990). Sono quindi sport che comprendono cambi di direzione improvvisi durante la corsa quelli considerati a più alto rischio per quanto riguarda le lesioni al LCA. La spiegazione è semplice: è proprio durante queste attività, indipendentemente dal fatto che si crei un contatto con l'avversario o meno, nelle quali è frequente trovare una forza valgizzante associata ad un ginocchio flesso con la tibia che, nello stesso momento, ruota internamente.

I soggetti di sesso femminile hanno un'incidenza circa 3 volte maggiore per quanto riguarda le lesioni del LCA, questo dato può comunque variare anche in base allo sport praticato o all'esperienza sportiva (Chadwick C., et al., 2008). Il motivo di questa predisposizione può essere trovato nell'osservazione anatomica delle strutture del ginocchio nei soggetti femminili: il loro legamento crociato anteriore ha infatti un volume minore rispetto ai soggetti di sesso maschile, ed avendo una gola intercondiloidea più piccola rispetto agli uomini, hanno una evidente maggior probabilità di sviluppare un impingement, ed una successiva lesione al LCA.

Di fondamentale importanza è la rieducazione funzionale che deve essere eseguita non appena ne sussistano le condizioni. Se è infatti vero che oltre l'80% dei soggetti che hanno subito una lesione del legamento crociato anteriore è tornato a praticare sport, va sottolineato come solo il 65% sia tornato ai livelli atletici precedenti al trauma, percentuale che scende fino al 55% se si prendono in considerazione tutte quelle persone che hanno subito un intervento chirurgico (Andersen C.L., 2014). Per tutti quei soggetti che riprendono il normale svolgimento dell'attività sportiva il rischio di recidive è relativamente alto, specialmente nei giovani di età inferiore ai 25 anni che tornano a praticare uno sport, ad alto livello, soprattutto se considerato ad alto rischio di lesione per il legamento crociato anteriore. Si è infatti notato come circa un giovane su 4 subisca un altro infortunio del LCA (sullo stesso ginocchio o su quello controlaterale) principalmente nel primo periodo del ritorno all'attività agonistica. Inoltre il rischio di subire una lesione secondaria al legamento crociato anteriore in soggetti precedentemente infortunati, rispetto a quelli sani, è di 30-40 volte maggiore (Wiggins A.J., et al., 2016).

Alla luce di questi dati è necessario ribadire quanto il rispetto dei giusti protocolli di rieducazione funzionale siano necessari per permettere un ritorno all'attività sportiva, ed alla vita quotidiana, il più sicuro possibile.

1.1.5.2 Diagnosi di lesione del legamento crociato anteriore

Per completezza di informazioni appare corretto accennare quali siano i metodi di diagnosi più accreditati per accertare la presenza di una lesione, di vario grado, al legamento crociato anteriore.

Per quanto riguarda l'imaging strumentale la Risonanza Magnetica Nucleare (RMN) appare universalmente riconosciuta come il miglior esame, per sensibilità e specificità, che si possa effettuare.

Il discorso è leggermente diverso per quanto riguarda i metodi di diagnosi manuale, per i quali vengono spesso presi in considerazione più test: il test del cassetto anteriore, il test del pivot shift ed il test di Lachman. Sembra che sia proprio quest'ultimo ad avere una maggiore sensibilità e specificità, rispetto agli altri due, per quanto riguarda la lesione del legamento crociato anteriore (van Eck C.F., et. al., 2012).

CAPITOLO 2

FISIOLOGIA ARTICOLARE E BIOMECCANICA

2.1 I principali muscoli del ginocchio

I muscoli del ginocchio rivestono un ruolo importante per questa articolazione andando a ricoprire ruoli che vanno oltre quello, più noto, di generare movimento. Fungono infatti da sistema di stabilizzazione dinamica, fondamentale per compensare e completare i meccanismi di stabilizzazione statica forniti al ginocchio dalle strutture analizzate fino a questo momento: ossa, borse, capsule, tendini e legamenti. Una ulteriore funzione dei muscoli che agiscono sul ginocchio è quella di assorbire i vari insulti meccanici e le forze di carico che, per via delle varie attività quotidiane, vanno ad agire sulle superfici articolari di carico. Un deficit di forza di questa muscolatura, o ancor peggio, una lesione muscolare, in un individuo sano, aumenta la possibilità di incorrere ad infortuni delle varie componenti del ginocchio. Questa affermazione diventa ancora più importante se si parla di soggetti che hanno una lesione ad una struttura importante come il legamento crociato anteriore. Per questo motivo è importante capire come allenare in maniera corretta l'apparato muscolare del ginocchio.

In questa tesi, per rimanere aderenti al concetto di rieducazione funzionale del LCA all'interno di un allenamento svolto in una sala pesi, uno studio personal, ecc. verranno analizzati i principali muscoli, agenti sul ginocchio, che saranno stimolati durante gli esercizi mostrati nel successivo capitolo.

2.1.1 Compartimento anteriore: breve descrizione anatomica

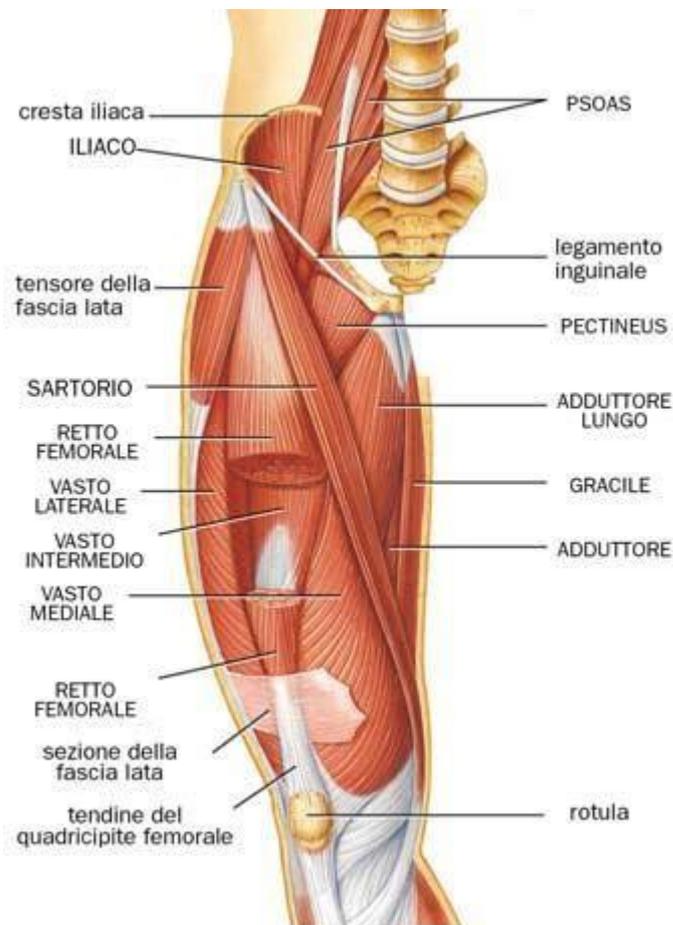


Figura n. 6 *Rappresentazione grafica dei muscoli anteriori del ginocchio destro*

Sintetizzando al massimo, si può dire che i muscoli responsabili dell'estensione del ginocchio appartengono al comparto anteriore della coscia. Unica eccezione è data dal sartorio, che verrà descritto successivamente, che pur trovando sede nella parte anteriore della coscia svolge la funzione di flessore.

Il muscolo principalmente responsabile dell'azione di estensione del ginocchio è senza dubbio il quadricipite femorale. I quattro ventri muscolari che lo compongono sono ben distinti fra di loro e possono essere divisi in mono articolari e biarticolari: hanno una origine differente ma un punto di inserzione comune, tramite il tendine rotuleo, sulla tuberosità tibiale (Platzer W., 2014).

Il retto femorale, originando dalla spina iliaca antero-inferiore e dal solco sopracetabolare, è un muscolo biarticolare. Questa sua caratteristica lo rende responsabile dell'estensione del ginocchio solamente ad anca estesa, diversamente, quando si stende la gamba sulla coscia avendo l'anca flessa, il retto femorale andrà in insufficienza muscolare attiva, poiché la sua origine e la sua inserzione saranno molto ravvicinate, facendone diminuire la forza prodotta. In questo caso l'estensione del ginocchio verrà sostenuta principalmente dai restanti tre vasti: vasto mediale, vasto laterale e vasto intermedio. Il retto femorale è il diretto antagonista dei muscoli del comparto posteriore di coscia, che verranno descritti successivamente.

Il vasto mediale si può dividere in due sezioni che hanno origine in punti differenti: la prima dalla linea intertrocanterica e dalla parte mediale della linea aspra, e la seconda dalla linea sopracondiloidea mediale. È per via dell'andamento obliquo delle fibre muscolari di questa sezione che questo tratto del vasto mediale viene chiamato anche Vasto Mediale Obliquo (VMO). La sua funzione, oltre quella di estendere il ginocchio, è di controllo e stabilizzazione della patella, proprio grazie alle sue fibre oblique che si avvicinano alla rotula con un angolo che va dai 45 ai 55° (Lefebvre R., et al., 2006).

Il vasto laterale, muscolo più grande dei quattro che compongono il quadricipite femorale, deve il suo nome alla posizione laterale che occupa sulla coscia. La sua azione principale è quella di estendere il ginocchio. Trova origine in una vasta area di inserzione situata nella metà prossimale del femore

Il vasto intermedio è situato fra i muscoli vasto laterale e mediale, ed origina dai 2/3 anteriore e laterale della diafisi femorale. Ha come azione principale quella di estendere il ginocchio.

Il sartorio è il muscolo più lungo del corpo umano (Anastasi G., 2020) e prende il suo nome poiché la sua funzione permette di poter accavallare le gambe, nel gesto tipico che fanno i sarti quando lavorano. Ha origine nella spina iliaca antero-superiore ed il suo lungo decorso obliquo lo porta ad inserirsi nel tendine mediale della tibia. Qui, condividendo un tendine con i muscoli

gracile e semitendinoso (che verranno descritti successivamente), contribuisce a formare la zampa d'oca superficiale (chiamata in questo modo per via della sua forma). Dato che il sartorio coinvolge anche l'articolazione coxo-femorale, oltre a quella del ginocchio, è a tutti gli effetti un muscolo biarticolare. La sua azione riguarda sia l'anca, per la quale crea movimenti di flessione, abduzione ed extrarotazione, che il ginocchio, per il quale partecipa alla flessione ed alla intrarotazione, movimento che avviene solamente se l'articolazione è flessa. Date le sue funzioni agisce come stabilizzatore di ginocchio ed anca.

Necessita di una breve menzione anche il muscolo articolare del ginocchio, che ha sede in profondità rispetto al vasto intermedio. Origina nella parte distale del femore anteriore, e si inserisce indicativamente nella capsula del ginocchio. Pur agendo in sinergia con il quadricipite, la sua azione non è quella di estendere il ginocchio ma di evitare l'urto fra rotula e capsula, tirando quest'ultima verso l'alto.

2.1.2 Compartimento posteriore: breve descrizione anatomica



Figura n. 7 *Rappresentazione grafica dei muscoli posteriori del ginocchio destro*

Nella sezione posteriore del ginocchio trovano sede, principalmente, i muscoli deputati alla sua flessione. I più importanti sono sicuramente il bicipite femorale, il semitendinoso ed il semimembranoso.

Il bicipite femorale si trova nella porzione posteriore e laterale della coscia. È diviso in due ventri ben distinti: il capo lungo ed il capo breve. Il primo, per via del fatto di condividere la sua origine (sulla tuberosità ischiatica), la sua funzione (flessione del ginocchio ed estensione della coscia), e la sua innervazione (nervo ischiatico) con i muscoli semimembranoso e semitendinoso, concorre a formare i muscoli ischiorurali. (Woodley S.J.& Mercer S.R., 2005); quando la gamba è flessa, svolge inoltre la funzione di extrarotatore del ginocchio. Il secondo è un muscolo monoarticolare che origina dal labbro laterale della linea aspra del femore e la

sua azione principale è quella di flettere il ginocchio. I due capi del bicipite femorale trovano inserzione in un unico tendine nella testa del perone.

