

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA

FACOLTÀ DI MEDICINA E CHIRURGIA

Master in Riabilitazione dei Disordini Muscoloscheletrici

Anno accademico 2007-2008

**RICOSTRUZIONE ARTROSCOPICA LCA: CLOSED
KINETIC CHAIN E OPEN KINETIC CHAIN.
RAZIONALE ED EVIDENZE SCIENTIFICHE.**

STUDENTE:

Dott. Ft. Baia Silvia

RELATORE:

Dott. Ft. OMT Francini Luca

INDICE:

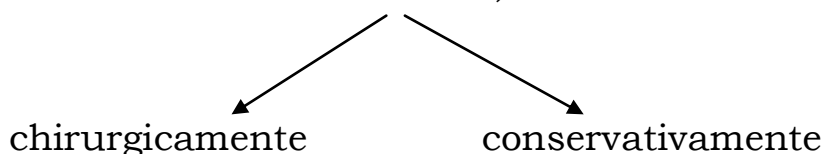
- ❖ Abstract: pag. 3
- ❖ Introduzione: pag. 5
- ❖ Materiali & Metodi: pag. 10
- ❖ Discussione: pag. 19
- ❖ Conclusioni: pag. 32
- ❖ Bibliografia: pag. 33

ABSTRACT

All'interno dei protocolli riabilitativi per ricostruzione di legamento crociato anteriore (LCA), da molti anni viene studiato il ruolo degli esercizi in catena cinetica aperta (OKC) ed in catena cinetica chiusa (CKC), al fine di identificare il razionale in termini biomeccanici, la validità in termini funzionali ed il potenziale nocivo o benefico di ciascuno. Gli studi presenti in letteratura indagano le fonti di stress a carico del LCA principalmente in due campi distinti:

✓ Struttura integra

✓ Struttura infortunata, trattata:



Obiettivo : scopo di questo lavoro è di indagare, attraverso l'analisi della letteratura internazionale presente sull'argomento, le evidenze di efficacia degli esercizi in OKC e di quelli in CKC nel trattamento riabilitativo del LCA trattato chirurgicamente secondo tecniche in artroscopia.

Metodi: per la ricerca è stato utilizzato il database PubMed, con l'introduzione delle seguenti stringhe di ricerca:

- ACL surgery AND rehabilitation
- ACL rehabilitation AND kinetic chain
- Open vs Closed kinetic chain
- OKC OR CKC AND ACL rehabilitation

Limiti: articoli in lingua italiana ed inglese pubblicati negli ultimi 15 anni; soggetti umani; RS ed RCT.

Risultati: sono stati scelti 36 articoli inerenti alla discussione della presente tesi. Di questi, 9 non sono stati reperibili e 4 indagavano lesioni di LCA trattate conservativamente.

23 sono, dunque, gli articoli inclusi.

Conclusioni: la letteratura non è concorde circa la miglior strategia riabilitativa per i pazienti operati di ricostruzione del Legamento Crociato Anteriore, soprattutto per ciò che riguarda la prima fase (0-4 settimane) post-intervento. La vera lacuna consiste nel non disporre di adeguate conoscenze circa la capacità di carico dell'innesto legamentoso durante alcune attività quali, ad esempio, la "Leg Extension".

Occorrono ulteriori lavori di ricerca per approfondire questo tipo di conoscenza e poter così costruire un programma riabilitativo idoneo sia alle esigenze del paziente sia alle esigenze della neo struttura.

INTRODUZIONE

Il Legamento Crociato Anteriore (LCA) è una robusta struttura fibrosa che trae origine dalla zona posteriore del condilo esterno del femore e si inserisce anteriormente alla tibia sulla superficie prespinale, tra l'inserzione dei corni anteriori dei menischi [15].

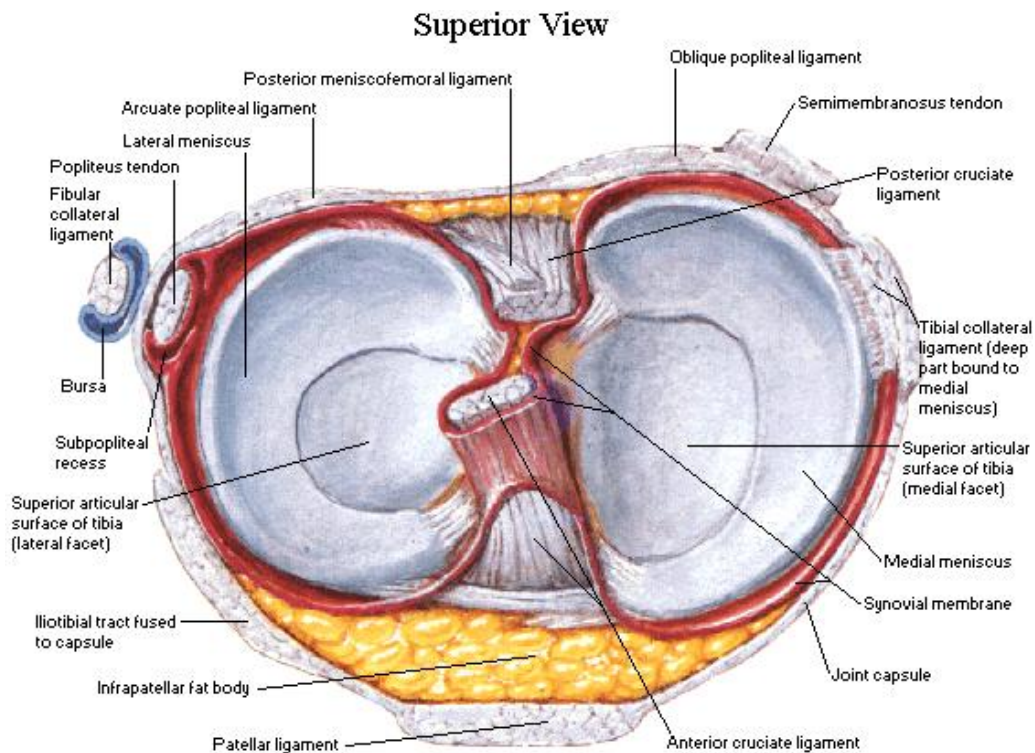
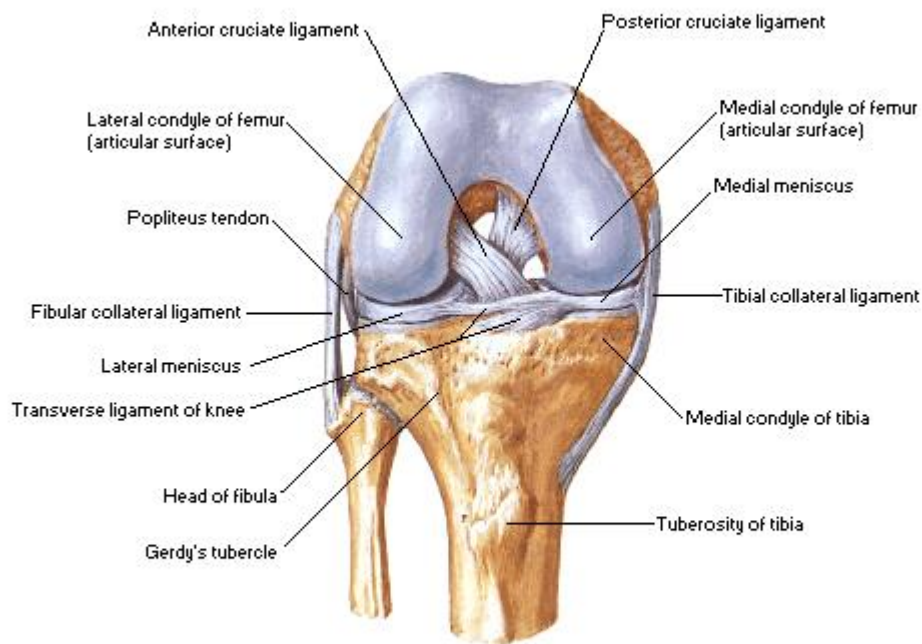


Figura 1: visione superiore della tibia con l'inserzione del LCA in primo piano (da “Atlante di Anatomia Umana” del Netter)

Costituisce, insieme al Legamento Crociato Posteriore, il cosiddetto “pivot centrale” del ginocchio, la cui funzione è quella di stabilizzare in direzione antero-posteriore l'articolazione. In particolare modo il LCA impedisce, con la propria messa in tensione, la sublussazione anteriore della tibia sul femore dovuta all'azione dei muscoli estensori di ginocchio (soprattutto del quadricipite) che avviene principalmente negli ultimi 30° di estensione ed in iper-estensione [15].

Right Knee in Flexion



Anterior View

Figura 2: visione frontale del ginocchio in flex (da "Atlante di Anatomia Umana" del Netter)



Figura 3: visione frontale del ginocchio in ext (da Netter)

EPIDEMIOLOGIA:

Secondo Clayton et al. [6], l'incidenza di lesione del LCA è stimata intorno ad 8,1/100.000 individui all'anno, senza considerare la traumatologia legata a sport specifici.