Il semitendinoso è facilmente riconoscibile poiché la sua parte superiore è carnosa mentre quella inferiore presenta un vasto fascio tendineo. Origina, come precedentemente accennato, dalla tuberosità ischiatica del bacino e, occupando la zona posteriore-mediale della coscia si va ad inserire sulla faccia mediale della tibia. La sua azione è quella di estendere ed addurre l'anca, partecipa alla flessione del ginocchio e, quando il ginocchio è già in flessione, alla sua intra rotazione.

Il semimembranoso si è visto attribuire questo nome poiché nel suo terzo superiore è formato da una lamina tendinea con una struttura a membrana (Treccani). Origina anch'esso dalla tuberosità ischiatica del bacino, mentre la sua inserzione è più complessa poiché si divide in tre fasci: discendente, sulla parte posteriore del condilo mediale della tibia; ricorrente, sul condilo laterale del femore (dove forma il legamento popliteo obliquo); anteriore o riflesso, nella parte anteriore del condilo mediale della tibia. Questa suddivisione in tre fasci di inserzione forma una struttura anatomica denominata zampa d'oca profonda. L'azione del semimembranoso è sovrapponibile a quella del semitendinoso, sia per quanto riguarda l'anca che per quanto riguarda il ginocchio.

In letteratura si discute molto della relazione che vi è fra ischiocrurali e quadricipite femorale, mostrando come quest'ultimo primeggi con un rapporto di forza di circa 2 a 1 rispetto ai primi. Questo tema è molto importante per la sicurezza e la stabilità del ginocchio e delle sue componenti ma, ad oggi, sembrano sollevarsi dubbi sull'affidabilità di questo dato (Coombs R. & Garbutt G. 2002): in base alla velocità di contrazione, l'angolo di flessione del ginocchio preso in considerazione, gli strumenti utilizzati per rilevare determinate forze, la contrazione concentrica o eccentrica, ecc. si possono avere valori diversi. Quello che in assoluto non varia mai è la tendenza alla debolezza degli

ischiocrurali quando sono messi a confronto con i loro antagonisti, i quadricipiti. Si nota come, a ginocchio esteso, gli ischiocrurali riescano ad avere un rapporto di forza di 1 a 1 con il quadricipite, il che fornisce una ottima stabilità dinamica al ginocchio in queste condizioni. Man a mano che la flessione della gamba sulla coscia aumenta, la forza degli ischiocrurali e la loro capacità di stabilizzare l'articolazione varia e diminuisce (Opar D.A., et al., 2015), suggerendo quanto sia importante allenare la forza di questi muscoli per prevenire infortuni alle varie strutture del ginocchio.

Il muscolo popliteo si trova in maggiore profondità rispetto ai muscoli appena citati. Origina dalla faccia esterna del condilo laterale del femore e dalla corrispondente porzione della capsula articolare del ginocchio, per inserirsi sul labbro superiore della linea obliqua e sulla faccia posteriore della tibia. Grazie all'andamento obliquo dei suoi fasci, è in grado di sbloccare e ruotare internamente l'articolazione del ginocchio (agendo sulla tibia), controllando il movimento del menisco laterale. Previene la lussazione anteriore del femore sulla tibia durante l'appoggio a ginocchio flesso e fornisce importanti feedback sulla postura durante la posizione eretta. Le sue funzioni assumono maggior rilievo nei gradi intermedi della flessione del ginocchio, quando le strutture capsulari e legamentose non sono in grado di agire in maniera ottimale (Nyland J., et al.wood, 2005).

Il muscolo gracile origina dalla faccia anteriore della branca ischiopubica e, dopo un decorso verticale, si inserisce all'estremo superiore della faccia mediale della tibia. Occupa quindi il lato mediale del femore ma ha due caratteristiche fondamentali per le quali può essere assimilato ai muscoli posteriori della coscia: è un muscolo biarticolare (l'unico fra gli adduttori) e la sua azione interessa sia l'anca che il ginocchio. Dà infatti un ottimo contributo sia alla flessione ed adduzione della coscia sia alla rotazione interna del ginocchio. Inoltre la sua inserzione concorre a formare la zampa d'oca superficiale.

Il gastrocnemio, conosciuto anche con il nome di “gemelli”, è il muscolo più superficiale fra quelli della parte posteriore della coscia. È suddiviso in due capi, mediale e laterale, che originano dalla parte posteriore dei rispettivi condili femorali. I due capi muscolari procedono, con direzione cranio-caudale, fino ad inserirsi su di una vasta aponeurosi che va via via restringendosi fino giungere nel tendine calcaneare (o tendine d’Achille), che si inserisce nella faccia posteriore del calcagno. Il gastrocnemio, muscolo bi-articolare, condivide la sua inserzione con il soleo, monoarticolare, assieme al quale forma il muscolo tricipite surale, meglio noto come polpaccio. I cosiddetti gemelli variano la loro influenza sul ginocchio in base alla flessione di quest’ultimo. A ginocchio esteso contribuiranno alla sua stabilizzazione, permettendo inoltre la flessione plantare della caviglia. Man mano che i gradi di flessione del ginocchio aumentano, la posizione delle inserzioni superiori del gastrocnemio disporrà questo muscolo in una posizione sfavorevole per esprimere forza, facendogli perdere di efficacia. In questo caso la sua azione di flessione plantare della caviglia verrà assolta dal muscolo soleo.

2.2 Accenni di biomeccanica ed artrocinematica del ginocchio

Per quanto l’articolazione del ginocchio venga generalmente descritta come una diartrosi, più nello specifico come un ginglino angolare (o articolazione a troclea) quindi con la possibilità di compiere dei movimenti su di un unico grado di libertà (quello sagittale), dopo una corretta osservazione è semplice accorgersi come questa sia una enorme semplificazione. Per via delle innumerevoli strutture che la compongono e dei rapporti che si formano fra di esse, quella del ginocchio, viene riconosciuta come la più complessa ed ampia articolazione del corpo umano (Anastasi G. 2020). Se si prendono in considerazione le caratteristiche fra i rapporti articolari che si vengono a formare fra femore e tibia, si potrebbe parlare di condilartrosi o di ginglimi angolari; se si osservano femore e patella si noteranno alcune delle caratteristiche proprie delle artrodi, così come nell’articolazione tibio-peroneale prossimale (Neumann D.A. 2016). Anche se il movimento osteocinematico sul quale si focalizza questa

tesi è quello di flesso-estensione del ginocchio, appare doverosa una rapida descrizione dei 6 differenti movimenti posseduti da questa articolazione (Bisciotti G. N., 2007), schematizzati nella Figura n. 8.

2.2.1 I movimenti del ginocchio

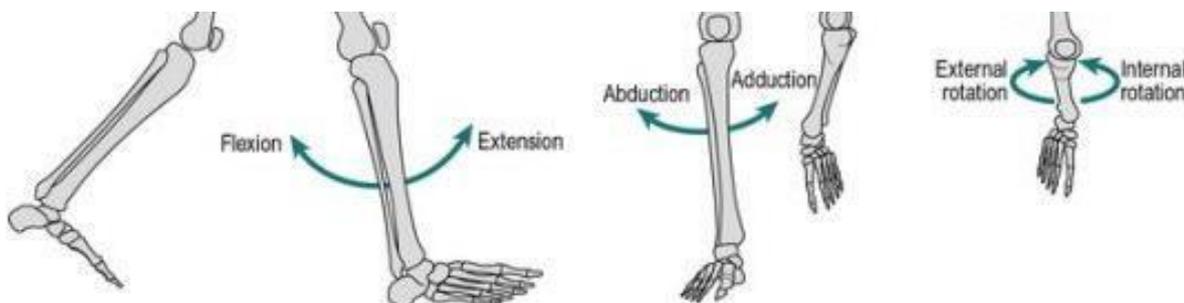


Figura n. 8 *Rappresentazione schematica dei movimenti del ginocchio*

Lungo il piano frontale è possibile notare movimenti di adduzione ed abduzione, ovvero l'avvicinarsi e l'allontanarsi della gamba propriamente detta dal piano sagittale. Questi gradi di libertà non sono sempre concessi al ginocchio ma si rendono possibili in due occasioni: la prima quando la gamba è flessa, e la seconda, durante la flesso-estensione della gamba sul piano sagittale. In questo secondo caso la gamba non si muove totalmente sul piano sagittale: mediante una semplice osservazione è possibile notare come il tallone, durante la flessione del ginocchio, si sposti medialmente, a testimonianza di una avvenuta adduzione. Allo stesso modo, durante i gradi finali dell'estensione della gamba si ha una estrarotazione del piede, poiché la gamba ha effettuato una abduzione. Questi movimenti accessori sono possibili grazie ad una particolare combinazione di rotolamento e scivolamento dei condili (che verrà approfondita successivamente) nella quale si nota come, durante la flesso-estensione del ginocchio, il condilo interno rotoli di circa 10-15°, al contrario, il condilo esterno attuerà una rotazione di circa 20°. Per via di questa differenza morfologica tra i movimenti di rotazione dei due condili, durante l'estensione del ginocchio si assisterà ad abduzione della gamba (facendo extraruotare il piede), e durante la flessione si assisterà ad una adduzione della gamba (facendo intraruotare il piede).

Lungo il piano trasverso è possibile notare una rotazione interna ed esterna del ginocchio, anche questo movimento è possibile solo a ginocchio flesso, perché a gamba tesa l'eminanza intercondiloidea risulterà bloccata dalla fossa intercondiloidea, impedendone le rotazioni. Quindi, col ginocchio flesso a 90° è possibile creare una rotazione interna (con la punta del piede che si volge verso il piano sagittale) di circa 30° , ed una rotazione esterna (col tallone del piede che si volge verso il piano sagittale) di circa 40° .

Lungo il piano sagittale avvengono i movimenti di flessione ed estensione della gamba: rispettivamente quando, al termine del movimento stesso, il piede si trova più vicino o lontano dal piano frontale. In un ginocchio sano il movimento completo di flesso-estensione va da 0 fino a $120-135^\circ$ (Andrews J.R., 2000). È importante notare, come già specificato in precedenza, come questa articolazione non compia un movimento puro sul piano sagittale ma che la flesso-estensione utilizzi tutti e tre i piani di movimento. Riepilogando velocemente: negli ultimi gradi di estensione si nota il cosiddetto “movimento di avvvitamento”, o rotazione congiunta, di circa 20° (Davies G.J., et al. 2000): ovvero un meccanismo di serraggio, dato dalla rotazione congiunta del femore sulla tibia, in grado di bloccare il ginocchio e fare in modo, per esempio, di stare in piedi per un lungo periodo senza dover attivare in maniera massiva i muscoli del ginocchio. Per eseguire la flessione della gamba sulla coscia i condili tibiali dovranno essere “sbloccati” dal femore facendo compiere al ginocchio una nuova rotazione. Questo movimento è accompagnato da una lieve adduzione della gamba, che durante l'estensione produrrà una altrettanto lieve abduzione.

Va inoltre specificato come il movimento di flesso-estensione che si crea fra tibia e femore non sia dato solamente da un semplice rotolamento (chiamato Roll) delle strutture articolari, come si può intuire immaginando la meccanica di un ginglino angolare, ma è sempre accompagnato da uno slittamento (Slide).

2.2.2 I movimenti di Slide e Roll

A livello artrocinematico sono possibili tre tipi di movimenti: uno traslatorio, e due rotatori (Neumann D.A. 2016). Come è possibile notare dalla Figura n.9, il Roll avviene quando più punti della superficie articolare di un capo osseo entrano in contatto con molteplici punti articolari del capo osseo opposto; l'esempio più classico è quello di una palla che rotola sul terreno. Lo Slide è uno scivolamento che avviene quando un unico punto della superficie articolare di un capo osseo, viene in contatto con più punti della superficie articolare opposta; lo si può immaginare come la ruota di un treno che scorre sulla rotaia, nonostante si sia azionato il freno, e non stia più girando. Lo Spin è un movimento rotatorio di un segmento attorno al proprio asse longitudinale, che avviene quando un unico punto di una articolazione entra in contatto con un singolo punto della superficie articolare opposta; un esempio può essere il moto di una trottola.

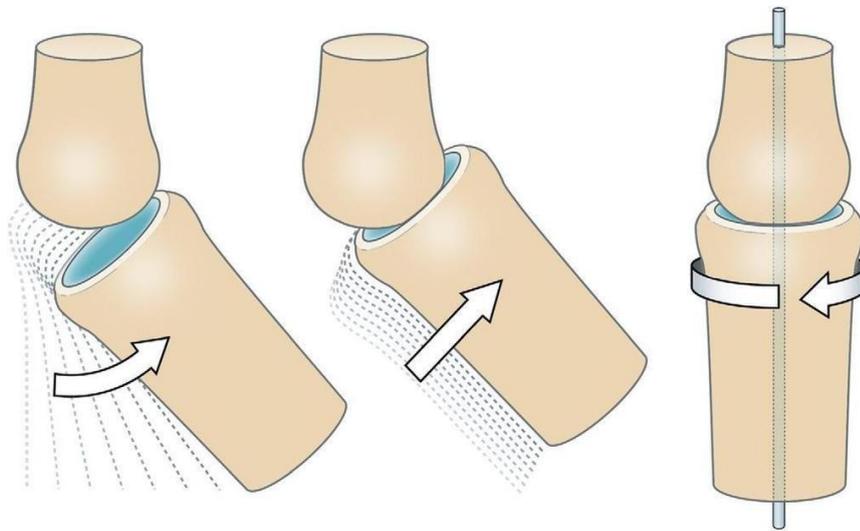


Figura n. 9 Rispettivamente, movimenti di Roll, Slide e Spin

Per poter gestire e programmare al meglio gli allenamenti di soggetti che hanno subito lesioni al LCA è fondamentale conoscere questi movimenti, poiché sono presenti anche all'interno del ginocchio e possono creare forze che sono in grado di lesionare il legamento crociato anteriore.

Come mostra la Figura n.10 nell'immagine numero 1, se i condili effettuassero un semplice Roll sulle cavità glenoidee, il femore "cadrebbe". Al contrario, come si nota nell'immagine numero 2, un movimento puro di Slide dei condili produrrebbe un forte attrito fra la parte posteriore del femore e quella mediale della tibia, procurando una usura veloce. Nell'immagine 3 si apprezza come, durante la flessione, i condili iniziano la loro rotazione sulla cavità glenoidea, dopodiché avviene uno scivolamento che mantiene in asse l'articolazione (immagine 4). Durante la flessione avviene l'opposto, avendo un movimento di Slide seguito da un Roll (immagine 5).

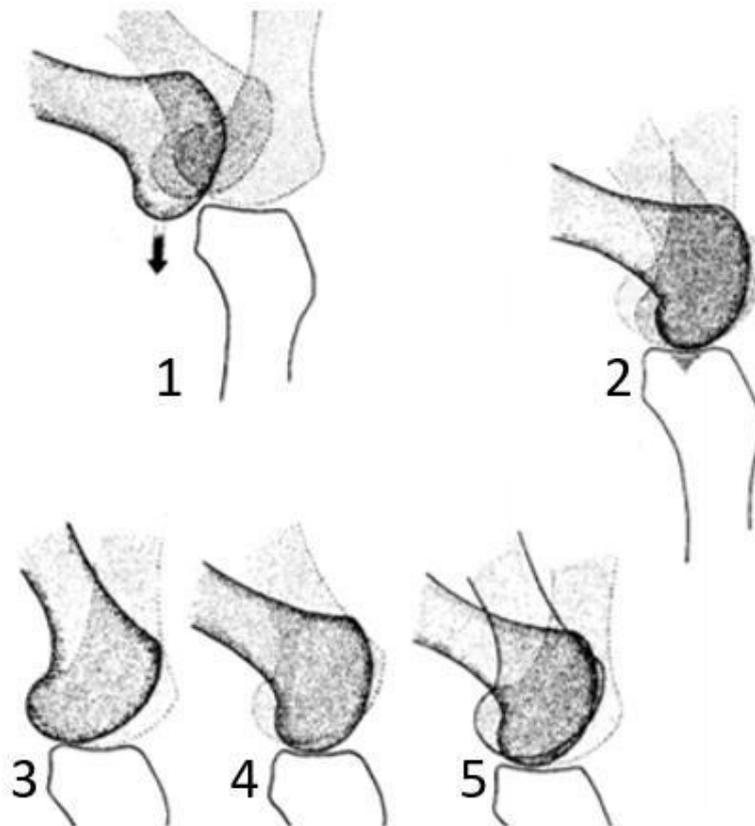


Figura n. 10 *Movimenti di Roll e Slide del ginocchio durante la flessione-estensione*

2.2.3 Accenni alla biomeccanica dell'estensione del ginocchio

Dopo aver discusso separatamente dei movimenti effettuati dal ginocchio, prima guardando l'aspetto muscolare e successivamente quello articolare, è necessario unire le varie nozioni per poter comprendere al meglio cosa accade al ginocchio, ed al legamento crociato anteriore, durante il movimento di estensione della gamba sulla coscia. Poiché l'utilizzo della catena cinetica aperta (OKC) per la rieducazione funzionale del LCA è stato molto criticato negli anni (Bynum E.B., et al., 1995) e viene ancora sconsigliato, è necessario un approfondimento su questo tema. Le differenze sostanziali e le diverse caratteristiche fra gli esercizi a catena cinetica aperta e chiusa verranno trattati nel capitolo successivo.

Come si può notare dalla figura n.11, quando la gamba è flessa a 90° , e fino ai primi 45° di estensione, la forza espressa dal quadricipite (FQ) non è perpendicolare al terreno ma ha un andamento leggermente diagonale. Una volta scomposto il vettore di questa forza, grazie alla regola del parallelogramma, se ne otterranno altri 2: il primo sarà perpendicolare al terreno (FC1) e rappresenterà una importante forza necessaria alla stabilizzazione del ginocchio, in grado di tenere l'articolazione compatta; il secondo (T1) sarà perpendicolare a FC1 ed agirà come forza di taglio. L'azione di T1 sarà quella di spingere la gamba propriamente detta verso dietro, andando ad aumentare la tensione sul legamento crociato posteriore diminuendo, di conseguenza, quella sul legamento crociato anteriore.

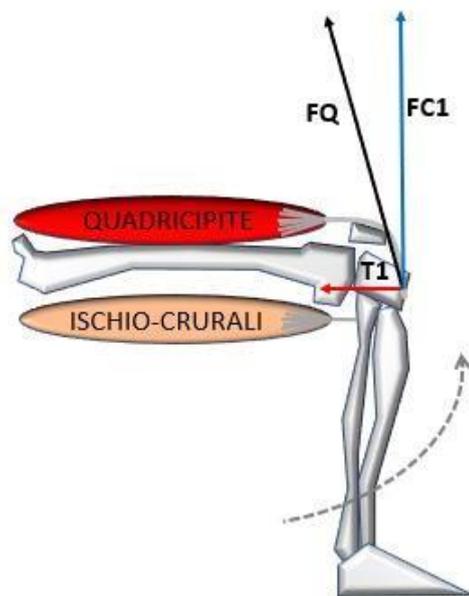


Figura n. 11 *Analisi delle forze agenti sul ginocchio nei primi 45° di estensione*

Una volta che la gamba arriva a circa 40-45° di estensione, pur avendo compiuto un movimento relativamente breve, le forze in gioco cambiano radicalmente. Come è possibile notare dalla figura n.12 si nota subito un differente comportamento dei vettori, per via della forza prodotta dal ginocchio stesso. FC1 agirà sempre come forza di stabilizzazione ma inciderà di meno rispetto a quando gli angoli del ginocchio avevano una maggiore flessione. Il vettore T1 aumenterà il proprio modulo e cambierà verso, andando ad incidere sul legamento crociato anteriore. Appare ovvio come l'azione del quadricipite, fino a questi angoli specifici, non sia solo di estendere la gamba sulla coscia ma ha una forte valenza stabilizzatrice e permettel'azione di slide del ginocchio.

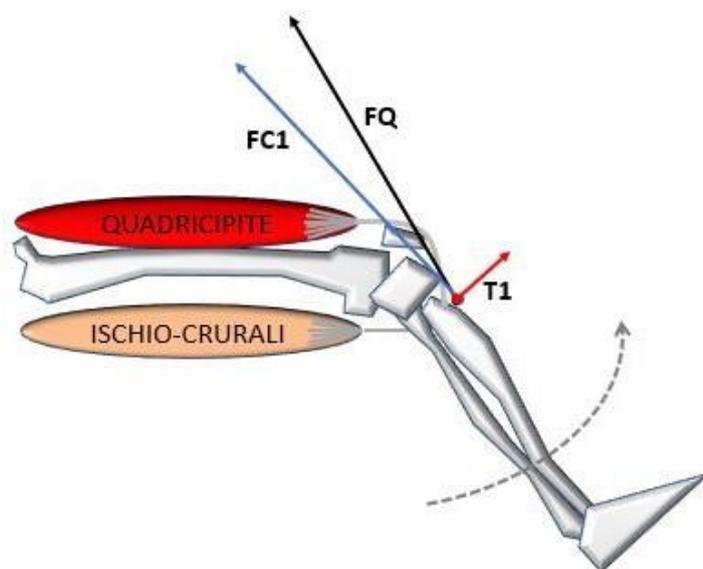


Figura n. 12 *Analisi delle forze agenti sul ginocchio oltre i primi 45° di estensione*

Quando l'estensione della gamba tende praticamente a completarsi, come nella Figura n.13, il valore della forza di taglio agente sul legamento crociato anteriore (T1) trova il suo picco massimo, al contrario, le forze di compressione che agiscono sul ginocchio trovano il loro valore minimo, e con esse la conseguente azione stabilizzatrice (FC1). Per evitare un eccessivo scivolamento anteriore della tibia sul femore, danneggiando il LCA, vi è un'attivazione automatica dei muscoli ischio-crurali, motivo per cui la gamba, verso la fine della sua estensione, perde inevitabilmente velocità. Con l'attivazione dei muscoli posteriori della coscia si vanno ad aggiungere altre forze importanti, rispetto a quelle analizzate fino a questo momento. Scomponendo il vettore FI, creato dalla contrazione degli ischio-crurali si noterà un vettore FC2 che aiuterà le forze generate dal quadricipite a stabilizzare il ginocchio. Inoltre T2, che ha la stessa direzione ma verso opposto rispetto a T1, diminuisce l'azione della traslazione anteriore della gamba, aiutando a salvaguardare il legamento crociato anteriore.

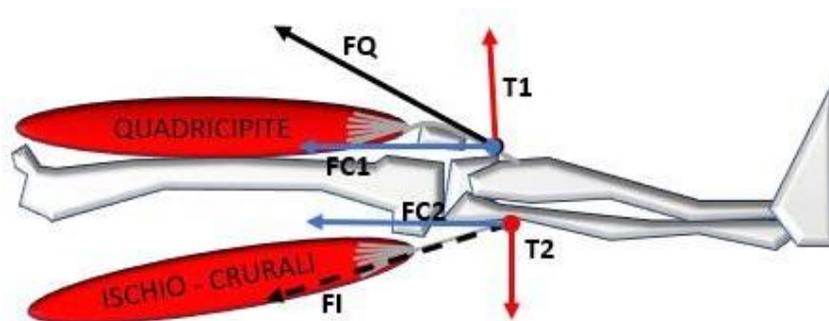


Figura n. 13 *Analisi delle forze agenti sul ginocchio fino alla sua estensione quasi totale*

Grazie all'analisi del movimento e delle forze del ginocchio mostrate fino a questo momento (Biscarini A. et al., 2013) sarà possibile costruire un programma di allenamento funzionale per la rieducazione del legamento crociato anteriore.

CAPITOLO 3

RIEDUCAZIONE FUNZIONALE DEL LEGAMENTO

CROCIATO ANTERIORE

3.1 Le basi della rieducazione funzionale

Prendendo in esame soggetti che frequentano centri sportivi, palestre o studi di personal training, è dato per assodato che non vi sia bisogno di un trattamento riabilitativo sul legamento crociato anteriore, poiché questo sarà già stato effettuato in una fase precedente dallo specialista del settore. Si parte quindi dall'assunto che il ginocchio, pur non godendo della sua piena funzionalità, sia in grado di stabilizzare l'arto inferiore e di compiere il suo intero ROM sia in flessione che estensione.