Secondo Gianotti et al. [10], l'incidenza di lesione del LCA di interesse chirurgico è stimata intorno a 36,9/100.000 individui mentre quella di interesse non chirurgico è stimata intorno a 1147/100.000 individui all'anno, se si considerano solo le lesioni da non contatto.

È difficile reperire dati epidemiologici simili tra loro.

Nella seguente tabella (fig. 4) sono riportati alcuni dati di incidenza di lesione del LCA legati a discipline sportive specifiche, quali il football americano, lo sci, il calcio, la pallacanestro ed il calcetto maschile e femminile. Un dato interessante è rappresentato da una maggior incidenza di lesione nelle donne che praticano sport rispetto agli uomini. Secondo alcuni Autori [4; etc...] il motivo è da ricercare nel maggior grado di lassità articolare presente nelle atlete, associato a preformances muscolari (soprattutto quadricipitali) inferiori che non garantirebbero adeguato controllo -e dunque protezione- articolare.

Figura 4: incidenza di lesione sport-specifica del LCA

<i>Attività</i>	<i>Anno</i>	<i>Frequenza</i>
<i>Popolazione comune</i>		
Miyasaka et al	1991	40 per 100.000 persone per anno
Nielsen e Yde	1991	30 per 100.000 persone per anno
<i>Football Americano</i>		
Hewson et al	1986	60 per 100.000 giocatori per giorno
<i>Sci</i>		
ISSS	1986	30 per 100.000 sciatori per giorno
Feagin et al	1987	70 per 100.000 sciatori per giorno
Johnson et al	1991	50 per 100.000 sciatori per giorno
Warne et al	1993	85 per 100.000 sciatori per giorno
<i>Calcio</i>		
Arendt et al	1995	13 per 100.000 atleti esposti 31 per 100.000 atlete esposte
<i>Calcetto(indoor soccer)</i>		
Lindenfeld et al	1994	0,87 per 100 ore di gioco (femmine) 0,29 per 100 ore di gioco (maschi)
<i>Pallacanestro</i>		
Aiendt et al	1995	7 per 100.000 atleti esposti 29 per 100.000 atlete esposte

Nonostante siano dati epidemiologici poco recenti, è interessante notare come in ciascuno studio vi siano risultati statisticamente differenti, indice del fatto che non si può risolvere la questione servendosi di pochi articoli.

Inoltre, i dati variano a seconda del paese: es. in America vi è una più alta incidenza legata al football americano, così come in Italia prevalgono sport ritenuti più “a rischio” quali il calcio e lo sci.

La ricostruzione artroscopica è ormai diventata una comune pratica ortopedica nel trattamento del LCA a seguito di infortunio, evento che accade soprattutto in ambito sportivo. Nonostante ciò, è ancora viva l'esigenza di stabilire un adeguato protocollo riabilitativo a causa della, ancora attuale, mancanza di consenso circa gli esercizi ottimali per il recupero funzionale dell'arto lesa [28; 34].

La letteratura è concorde nel giudicare il rinforzo muscolare del quadricipite come uno degli aspetti fondamentali del decorso post-operatorio, per prevenirne la debolezza cronica che andrebbe ad inficiare il buon esito dell'intervento chirurgico [2; 3; 4; 5; 8; 9; 11; 13; 19; 21; 22; 23; 25 ;26 ;29].

Da molti anni sono oggetto di controverse discussioni le proposte di rinforzo basate sull'introduzione precoce dell'esercizio in catena cinetica aperta (OKC) in associazione o meno a quello in catena cinetica chiusa (CKC).

Nell'ultima decade, l'orientamento della rieducazione fisioterapica in questo campo si è rivolto principalmente a programmi di rinforzo in CKC, considerati meno stressanti per il nuovo legamento [21] in quanto responsabili di una minor traslazione anteriore della tibia rispetto a quelli in OKC [5; 14].

Da qualche anno stanno raccogliendo ampio consenso i programmi accelerati di riabilitazione, che consentono immediata mobilità articolare, immediato carico e rapido ritorno all'attività sportiva [11; 12; 13; 23; 25].

Tuttavia, non sono ancora disponibili proposte scientificamente valide di rieducazione articolare dopo ricostruzione del LCA che riscuotano consenso universale [9].

Scopo di questo lavoro è di indagare, attraverso l'analisi della letteratura internazionale presente sull'argomento, le evidenze di efficacia e sicurezza degli esercizi in OKC e in CKC nel trattamento del LCA, per poter trarre delle conclusioni *evidence based* sul miglior intervento riabilitativo.