In letteratura non esistono delle linee guida universalmente riconosciute ed utilizzate per quanto riguarda la rieducazione funzionale del legamento crociato anteriore. È molto più semplice trovare indicazioni sulla riabilitazione post-intervento del LCA, anche se spesso i vari protocolli esistenti riportano informazioni contrastanti gli uni dagli altri. Il compito del Personal Trainer, o dell'Istruttore, comunque non è quello di seguire percorsi riabilitativi ma d'intervenire nella fase immediatamente successiva, quella appunto di rieducazione. Va specificato che è sempre importante collaborare con lo specialista che ha seguito il soggetto interessato dalla lesione, per potere avere più informazioni possibili sui motivi dell'infortunio e su quali sono stati i risultati dei trattamenti effettuati.

Per poter costruire un programma, di rieducazione funzionale al miglior recupero della lesione del LCA, è fondamentale aver capito quali sono i meccanismi principali che questo legamento compie, e strutturare un allenamento in grado di potenziarli.

Dato per scontato il recupero della mobilità articolare, che dovrebbe essere stato risolto durante il periodo di riabilitazione, occorrerà puntare su due punti principali:

- Propriocezione
- Rinforzo muscolare

3.2 La Propriocezione

Anche se i cosiddetti allenamenti propriocettivi sembrano essersi sviluppati solo negli ultimi anni, il termine “propriocezione” è stato coniato per la prima volta nel 1893 (Pearce J.M.S., 2004) e, nonostante il modo nel quale viene interpretata, non è un sinonimo di equilibrio, che ne è solamente una sua componente. La propriocettività può essere così definita: “Insieme delle funzioni deputate al controllo della posizione e del movimento del corpo, sulla base delle informazioni rilevate da recettori periferici denominati propriocettori. Tali informazioni sono elaborate all’interno di riflessi spinali volti al mantenimento della corretta postura e a contrastare la forza di gravità” (Treccani).

La propriocezione rappresenta, quindi, un importante meccanismo di controllo su ogni movimento eseguito, sfruttando anche il Sistema Nervoso Centrale per reperire informazioni su forza, velocità e direzione del movimento, ma anche parametri fisiologici riguardanti i cambiamenti che si verificano nella tensione di muscoli e tendini. Va sottolineato come la maggior parte delle volte il sistema propriocettivo reagisce a livello inconscio, utilizzando un sistema di feedback negativo: l’azione programmata viene confrontata con quella che si sta realizzando e se si trovano delle differenze (errori di esecuzione dovuti a qualsiasi perturbazione o imprevisto) il sistema propriocettivo aziona dei circuiti midollari specifici, in grado di provocare movimenti reattivi utili alla risoluzione del problema (Francesconi K.& Gandini G., 2015). I segnali che invece arrivano al sistema cosciente, tramite le informazioni inviate alla corteccia cerebrale dai vari canali percettivi delle afferenze periferiche, contribuiscono a formare esperienza di movimento che sarà utile per la creazione o la miglior strutturazione dei

vari schemi motori. Quindi, a prescindere dall'utilizzo di canali sensoriali quali vista, udito o tatto, è possibile creare un'immagine di sé istante per istante, e confrontare la posizione reale di ogni singolo momento con quella che si era precedentemente programmata, agendo di conseguenza nel caso vengano segnalate differenze.

3.2.1 La propiocezione nel ginocchio

Dalle informazioni presenti nei capitoli precedenti appare chiaro come un fine controllo dei movimenti artrocinematici del ginocchio sia fondamentale per la sua sicurezza e per una corretta funzionalità dell'arto inferiore e, di conseguenza, dell'intero corpo. Questo controllo è possibile grazie ai meccanocettori presenti sul legamento crociato anteriore, dei quali si è precedentemente discusso. In caso di operazione e successiva ricostruzione del LCA, indipendentemente dalla tecnica chirurgica utilizzata, è ovvio come non essendo più presente questo legamento, si siano persi anche tutti i propriocettori che conteneva. Per questo sarà importante allenare la propriocettività di tutte le restanti strutture del ginocchio. Nel caso, invece, sia avvenuta una lesione del legamento crociato anteriore ma questo sia ancora presente, è fondamentale stimolarne le strutture propriocettive per evitare il ripetersi dell'infortunio.

Di norma l'allenamento propriocettivo dovrebbe avanzare parallelamente con quello del recupero muscolare e del ROM. Mentre è stato assodato che la mobilità dell'articolazione nei soggetti presi in esame in questa tesi, poiché hanno terminato il percorso riabilitativo, risulta recuperata, e quindi non verrà presa in oggetto, il lavoro sul tono muscolare (che verrà trattato successivamente) dovrà essere inserito contestualmente a quello propriocettivo. Tuttavia è possibile inserire sedute di propriocettività ancora prima di iniziare quelle di muscolazione, questo perché l'attivazione ed il potenziamento dei vari propriocettori aumenta le potenzialità di sviluppare trofismo, forza e stabilizzazione (Riva D. et al., 2001).

Gli esercizi di propiocezione possono essere divisi in due grandi categorie, quelli normalmente detti "a corpo libero" poiché non prevedono l'ausilio di attrezzatura esterna, e

quelli nei quali verranno utilizzate tavolette propriocettive, elastici, pavimentazioni particolari, ecc. (Sannicandro I., 2007).

Gli esercizi a corpo libero sono fondamentali anche perché possono corrispondere all'allenamento della tecnica degli esercizi che verranno svolti con i sovraccarichi. Un classico esempio è lo squat: esercizio fondamentale per il rinforzo dei muscoli della coscia ma che rischia di essere dannoso se effettuato in maniera non corretta, ad esempio valgizzando le ginocchia in fase di risalita. Fare uno squat in maniera consapevole, riuscendo a percepire ogni minimo spostamento del ginocchio, stimolando in maniera positiva il sistema propriocettivo, porterà giovamento anche nelle serie in cui verrà utilizzato un buon sovraccarico.

Per poter eseguire gli esercizi propriocettivi a corpo libero è opportuno osservare una serie di progressioni che possono essere schematizzate nei seguenti 5 step:

1. Feedback tattili: mediante la cosiddetta “tecnica del tocco” il trainer corregge i movimenti sbagliati facendo intuire qual è il movimento corretto per quel determinato esercizio.
2. Feedback orali: consigli dati dal trainer su come correggere gli errori di esecuzione dei vari esercizi, senza che ci sia la necessità di toccare il soggetto.
3. Autocorrezione: il soggetto interessato, guardandosi allo specchio, nota gli errori di esecuzione e li corregge in autonomia, sempre sotto visione del trainer. A seconda del livello di competenza, questo punto può anche essere saltato per passare direttamente a quello successivo.
4. Esercizi svolti in autonomia: il soggetto svolge in maniera lenta e controllata gli esercizi cercando di capire dove sbaglia ed autocorreggendosi, senza il bisogno di guardarsi allo specchio o di controllare visivamente i vari segmenti corporei.

5. Esercizi con forma e velocità corrette: gli esercizi proposti vengono eseguiti in autonomia in maniera tecnicamente corretta e alla giusta velocità, sempre sotto la supervisione del trainer.

Il tempo necessario che serve per passare da uno step al successivo dipende da molti fattori: conoscenza dell'esercizio, capacità motorie pregresse, abitudine al movimento, ecc. Ovviamente fino a quando l'esercizio non verrà eseguito in maniera ottimale, per più ripetizioni e serie, bisognerà soffermarsi su quel determinato step senza avanzare. La scelta degli esercizi può essere fatta seguendo più criteri, i più comuni sono: utilizzare esercizi che contengono movimenti che non vengono eseguiti in maniera corretta nella quotidianità, come può essere uno squat, uno step-up (salita da un gradino), step-off (discesa da un gradino), ecc.; oppure scegliere gli esercizi che saranno utilizzati durante l'allenamento di rinforzo muscolare, in modo da apprenderne al meglio l'esecuzione e poterli eseguire in sicurezza una volta che verranno fatti con un maggior sovraccarico. L'enorme presenza delle variabili in atto non permette quindi di standardizzare un lavoro, che però può basarsi sulle indicazioni appena descritte.

Un'altra metodologia di lavoro, che può essere accostata o alternata a quella appena descritta, prevede l'utilizzo di piccoli attrezzi come elastici, tavolette propriocettive, softball, ecc. L'errore più grande che si vede fare quando si utilizza questa tipologia di attrezzatura è di proporre esercizi sempre più complicati per stimolare, ai massimi livelli, l'equilibrio. Come già specificato in precedenza, l'equilibrio è solo una delle componenti della propriocettività e non deve essere l'unica allenata. Non di rado si vedono persone in grado di eseguire esercizi su pedane instabili grazie all'aiuto di forti movimenti compensatori di braccia, tronco, bacino, ecc. In questo modo non viene migliorata la funzionalità dei propriocettori ma si insegna al corpo ad utilizzare quei movimenti compensatori, sfruttando principalmente un sistema cosciente e la muscolatura fasica, piuttosto che migliorare l'efficienza del sistema propriocettivo. Un esempio

utile a spiegare questo concetto è quello di un anziano che cammina col bastone: il suo equilibrio sarà saldo ma solo perché farà affidamento ad un supporto esterno. Utilizzare dei rapidi movimenti dei segmenti del corpo per evitare di cadere è sicuramente una strategia funzionale per il momento specifico, ma non quella ideale per un allenamento che vede come focus la propriocettività. Appare chiaro, quindi, come non siano gli attrezzi specifici ad aumentare la funzionalità del sistema propriocettivo ma il modo in cui questi vengano utilizzati.

Anche in questo caso è utile procedere per step gradualmente che possono essere sintetizzati in questo modo:

Piccoli movimenti segmentali di caviglia, ginocchio o anca con:

- Uso di una tavoletta o di una superficie instabile ad un unico grado di libertà (es. tavoletta di Freeman a base rettangolare) sfruttandone una oscillazione ridotta.
- Maggior movimento della superficie instabile sugli stessi gradi di libertà precedente.
- Aumento dei gradi di libertà della superficie instabile (es. tavoletta di Freeman a base emisferica) sfruttandone oscillazioni ridotte.
- Maggior movimento della superficie instabile sui gradi di libertà provati precedentemente.

Lo stesso schema di lavoro va utilizzato provando varie tipologie di esercizi: ad esempio, invece di ripetere dei piccoli movimenti segmentali, si possono eseguire movimenti più complessi come squat, contropiegate, ecc. cercando di portare a termine gli step precedentemente illustrati.

Il passo successivo sarà quello di ripetere il punto precedente, quindi movimenti complessi su superfici instabili, andando ad aggiungere elementi di “disturbo” che possono essere degli elastici, la ricezione o il dover passare una palla, ricevere o dover dare una spinta, ecc.

Durante l'esecuzione di tutti questi esercizi il trainer dovrà controllare che la corretta forma di movimento e la stabilità del ginocchio siano mantenute mediante l'utilizzo della muscolatura tonica e non grazie all'aiuto di movimenti compensatori.

È importante specificare come l'allenamento sulle superfici instabili, nonostante sia di aiuto per aumentare la propriocettività, non è certamente la soluzione migliore da adottare se ci si riferisce alla vita quotidiana, poiché si impara a gestire situazioni nelle quali l'instabilità arriva dal terreno, mentre la maggior parte delle volte è intrinseca al ginocchio o ad altre articolazioni. Inoltre, per quanto gli allenamenti su superfici instabili possano essere d'aiuto in fase di riabilitazione ma, durante la rieducazione di soggetti sani, con questa metodologia viene favorita una maggiore attivazione dei muscoli stabilizzatori del tronco piuttosto che del ginocchio (Lawrence M.A. & Carlson L.A, 2015). Per questo motivo è importante strutturare un allenamento che possa comprendere sia l'utilizzo di esercizi con piccoli attrezzi ma soprattutto a corpo libero.

Per poter ottenere dei benefici dall'allenamento propriocettivo è consigliato eseguirlo per circa 30' ogni volta, almeno 2 volte a settimana. È inoltre fondamentale eseguire i vari esercizi a piedi nudi, poiché in questo modo si riesce a stimolare al meglio la pianta del piede: luogo più ricco di propriocettori del nostro corpo (Carli D. & Di Giacomo S., 2013)

3.3 Le catene cinetiche

Dovendo scegliere quali esercizi eseguire, per una corretta rieducazione funzionale del legamento crociato anteriore, è importante analizzarne la sicurezza e l'efficacia in base alla loro caratteristiche. Va quindi valutato se usare esercizi a catena cinetica aperta o chiusa.

Il concetto di catena cinetica è stato introdotto nel 1955 (Steindler A., et al., 1955) e spiega come, nei movimenti a catena cinetica aperta, l'estremità distale dell'arto che compie l'esercizio, quindi la mano o il piede, siano liberi di muoversi nello spazio. Viceversa, negli

esercizi a catena cinetica chiusa (KCK), l'estremità distale dell'arto che compie l'esercizio è fissata o stabilizzata su di un supporto che ne impedisce il movimento. Va specificato come questa definizione si riferisca ai gesti che si compiono, e non al carico che può esservi associato: quest'ultimo potrà cambiare le attivazioni muscolari ma non il fatto di inquadrare un esercizio in catena cinetica aperta o chiusa.

Pur avendo dato una definizione molto chiara, come in tutte le schematizzazioni vi è una grande perdita di informazioni e dettagli. Dividere ogni esercizio esistente in due sole categorie, catena cinetica aperta o chiusa, lascia da parte un insieme di sfumature che potrebbero risultare importanti per una definizione specifica dei vari esercizi, e per una loro più corretta assegnazione a seconda dei vari casi. A dimostrazione di tali affermazioni è sufficiente osservare alcuni movimenti: muovere l'arto superiore come un maestro d'orchestra, rappresenta una tipica catena cinetica aperta, poiché consente ogni movimento possibile nello spazio; eseguire delle elevazioni del braccio contro resistenza (es.: alzate laterali sul piano scapolare) invece fa sì che il movimento non possa avvenire sul piano trasverso poiché si perderebbe l'incidenza della resistenza stessa, che agisce dall'alto verso il basso e non orizzontalmente, concedendo quindi meno gradi di libertà al movimento; su di una leg-extension (esercizio che verrà approfondito successivamente) il piede è libero di muoversi ma l'arto inferiore avrà ancora meno libertà; le spinte col bilanciere su panca piana creano un vincolo indissolubile fra braccia, tronco e bilanciere, rimanendo comunque un esercizio a catena cinetica aperta; in una leg-press, dove la pedana si muove, si ha un esercizio a catena cinetica aperta ma la libertà dell'arto inferiore è ulteriormente limitata. Ognuno degli esercizi citati rientra nella precedente definizione di OKC ma possiede gradi di libertà di movimento molto differenti, e produce conseguenze su muscoli e strutture molli decisamente diversi, ma non per questo vengono catalogati in maniera differente.

Per un inquadramento più preciso dei vari esercizi occorre aggiungere all'unico requisito precedentemente citato, ovvero la libertà di movimento delle estremità distali, altre condizioni rilevanti, ma non necessarie o obbligatorie, utili a definire se un movimento appartiene alla macro categoria di quelli a catena cinetica aperta o chiusa.

Prima fra tutte è sicuramente la differenza di un esercizio in carico o in scarico, dove con il termine "in carico" si intende quando le articolazioni sorreggono la parte del corpo che vi si trova sopra, più un eventuale sovraccarico. Questo farà sì che la forza di compressione che agisce sul corpo vada a gravare su tutti i tessuti connettivali e periarticolari che si frappongono fra le superfici ossee articolari, nel caso del ginocchio si parla di cartilagini e menischi. Conoscere se un movimento è in carico o in scarico è fondamentale perché cambiano drasticamente le sollecitazioni sulle articolazioni che, assieme a quelle sulle attivazioni muscolari, sono fondamentali per la scelta degli esercizi. Normalmente gli esercizi in carico sono classificati a catena cinetica chiusa (ad es. lo squat) e quelli in scarico a catena cinetica aperta (ad es. leg-extension, dove il ginocchio non sostiene il peso del corpo, che invece è scaricato sullo schienale e sulla seduta). Ci sono però varie ambiguità, per cui un esercizio a catena cinetica chiusa può essere in scarico, come ad esempio le trazioni. Allo stesso modo, il military press è un esercizio a catena cinetica aperta che però vede il corpo il carico. Non bisogna quindi fermarsi alla mera definizione ma bisogna analizzare nei dettagli ogni singolo esercizio.

Altra caratteristica comune fra gli esercizi a catena cinetica chiusa è la fortissima correlazione fra i movimenti articolari. Nell'hip-thrust, esempio di una doppia catena cinetica chiusa, dove si hanno due punti fissi (piede e zona scapolare), è impossibile muovere la caviglia senza che ci siano conseguenti movimenti di ginocchio, anca e busto. Inoltre, il movimento di ogni articolazione determina, in larga misura, il movimento degli altri capi articolari (Biscarini A. et al., 2017), che sono dunque altamente predicibili. Negli esercizi a catena cinetica aperta

si hanno movimenti monoarticolari o poliarticolari, con una interdipendenza dei capi articolari molto bassa: non ci sono quindi vincoli meccanici che sincronizzano i movimenti articolari.

Negli esercizi a catena cinetica aperta la resistenza applicata è tipicamente nel segmento che si sta utilizzando, viceversa, negli esercizi a catena cinetica chiusa la resistenza agisce simultaneamente su tutta la catena delle articolazioni che sono in carico.

La stabilizzazione negli esercizi a catena cinetica aperta è tipicamente delegata ad un supporto esterno: citando la leg-extension si hanno le cosiddette impugnature di stabilizzazione ai lati della seduta. Negli esercizi a catena cinetica chiusa la stabilizzazione è intrinseca, e deve essere svolta dall'attività muscolare del soggetto che esegue l'esercizio. Questa stabilizzazione è favorita dal fatto di essere in carico, e quindi dalla maggiore compressione dei capi articolari. In questo caso è necessario un maggior controllo dell'equilibrio e dell'orientamento posturale.

A livello di attivazione muscolare gli esercizi a catena cinetica aperta sono tipicamente considerati ausiliari, complementari o di isolamento: focalizzando l'attivazione maggiormente su di un muscolo o su un capo muscolare, ad es.: l'estensione del gomito con la spalla in flessione ed abduzione, porta in pre-allungamento il capo lungo del tricipite brachiale stimolandolo maggiormente rispetto agli altri due capi monoarticolari. Gli esercizi a catena cinetica chiusa sono considerati tipicamente esercizi fondamentali, o di base. Questo significa che più gruppi muscolari concorrono simultaneamente all'esecuzione dell'esercizio stesso.

Negli esercizi a catena cinetica aperta il livello di co-contrazione è estremamente basso, con un'eccezione notevole: quando si giunge all'estremo del range del movimento. Come precedentemente specificato, alla fine dell'estensione del ginocchio gli ischiocrurali si attivano in maniera importante, salvaguardando l'integrità dell'articolazione. Di contro, nella catena cinetica chiusa si assiste lungo tutto l'arco del movimento a dei livelli di co-contrazione estremamente elevati, poiché necessari per stabilizzare l'intero corpo.

In ogni superficie articolare, come precedentemente accennato, sono presenti dei meccanocettori in grado di informare il sistema nervoso centrale (SNC) dei movimenti e delle pressioni a cui le articolazioni stesse sono sottoposte. Nel caso di esercizi a catena cinetica chiusa, trovandosi spesso in condizione di carico, questi recettori neurosensoriali, inviano delle informazioni fino al SNC (afferenze), che risponde con un comando efferente che tende a stabilizzare l'intero corpo. Verranno così aumentati i livelli di co-contrazione di diversi gruppi muscolari per reagire alla pressione a cui li si è sottoposti ed evitare di incorrere in infortuni vari. Al contrario, nella catena cinetica aperta, il sistema nervoso centrale, non percependo pressione sulle varie articolazioni, non attiva la co-contrazione dei muscoli antagonisti.

I due tipi di catene cinetiche implicano anche forze differenti a carico delle varie strutture articolari. Nel caso di una catena cinetica chiusa si hanno forze di compressione estremamente elevate, perché l'esercizio è spesso in carico, e la compressione articolare è favorita dal peso del corpo più l'eventuale sovraccarico utilizzato. Se si prende in considerazione uno squat, la co-contrazione degli ischiocrurali contribuisce ad aumentare la stabilità, e la compressione, del ginocchio. Quindi la stabilizzazione articolare è legata sia al carico che incide su una determinata articolazione, sia all'attività muscolare degli antagonisti. Negli esercizi a catena cinetica aperta, non essendo generalmente in carico né stimolando eccessivamente la co-contrazione dei muscoli antagonisti, si ha una stabilità minore. Va ben specificato come in un'articolazione soggetta a grandi forze di compressione i movimenti di Slide saranno limitati poiché, grazie all'alto grado di pressione presente nelle superfici articolari, sarà difficile che le forze di taglio, che tendono a far scivolare uno dei due capi articolari andando a ledere le strutture legamentose, possano incidere negativamente sulla salute dell'articolazione stessa. Per questo motivo spesso si tendono a preferire gli esercizi a catena cinetica chiusa quando si parla di rieducazione funzionale del legamento crociato anteriore.

A differenza degli esercizi a catena cinetica aperta, quelli a catena cinetica chiusa tendono a migliorare coordinazione, propiocezione, equilibrio, cinestesia ed il controllo della postura, poiché essendo spesso esercizi multiarticolari, richiedono una grande competenza coordinativa e di gestione degli schemi motori in generale.

3.3.1 Gli esercizi in sala pesi

Durante la fase di rieducazione del legamento crociato anteriore, specialmente dopo un intervento di ricostruzione, si hanno sempre molti timori su come trattare il ginocchio che ha subito il trauma. La conoscenza di base delle differenze fra gli esercizi a catena cinetica aperta e chiusa fa intuire subito come gli esercizi più sicuri, per il LCA, siano quelli con il piede vincolato, quindi a catena cinetica chiusa. Per quanto questo può essere parzialmente vero nella fase di riabilitazione, della quale si occupa lo specialista di riferimento, non è un concetto applicabile ad un soggetto che, finita la terapia post-trauma o post-intervento, torna ad allenarsi in un contesto fitness. Conoscendo i tempi di rimaneggiamento dell'innesto, indipendentemente dalla tipologia di operazione scelta, si noterà come questo tenda ad assumere le sembianze e la forza del vecchio LCA dopo circa un anno dall'intervento (Herrington L., et al., 2013), ma è possibile tornare ad allenarsi in sicurezza già a sei mesi di distanza dall'operazione (Hofbauer M., et al., 2019). Per questo motivo si è iniziato a prendere in maggiore considerazione gli esercizi a catena cinetica aperta, che hanno il grande vantaggio di poter aumentare in maniera importante la forza nell'arto che ha subito l'operazione (Tagesson S., et al., 2008). La scelta migliore resta comunque un approccio integrato fra OKC e CKC che consente di ottenere un miglior risultato in termini di rieducazione funzionale del legamento crociato anteriore, permettendone un recupero più veloce (Mikkelsen C., et al., 2000).

Utilizzare nello stesso protocollo di rieducazione esercizi a catena cinetica aperta e chiusa, ha il grande vantaggio di poter sopperire al deficit di forza e trofismo dell'arto che ha subito il danno, grazie agli esercizi OCK, stimolando inoltre le co-contrazioni e le sinergie fra i vari

gruppi muscolari, tipiche degli esercizi a catena cinetica chiusa: si ha quindi un maggior coinvolgimento ed una miglior rieducazione del ginocchio, che viene inserito all'interno del contesto nel quale opera quotidianamente.

Gli esercizi principalmente indicati a questo scopo sono: leg-extension, squat e leg-curl. Ognuno di questi merita un piccolo approfondimento poiché necessita di particolari attenzioni per poterne adattare l'esecuzione generale allo scopo specifico.

La leg-extension è sicuramente l'esercizio più discusso per quanto riguarda la rieducazione del legamento crociato anteriore.

Come si è potuto notare nel capitolo precedente, durante l'estensione del ginocchio le linee di tensione del quadricipite variano durante l'escursione del movimento. Gli angoli nei quali il ginocchio è più compatto, grazie alla maggior forza di compressione del quadricipite, sono quelli che vanno dai 60-80° in poi: durante questi tratti di escursione la tensione sul legamento crociato anteriore è minima (Beynon B.D. et al., 1997). Nella parte del movimento che va fra 0° e 45°, le forze di taglio che agiscono sul LCA sono massime, suggerendo di evitare questo range di esercizio durante l'allenamento. Agendo in questo modo si nota come negli ultimi gradi di estensione del ginocchio non si esegue un esercizio di rinforzo specifico a livello monoarticolare, o comunque a catena cinetica aperta. Questa delicata parte di ROM verrà quindi allenata solamente con esercizi a catena cinetica chiusa, tipicamente squat o piegate. Per ovviare a questo problema molto spesso si crea una variante della leg-extension facendo in modo che il pad tibiale non poggi sulla tibia due centimetri sopra i malleoli, ma leggermente sotto la patella. Facendo ciò si ha l'impressione di ridurre il braccio della resistenza agente sul legamento crociato anteriore e di poter eseguire l'estensione della gamba in maggior sicurezza. In realtà, la resistenza data dalla leg-extension è sempre la stessa, indipendentemente dal punto in cui si posiziona il cuscino tibiale. Questo semplicemente perché, diversamente, una persona alta (con gli arti inferiori lunghi) avvertirebbe molta più tensione a parità di carico di una persona più

bassa. Una semplice prova empirica dimostra che questo non accade. In secondo luogo, posizionare il pad al di sotto della rotula renderà molto meno proficua l'estensione della gamba fatta durante la prima metà dell'esercizio. Per quanto riguarda la sicurezza del legamento crociato anteriore è comunque vero che grazie a questa accortezza aumenta: il motivo non è perché il braccio della resistenza diminuisce ma semplicemente perché posizionare il pad sotto la rotula crea una resistenza meccanica che impedisce alla tibia di traslare in avanti, spingendola in dietro, andando a sgravare il legamento crociato anteriore dalla maggior parte della tensione che altrimenti subirebbe. Le soluzioni per eseguire una totale estensione della gamba sulla coscia, rinforzando al meglio il muscolo quadricipite, alla leg-extension a questo punto sono 2: dividere l'esercizio in due metà ed eseguire la prima metà con il pad nella posizione classica e la seconda portarlo fino sotto la rotula. La seconda soluzione consiste nell'eseguire l'esercizio con il ginocchio fuori asse rispetto al macchinario: facendo avanzare la seduta oltre quella che è la posizione corretta, sarà possibile posizionare il pad tibiale due centimetri sopra il malleolo e vederlo rotolare fino a sotto la patella nei gradi finali di estensione della gamba, garantendo al contempo sia una buona resistenza che un'ottima sicurezza (Biscarini A., 2008).

Lo squat viene normalmente utilizzato come principale esercizio di rinforzo durante la rieducazione del LCA. La co-contrazione degli ischiocrurali gli fa attribuire, da parte dei trainer, un maggiore grado di sicurezza rispetto a molti altri esercizi. Va comunque specificato come l'attivazione degli ischiocrurali assume una rilevanza determinante alla salvaguardia del LCA, solamente quando questi devono agire come stabilizzatori durante il movimento. Il loro contributo si ridurrà sensibilmente se l'esecuzione è fatta, per esempio, al multipower, dove, specialmente in chi ha poca tecnica, il fatto di essere vincolati al macchinario può fare in modo che questo venga utilizzato come struttura di appoggio, facendo venire meno la necessità di attivazione dei muscoli posteriori della coscia come stabilizzatori di anca e ginocchia. Una minore attivazione di questa muscolatura è stata riscontrata anche durante l'uso della leg-press, sia a causa della miglior stabilità garantita dal macchinario, sia dal rapporto fra inclinazione del

busto e ginocchia.

È nello squat eseguito a corpo libero o con bilanciere non vincolato, che si osserva una maggiore attivazione degli ischiocrurali, con relativo effetto protettivo verso il legamento crociato anteriore, dai 30° di flessione in poi (Escamilla R.F., 2012). Come si può vedere dalla figura n. 14, quando il ginocchio si trova a circa 80° di flessione, la linea di forza (FI1) generata da questi muscoli è ottimale per ottenere una trazione posteriore della tibia, in grado di andarsene opporsi alla forza di traslazione anteriore generata dal quadricipite, scaricando la tensione che altrimenti subirebbe il LCA. Viceversa, negli ultimi 30 gradi di flessione il legamento crociato anteriore subisce lo stress causato dal movimento di slide del ginocchio, perché gli ischiocrurali perdono la loro linea di forza ideale a questo scopo, creandone una che favorisce la compressione dell'articolazione (FI2).

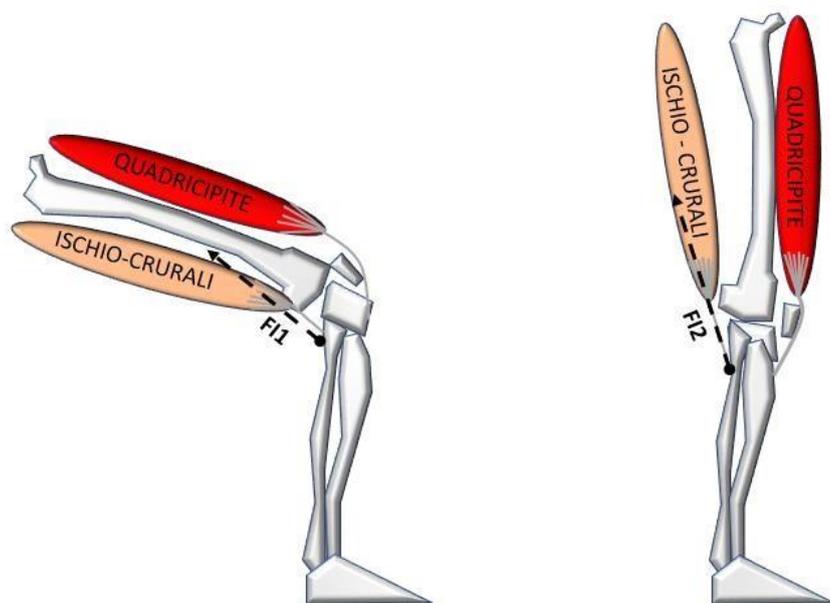


Figura n.14 Azione degli ischiocrurali sulla tibia durante l'estensione del ginocchio

Anche se in confronto alla leg-extension la tensione sul LCA risulta minore, avvenendo inoltre in una minor gamma di gradi di movimento, può essere utile a seconda dei soggetti, suggerire dei movimenti di squat che non prevedano gli ultimi angoli di estensione del ginocchio. Due varianti del classico squat che possono essere utilizzate a questo scopo sono i mini-squat ed il box squat modificato. Il primo esercizio consiste nell'eseguire un'accosciata

nella quale il ginocchio si muova solamente fra gli 80 ed i 40° di flessione circa, come se si dovessero eseguire dei piccoli molleggi. Il secondo esercizio consiste nel partire da seduti su di un appoggio la cui altezza massima deve essere quella che gli permette di raggiungere il cavo popliteo. Da una posizione seduta ci si alzerà in piedi evitando gli ultimi 30° di estensione del ginocchio. A seconda delle caratteristiche individuali e delle necessità del soggetto che si sta allenando, entrambi gli esercizi possono essere eseguiti sia a corpo libero, sia con i sovraccarichi. Fra le varianti da sconsigliare in questi casi ci sono sicuramente il wall-squat e lo squat con fitball (interponendo quest'ultima fra la schiena ed il muro): mantenere il busto dritto ed appoggiato al muro, o alla palla, soprattutto quando si arriva ad un angolo di flessione del ginocchio di 90°, si attiva in maniera massima il quadricipite escludendo quasi totalmente gli ischiocrurali, andando a creare dei picchi di tensione potenzialmente pericolosi sullegamento crociato anteriore (Brotzman S.B. & Manske R.C., 2011). Un problema importante dello squat deriva dal fatto che è necessario eseguirlo con una tecnica più che soddisfacente. Questo capita di rado anche fra persone sane e mediamente allenate, il che potrebbe risultare un ostacolo se a doverlo eseguire sono soggetti che hanno da poco terminato una terapia riabilitativa o che non hanno mai eseguito questo gesto tecnico. Per questo, come spiegato precedentemente, è utile insegnare la tecnica dello squat quando si esercita la propriocettività, in modo da poter far acquisire i giusti movimenti in sicurezza, prima di inserire degli eventuali sovraccarichi.

Il leg-curl è un esercizio fondamentale per ripristinare i giusti rapporti di forza fra i muscoli dell'arto inferiore e la corretta artrocinematica del ginocchio. Molto spesso si tende a non considerare il rinforzo dei muscoli della parte posteriore della coscia prediligendo principalmente il quadricipite. Nei capitoli precedenti di questa tesi si è parlato ampiamente di come gli ischiocrurali abbiano una parte attiva, risultando fondamentali, per quanto riguarda la sicurezza e l'integrità del legamento crociato anteriore. L'esercizio più indicato per una rieducazione funzionale del LCA è senza dubbio la variante da sdraiato del leg-curl. I motivi

sono semplici: si stimolano i muscoli posteriori della coscia in tutta la loro lunghezza, cosa che non accade nella variante da seduto, poiché l'anca flessa a 90° non permette un corretto ciclo di allungamento-accorciamento dei muscoli biarticolari. Ha inoltre un apprendimento tecnico semplice e sicuro, a differenza di esercizi come gli stacchi da terra, molto più complessi dal punto di vista esecutivo. Anche in questo caso però bisogna porre l'attenzione su alcuni particolari: il primo riguarda il mantenere l'anca leggermente flessa per evitare che gli ischiocrurali, a causa della estensione dell'anca e contemporanea flessione del ginocchio, si trovino nel punto minimo della loro curva tensione-lunghezza, incidendo negativamente sulla propria capacità di produrre forza (Smith L., et al., 1996). Questo problema può essere ovviato usando un macchinario già strutturato per tale scopo, nel quale la panca dove ci si sdraia non è perfettamente piatta ma presenta una piccola inclinazione a livello dell'anca. Differentemente si può mettere un rialzo sotto il bacino per evitare che questo risulti totalmente esteso. Il secondo dettaglio importante è quello di non allenare gli ischiocrurali usando gli elastici, poiché questi presentano una curva di resistenza auxotonica, mentre la curva di forza degli ischiocrurali è discendente. Si avrà quindi la minor tensione dell'elastico quando i muscoli posteriori della coscia sono in grado di esprimere più forza, ed una sua maggior tensione quando la forza degli ischiocrurali è minima.

3.4 La prevenzione delle recidive in sala pesi

Come è stato precedentemente accennato, uno dei problemi principali riguardanti le lesioni al legamento crociato anteriore è il rischio elevato di recidive. Quando si stila un programma di rieducazione funzionale, per questa tipologia di lesione, è fondamentale non concentrarsi solamente sul ginocchio e sulla sua flesso-estensione ma porre l'attenzione anche su schemi disfunzionali di movimento, in grado di poter creare eccessive tensioni sul LCA. Il più importante di questi è senza dubbio il cosiddetto "valgo dinamico", ovvero un movimento involontario del ginocchio verso l'interno, durante il piegamento dell'arto inferiore (Ford K.R., et al., 2015). Questa problematica si vede principalmente durante i movimenti di corsa o dopo

un atterraggio, all'interno della sala pesi è molto frequente durante l'esecuzione di piegate e step-up, esercizi che, se eseguiti correttamente, sono utili a contrastare proprio il movimento di valgo dinamico, che viene riconosciuto come un fattore di rischio per la lesione del legamento crociato anteriore (Hewett T.E., et al., 2005).

Nonostante la lesione del LCA avvenga per via dei movimenti intrinseci al ginocchio, le lesioni dovute a movimenti quali il valgo dinamico possono essere favorite da un deficit di forza e di controllo del medio gluteo e dei muscoli extrarotatori, agenti a livello prossimale, dell'anca (Numata H., et al., 2018). La maggior incidenza delle lesioni causate da questo particolare tipo di movimento riguarda le donne, molto probabilmente per la loro struttura del bacino (Ford K.R., et al., 2003) più larga rispetto a quella degli uomini. Questa caratteristica genetica, propria del genere femminile, favorisce i movimenti di adduzione dell'anca durante l'esecuzione dei vari esercizi e pone il medio gluteo in una posizione di forza non favorevole, poiché eccessivamente allungato (Sahrmann S., et al., 2012). Appare quindi ovvio che, per evitare delle recidive al LCA e mantenerne integra la struttura, non bisognerà concentrarsi solamente sui muscoli del ginocchio ma anche su quelli in grado di stabilizzare ed extrarotare l'anca. Fra gli esercizi più noti ed utili a questo scopo, all'interno della sala pesi si trovano: le piegate e lo step-up.

Esistono varie tipologie di piegate, chiamate erroneamente "affondi", che possono essere eseguite, ognuna delle quali è caratterizzata da una diversa attivazione muscolare e da diverse forze agenti a livello sul ginocchio. Uno studio (Park S. et al., 2016) ha analizzato le piegate in avanti, indietro ed in camminata, fornendo dati utili su quale, fra queste tre, inserire all'interno di una programmazione basata sulla rieducazione funzionale del LCA.

Nella piegata avanti viene eseguito un passo in avanti, per l'appunto, per via del quale il piede che andrà a contatto col terreno produrrà una forza vincolare diretta verso il piano tibiale, ed una forza di inerzia prodotta dal corpo che è proiettato anteriormente per via del passo appena eseguito. L'inerzia del corpo, frenata dall'attrito del piede col terreno, imprime una traslazione

anteriore della tibia producendo una forte tensione sul legamento crociato anteriore. Nonostante l'attivazione dei muscoli ischiocrurali sia la più alta fra le varianti di piegata prese in considerazione dallo studio precedentemente citato, anche le forze di taglio agenti sul LCA risultano le più alte. Inoltre la forza di inerzia espressa dal corpo durante questo esercizio lo rende di difficile apprendimento, soprattutto per i neofiti. Poiché il corpo tenderà ad essere poco stabile nel momento in cui il piede che effettua il passo toccherà terra, verrà favorito il movimento di valgo dinamico, soprattutto in persone de-allenate, con poca propriocettività, forza o controllo muscolare. Fra le varie tipologie di piegate, questa risulta sicuramente la meno indicata per quanto riguarda la rieducazione funzionale del legamento crociato anteriore.

La piegata indietro, o contropiegata, non prevede l'avanzamento del corpo, quindi non sarà presente lo slittamento in avanti della tibia, creando un minor stress sul legamento crociato anteriore. Gli ischiocrurali non verranno attivati come muscoli stabilizzatori del ginocchio ma interverranno come parte attiva del movimento per quanto riguarda l'estensione dell'anca quando si ritorna nella posizione iniziale. In questo esercizio inoltre, rispetto agli altri analizzati nello studio, si nota la maggior attivazione media del grande gluteo. Rispetto alla piegata in avanti risulta quindi un esercizio che comporta un più basso indice di rischio per il LCA ed ha una curva di apprendimento più favorevole anche per i neofiti.

La piegata in camminata è caratterizzata da una forte componente di instabilità, specialmente quando l'arto posteriore supera il tronco per proiettarsi in avanti e poggiare a terra. In questa variante è stata riscontrata una forte attivazione dei glutei, impiegati sia per produrre il movimento che per stabilizzare l'anca durante la fase di minor equilibrio, una alta attivazione del quadricipite ed un basso impatto sul legamento crociato anteriore. A differenza della piegata in avanti, in questa variante, non bisogna effettuare un passo indietro per tornare alla posizione di partenza ma si avanza di continuo, per questo motivo il livello di apprendimento motorio risulta più semplice. Va inoltre specificato come un passo più lungo aumenti la tensione sui glutei a discapito dei quadricipiti e viceversa, dando modo di personalizzare in maniera

efficiente questo esercizio. Per tutti questi motivi la piegata in camminata può essere proposta come un buon esercizio per la rieducazione funzionale del LCA anche per quanto riguarda i neofiti.

Si può quindi dedurre che per semplicità di apprendimento, muscoli coinvolti e soprattutto, sicurezza, analizzando lo studio sopra citato, la variante delle piegate da utilizzare per un migliore rieducazione del legamento crociato anteriore è quella indietro. Questa può essere alternata, una volta appresa la giusta tecnica, con la piegata in camminata: alternare esercizi differenti garantirà una ottima ricchezza di stimoli, incrementando i risultati sia dal punto di vista propriocettivo che muscolare.

L'indicazione generale che viene data per ogni variante di questo esercizio, ovvero di non avanzare con il ginocchio oltre la punta del piede, può non essere presa in considerazione in soggetti sani, poiché i legamenti crociati possono benissimo stabilizzare questo movimento e resistere alle forze che subiscono in quel determinato momento. In chi ha avuto storie cliniche pregresse di lesioni al LCA, ma anche di sindromi patello-femorali, viene consigliato di seguire questa indicazione per due motivi: il primo sono le tensioni che si creano sulle strutture tendinee e legamentose, che devono essere salvaguardate il più possibile in questa tipologia di persone; il secondo si riferisce a chi ha anche una scarsa mobilità di caviglia. Avanzando con il ginocchio della gamba anteriore si avrà un conseguente sollevamento del tallone, che andrà a determinare un maggior contributo nella spinta dei muscoli del tricipite surale, diminuendo l'incidenza dei muscoli target: glutei ed ischiocrurali.

Lo step-up, così come le piegate, risulta uno degli esercizi più funzionali per la stimolazione dei muscoli stabilizzatori dell'anca: venendo svolto con un solo arto, e con un'esecuzione alternata, stimola in maniera ottimale sia l'apparato locomotore sia il sistema nervoso che lo comanda. Si ha infatti un richiamo ed un consecutivo miglioramento della cosiddetta innervazione crociata: grazie alla particolare disposizione dei fusi neuromuscolari e del loro sistema di innervazione afferente ed efferente, in esercizi come step-up o piegate, quando si

contrae ad esempio il quadricipite della coscia destra, viene rilasciato il quadricipite dell'arto controlaterale. Simultaneamente si assiste ad una contrazione dei muscoli posteriori della coscia sinistra (antagonisti al movimento), mentre gli stessi muscoli della coscia destra verranno rilasciati (McArdle W.D. et al., 2009). Per l'esecuzione dello step-up occorrerà utilizzare un rialzo che consenta di posizionare il piede ad una altezza tale da avere l'anca a 90° di flessione, mantenendo la caviglia con un assetto neutro. I muscoli prevalentemente utilizzati in questa posizione saranno gli estensori dell'anca e del ginocchio. Per aumentare il livello di coinvolgimento degli estensori dell'anca, principalmente del grande gluteo, è sufficiente aumentare il livello del rialzo per flettere maggiormente l'anca ed aumentare il pre-stiramento dei glutei. Durante la fase di appoggio monopodalico, l'arto che sta eseguendo l'esercizio subisce un momento adduttore da parte della gravità, i muscoli abduttori dell'anca dovranno quindi opporsi con una contrazione isometrica per stabilizzare al meglio il bacino (Neumann D.A., 2016).

Per contrastare il movimento di valgo dinamico durante la corsa o un atterraggio dopo un salto sarebbe opportuno eseguire una analisi del cammino o della corsa, e lavorare su esercizi non codificati per personalizzare l'allenamento sulle problematiche specifiche del soggetto preso in esame. Questa tipologia di lavoro è difficilmente e poco frequentemente attuata in contesti fitness, sia che si parli di palestre o studi di personal trainer. È possibile comunque migliorare questo aspetto, inserendo all'interno del lavoro propriocettivo esercizi come lo step-off, che prevede la discesa da un rialzo di altezza variabile, a seconda delle caratteristiche del soggetto in questione (esperienza di allenamento, peso corporeo, conoscenza pregressa dell'esercizio, ecc.). Partendo quindi da una posizione sopraelevata bisognerà effettuare un piccolo salto ed atterrare con un singolo piede, in questo modo i muscoli abduttori e rotatori esterni dell'anca verranno stimolati per ottenere la stabilizzazione del bacino. Il trainer deve controllare l'assenza del valgo dinamico e di ogni qualsiasi pronazione del piede, seguendo le indicazioni sulle correzioni presenti nell'elenco di 5 punti, presente a pagina 35. Lo stesso

stimolo, sia a livello propriocettivo che muscolare, si può ottenere eseguendo dei piccoli salti monopodalici, facendo attenzione ad ammortizzare ogni volta in maniera corretta con caviglia e piede. In ambedue gli esercizi appena spiegati l'indicazione principale che deve essere data è quella di fare in modo che il ginocchio sia sempre in linea con la punta del piede.

CONCLUSIONI

La lesione al legamento crociato anteriore è senza dubbio la più nota in chiunque pratici sport sia a livello agonistico che amatoriale. Nonostante la grande incidenza di questa problematica e l'alta probabilità, per chi l'ha subita, di andare incontro a recidive, molto spesso si vedono consigliare ed eseguire allenamenti che poco hanno a che fare con la rieducazione funzionale del LCA. I dubbi e le paure sul poter peggiorare la situazione del proprio cliente fanno spesso optare per la scelta di esercizi a catena cinetica chiusa, nonostante questi non siano da preferire per quanto riguarda il rinforzo muscolare specifico dell'arto inferiore relativo al ginocchio leso. Esercizi come la leg-extension vengono consigliati solamente eseguendo la prima parte del movimento, impedendo al soggetto di recuperare forza nei restanti gradi di estensione del ginocchio. Gli esercizi propriocettivi che vengono fatti eseguire sono spesso incentrati sul miglioramento dell'equilibrio senza tenere conto delle numerose compensazioni che si attuano con tutto il corpo.

I vari studi citati all'interno di questa tesi mostrano come il miglior recupero, dopo una lesione al legamento crociato anteriore, si ottenga con un approccio integrato degli esercizi a catena cinetica aperta e chiusa. In questo modo sarà possibile recuperare forza e tono muscolare dell'arto inferiore interessato, coinvolgendolo anche in movimenti multiarticolari che richiedono la sinergia di più gruppi muscolari, stimolando non soltanto quelli direttamente collegati al ginocchio, avendo un approccio più funzionale in senso stretto. Per ogni esercizio a catena cinetica aperta e monopodalico che viene utilizzato è necessario strutturare delle varianti che siano in grado di far lavorare il ginocchio nel suo intero ROM, senza per questo subire forti tensioni a livello del legamento crociato anteriore. Tutto ciò è possibile farlo anche

utilizzando la leg-extension, semplicemente adottando un lavoro fuori asse, quindi avanzando con la seduta rispetto a quella che sarebbe la posizione corretta.

L'allenamento propriocettivo deve differenziarsi, per qualità di stimoli, dai singoli lavori sull'equilibrio e non deve puntare principalmente su supporti esterni, quali tavolette o altro, ma stimolare il più possibile i vari meccanoettori sia tramite un lavoro cosciente che riflesso del sistema nervoso centrale.

Va inoltre ricordato che questa tesi ha analizzato solamente gli aspetti meccanici e fisiologici del corpo umano, mentre bisognerebbe comunque tenere in considerazione che dopo aver subito una lesione al legamento crociato anteriore, determinati movimenti non verranno eseguiti oltre che per impossibilità meccaniche, di mancanza di forza o altro, anche perché si avrà un "blocco psicologico" verso alcuni movimenti o situazioni. Questo porterà ad adattamenti del movimento e compensi, che rischiano di creare tensioni e problemi anche in sedi differenti rispetto a quelle del ginocchio. Un buon allenamento propriocettivo ed un ottimo lavoro di prevenzione sulle recidive possono sicuramente aiutare a livello psicologico nel superare questa condizione. Bisogna comunque ricordare che, oltre il puro aspetto artrocinematico e muscolare, i soggetti che si hanno davanti prima di essere dei clienti sono soprattutto delle persone, che si rivolgono ad un professionista con la speranza ed il desiderio di poter tornare a compiere ogni gesto che facevano prima della lesione. Proprio per questo ogni buon Istruttore deve essere in grado di seguire chi si affida a lui non solo attraverso la competenza tecnica, ma uscendo a volte anche dal proprio ruolo, mettendo in campo quell'empatia di cui spesso la persona che si ha di fronte ha bisogno.

BIBLIOGRAFIA

Anastasi G., (2020), *Anatomia umana. Atlante (Vol. 1)*, 5° edizione – Edi.Ermes, Milano (Ita)

Andrews J.R., Harrelson G.L., Wilk K.E, (2000), *Riabilitazione nella Traumatologia dello Sport* – Verduci Editore

Arderm C.L., Högskola S., Taylor N., Feller J.A., (2014) Fifty-five per cent return to competitive sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: An updated systematic review and meta-analysis including aspects of physical functioning and contextual factors - *British Journal of Sports Medicine*, 1543 – 1552

Balboni G., (2016), *Trattato di anatomia umana*, 4° edizione, Edi-Ermes, Milano (Ita)

Beynon B.D., Johnson R.J., Fleming B.C., Stankewich C.J., Renström P.A., Nichols C.E., (1997), The strain behavior of the anterior cruciate ligament during squatting and active flexion-extension. A comparison of an open and a closed kinetic chain exercise - *The American Journal of Sport Medicine*, 823-829

Biscarini A., (2008), Minimization of the knee shear joint load in leg-extension equipment - *Medical Engineering & Physics*, 1032-1041

Biscarini A., Botti F.M., Pettirossi V.E., (2013), Selective contribution of each hamstring muscle to anterior cruciate ligament protection and tibiofemoral joint stability in leg-extension exercise: a simulation study - *European Journal of Applied Physiology*, 2263-2273

Biscarini A., Busti D., Calandea A., Contemori S, (2017), The “supine bridge” therapeutic exercise: determination of joint torques by means of biomechanical modeling and technologies - *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, Vol.17 No.06 1750104-1750120

Bisciotti G. N., (2007) *Il ginocchio. Biomeccanica, traumatologia e riabilitazione* – Calzetti Mariucci, Perugia (Ita)

Brotzman S.B., Manske R.C., (2011), *Clinical Orthopaedic Rehabilitation: An Evidence-Based Approach: Expert*, 3° edizione – Mosby, Londond (UK)

Bynum E.B., Barrack R.L., Alexander A.H., (1995), Open versus closed chain kinetic exercises after anterior cruciate ligament reconstruction. A prospective randomized study - *American Journal of Sports Medicine*, 401-406

Carli D., Di Giacomo S., (2013), *Preparazione atletica e riabilitazione. Fondamenti del movimento umano. Scienza e traumatologia dello sport, principi di trattamento riabilitativo* – C.G. Edizioni Medico-Scientifiche, Torino (Ita)

Chadwick C. Prodromos, M.D., Yung Han, M.D., Julie Rogowski, B.S., Brian Joyce, B.A., and Kelvin Shi, M.S., (2008) A Meta-analysis of the Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears as a Function of Gender, Sport, and a Knee Injury–Reduction Regimen. - *Arthroscopy The Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 1320-1325

Coombs R., Gerard G., (2002), Developments in the Use of the Hamstring/Quadriceps Ratio for the Assessment of Muscle Balance - journal of science and medicine in sport, 56-62

Davies G.J, Heiderscheit B.C., Manske R., Neitzel J., Schulte R., (2000), The scientific and clinical rationale for the integrated approach to open and closed kinetic chain rehabilitation - Orthopaedic Physical Therapy Clinics of North America, 247-267

Decker L.M., Moraiti C., Stergiou N., Georgoulis A.D., (2011), New insights into anterior cruciate ligament deficiency and reconstruction through the assessment of knee kinematic variability in terms of nonlinear dynamics - Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 1620-1633

Dervin F., Whitehead T., Poitras P., Parai M., Louati H., (2014), The Effect of Medial Release of the Distal Patellar Tendon Insertion on Lateral Patella Translation and Residual Insertion Strength: A Cadaveric Study - The Journal of Arthroplasty, 525 -529

Drake R. L., Wayne Volg A., Mitchell A. W., (2015), *Anatomia del Gray, i fondamenti* – Edra, Milano (Ita)

Escamilla R.F., Macleod T.D., Wilk K.E., Paulos L., Andrews J.R., (2012), Anterior cruciate ligament strain and tensile forces for weight-bearing and non-weight-bearing exercises: a guide to exercise selection - Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, 208-220

Fam, L P.D.A., Fruheling V.M., Pumpim B., Ramos C.H., de Moura M. F. A., Namba M., Da Silva J. L. V., da Cunha L.A.M., de Oliveira Franco A.P.G., Filho E.S., (2013), Oblique popliteal ligament-an anatomical study in *Revista Brasileira de Ortopedia (English Edition)* vol.48, Issue 5 / September-October 2013, pp. 402–405

Ford K.R., Myer G.D., Hewett T.E., (2003), Valgus knee motion during landing in high school female and male basketball players - Medicine & Science in Sports & Exercise, 1745-1750

Ford K.R., Nguyen A.D., Dischiavi S.L., Hegedus E.J., Zuk E.F., Taylor J.B., (2015), An evidence-based review of hip-focused neuromuscular exercise interventions to address dynamic lower extremity valgus - The Open Access Journal of Sports Medicine, 291-303

Francesconi K., Gandini G., (2015) *L'intelligenza nel movimento. Percezione, propriocezione, controllo posturale* – Edi-Ermes, Milano (Ita)

Georgoulis A.D., Pappa L., Moebius U., Malamou-Mitsi V., Pappa S., Papageorgiou C.O., Agnantis N.J., Soucacos P.N. (2001) The presence of proprioceptive mechanoreceptors in the remnants of the ruptured ACL as a possible source of re-innervation of the ACL autograft - Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 364-368

Girgis F.G., Marshall J.L., Monajem A., (1975) The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis - Clinical orthopaedics and related research., 216-231

Herrington L., Myer G., Horsley I., (2013), Task based rehabilitation protocol for elite athletes following Anterior Cruciate ligament reconstruction: a clinical commentary - Physical Therapy in Sport, 188-198

Hewett T.E., Myer G.D., Ford K.R., Heidt R.S. Jr, Colosimo A.J., McLean S.G., van den Bogert A.J., Paterno V.M., Succop P., (2005), Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study - *The American Journal of Sports Medicine*, 492-501

Hofbauer M., Soldati F., Szomolanyi P., Trattng S., Bartolucci F., Fu F., Denti M., (2018), Hamstring tendon autografts do not show complete graft maturity 6 months postoperatively after anterior cruciate ligament reconstruction - *Knee surgery sports traumatology arthroscopy*, 130-036

Kapandj A.I., (2011), *Anatomia funzionale*, 6° edizione – Monduzzi, Fontevivo (Ita)

Kapreli E., Athanasopoulos S., Gliatis J., Papathanasiou M., Peeters R., Strimpakos N., Hecke P.V., Gouliamos A., Sunaert S., (2011) Anterior cruciate ligament deficiency causes brain plasticity: a functional MRI study, - *The American Journal of Sports Medicine*, 2419-2426

Lawrence M.A., Carlson L.A., (2015) Effects of an Unstable Load on Force and Muscle Activation During a Parallel Back Squat - *The journal of strength and conditioning research*, 2949-2953

Lefebvre R., Leroux A., Poumarat G., Galtier B., Guillot M., Vanneuville G., Boucher J.P., (2006), Vastus medialis: anatomical and functional considerations and implications based upon human and cadaveric studies - *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 139-144

McArdle W.D., Katch F.I., Katch V.L., (2009), *Fisiologia applicata allo sport. Aspetti energetici, nutrizionali e performance*, 2° edizione – CEA, Milano (Ita)

McNair PJ., Marshall RN, Matheson JA., (1990), Important features associated with acute anterior cruciate ligament injury, - *The New Zealand Medical Journal*, 537-539

Melick N., Robert E H van Cingel , Frans Brooijmans, Camille, Neeter, Tony van Tienen, Wim Hullegie, Maria W G Nijhuis-van der Sanden, (2016), Evidence-based clinical practice update: practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus - *British Journal of Sports Medicine*, 1506-1515

Mikkelsen C., Werner S., Eriksson E., (2000), Closed kinetic chain alone compared to combined open and closed kinetic chain exercises for quadriceps strengthening after anterior cruciate ligament reconstruction with respect to return to sports: a prospective matched follow-up study - *Knee surgery sports traumatology arthroscopy*, 337-342

Neumann D. A., (2016), *Kinesiology of the Musculoskeletal System, Foundations for Rehabilitation* – 3° edizione, Elsevier, Milano (Ita)

Numata H., Nakase J., Kitaoka K., Shima Y., Oshima T., Takata Y., Shimozaki K., Tsuchiya H., (2018), Two-dimensional motion analysis of dynamic knee valgus identifies female high school athletes at risk of non-contact anterior cruciate ligament injury - *European Society of Sports Traumatology, Knee Surgery and Arthroscopy*, 442-447

Nyland J., Lachman N. Yavuz K., Brosky J.A., (2005), Anatomy, Function, and Rehabilitation of the Popliteus Musculotendinous Complex - *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 165-179

Ohkoshi Y., Yasuda K., Kaneda K., Wada T., Yamanaka Y., (1991), Biomechanical analysis of rehabilitation in the standing position - *The American Journal of Sport Medicine*, 605-611

Opar D.A., Williams M.D., Hickey R.G.T.J., Duhig S.J., Shield A.J., (2015), Eccentric hamstring strength and hamstring injury risk in Australian footballers - *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 857-865

Park S., Chung C., Park J., Jang J., Panday S. B., Lee J., Pathak P., (2016), Comparative Analysis of Lunge Techniques: Forward, Reverse, Walking Lunge - *34 International Conference of Biomechanics in Sport*, Luglio 18-22, 2016, Tsukuba (JPN)

Pearce J.M.S., (2004), Sir Charles Scott Sherrington (1857–1952) and the synapse, *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 544

Platzer W., (2014), *Atlante tascabile di anatomia umana. Apparato locomotore (Vol. 1)*, 5° edizione – CEA, Milano (Ita)

Riva D., Trevisson P., Minoletti R., Venturin N., Ottino, O., (2001), Propriocezione: istruzioni per l'uso, in *Il fisioterapista, n.6 / Novembre/dicembre 2001* – Edi-Ermes, Milano (Ita), pp. 1-10

Sahrmann S., (2012), *Sindromi da disfunzione del sistema di movimento. Estremità, colonna cervicale e toracica, gestione dello stadio acuto e trattamento a lungo termine* – Elsevier, Milano (Ita)

Sannicandro I., (2007), *La propriocezione. Rapporti con la capacità di disequilibrio negli sport di situazione* – Calzetti Mariucci, Perugia (Ita)

Smith L. K., Brunnstrom S., Weiss E. L., Don Lehmkuhl L., (1996), *Brunnstrom's Clinical Kinesiology*. 5° edizione - F.A. Davis Company, Philadelphia (PA – U.S.A.)

Steindler A., (1955) *Kinesiology of the human body under normal and pathological conditions* – Charles C.

Tagesson S., Oberg B., Good L., Kvist J., (2008), A comprehensive rehabilitation program with quadriceps strengthening in closed versus open kinetic chain exercise in patients with anterior cruciate ligament deficiency: a randomized clinical trial evaluating dynamic tibial translation and muscle function – *The American Journal of Sport Medicine*, 298-307

Urso A., Vaglino N., (2014), Il ginocchio nella pratica della pesistica, in *Strength & Conditioning, Anno 3, numero 9 / Luglio-Settembre 2014* (FIPE, NSCA) – Calzetti e Mariucci, Perugia (Ita), pp. 15-20

van Eck F.C., van den Bekerom M. P.J., Fu F.H., Poolman R.W., Kerkhoffs G.M.M.J., (2012), Methods to diagnose acute anterior cruciate ligament rupture: a meta-analysis of physical examinations with and without anaesthesia - *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 1895-1903

Vascellari A., Zaffagnini S., (2016), *Il ritorno allo sport - il ginocchio* - CIC Edizioni Internazionali

Wiggins A.J., Grandhi R.K., Schneider D.K., Webster D., Myer G.D., (2016), Risk of Secondary Injury in Younger Athletes After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis - *The American Journal of Sports Medicine*, 1861–1876

Woodley S.J., Mercer S.R., (2005), Hamstring Muscles: Architecture and Innervation - Cells Tissues Organs, 125-141

Wu, X-D., Yu J.-H., Zou T., Wang W., LaPrade R.F., Huang W., Sun S-Q., (2017), Anatomical Characteristics and Biomechanical Properties of the Oblique Popliteal Ligament - Scientific Reports volume 7, Article number: 4269

Zantop T., Wolf P., Freddie H., (2005) Anatomy of the anterior cruciate ligamen - Operative Techniques in Orthopaedics, Volume 15, 20-28

SITOGRAFIA

Propriocettività: https://www.treccani.it/enciclopedia/propriocezione_%28Dizionario-di-Medicina%29/

Semimembranoso: <https://www.treccani.it/enciclopedia/muscolo-semimembranoso/>