Punti di interesse:

1. Che cosa si intende per esercizi in CKC ed in OKC?
2. Gli esercizi in CKC e in OKC possono essere dannosi per il LCA ricostruito?
3. Esistono evidenze di maggior efficacia degli uni rispetto agli altri nel recupero funzionale precoce e libero dal dolore del ginocchio operato?
4. Quanto tempo è utile attendere, dall'intervento, prima di introdurre i suddetti esercizi?

MATERIALI & METODI

- **Banca dati:** Medline (PubMed)
- **Cut off temporale:** 15 anni
- **Key Words:** ACL Rehabilitation, OKC vs CKC, ACL Surgery, Anterior Tibial Displacement.
- **Stringhe di ricerca:**
ACL surgery AND rehabilitation,
ACL rehabilitation AND kinetic chain,
Open vs Closed kinetic chain,
OKC OR CKC AND ACL rehabilitation
- **Limiti:** lingua Italiana ed Inglese, studi su soggetti umani, RS ed RCT.
- **Risultati:** le stringhe di ricerca hanno “fruttato” almeno un centinaio di articoli. Sono stati esclusi a priori quelli di pertinenza strettamente chirurgica che costituivano almeno la metà del materiale. Sono stati esclusi i lavori su animali ed *in vitro*; inoltre si sono voluti considerare solo i *trials* che trattassero di lesioni isolate del Legamento Crociato Anteriore, tralasciando quelli comprendenti le compromissioni meniscali o pluri-legamentose, tanto più se associate anche a lesioni ossee. Successivamente è stata fatta una distinzione tra i lavori che comprendevano lesioni del LCA trattate conservativamente e quelli con riabilitazione post-chirurgica, oltre a quelli sperimentali con l'impiego di soggetti sani. 36 sono gli articoli giudicati più inerenti: di cui 3 sono Systematic Review e 33 tra Randomized Clinical Trials e studi di biomeccanica articolare.

Sono stati cercati alcuni articoli rinvenuti nelle bibliografie dei lavori, che non erano emersi nella prima ricerca.

Le 3 RS riassumono già alcuni RCT:

1. Wright R et al.: A Systematic Review of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Rehabilitation. [J Knee Surg. 2008; 21:225-234] comprende: [5; 12; 21; 23; 25]
2. Risberg MA, Lewek M: A systematic review of evidence for ACL rehabilitation: how much and what type? [Phys Ther in Sport. 2004; 5:125-145] comprende: [5; 12; 21; 23; 25]
3. Fitzgerald GK: Open versus Closed kinetic chain exercise: issues in rehabilitation after ACL reconstructive surgery. [Phys Ther. Dec 1997; 77(12):1747-1754] comprende: [5; oltre a precedenti lavori di Autori già citati]

STUDI INCLUSI: 23(tabella 1)

STUDI ESCLUSI: (tabella 2)

- N° 3 articoli, perché non disponibile l'abstract.
- N° 6 articoli, perché disponibile solo l'abstract.
- N° 4 articoli inerenti le lesioni di LCA trattate conservativamente, perché giudicate indagini riabilitative composte di obiettivi e tempistiche di lavoro differenti da quelle chirurgiche discusse nella presente revisione.

Tabella n.1: studi inclusi

AUTORE,TITOLO,ANNO	STUDIO & OBIETTIVO	MISURE DI OUTCOME	RISULTATI
Beynnon BD, Fleming BC <u>ACL strain in-vivo: a review of previous work.(1998)</u>	RCT revisione di precedenti lavori:indagare se es. in OKC sicuri per LCA post-intervento	Artrometro KT-1000; VAS, valutaz. Soggettiva di funzionalità e attività	No rilevanze cliniche significative a favore dell'uno rispetto all'altro, nel recupero funzionale. Es.in OKC non dannosi
Bodor M <u>Quadriceps protects the ACL.(2001)</u>	PRS dimostrare funzione protettiva del quadricipite nei cfr del LCA	EMG Gait-analysis Test di laboratorio biomeccanico	Il quadricipite protegge il LCA post-ricostruzione e non determina traslaz. Anteriore.
Bynum EB, Barrack RL <u>Open vs Closed chain kinetic exercises after ACL reconstruction.(1995)</u>	PRS Indagare se es.CKC migliori di OKC in protocollo accelerato di riabil. LCA, a 19 mesi post-interv	Artrometro KT-1000; VAS, valutaz. Soggettiva di funzionalità e attività	No differenza in VAS e valutaz. Soggettiva; maggior traslazione anteriore in KT-1000 del gr.OKC
Escamilla R <u>Biomechanics of the knee during Closed kinetic chain and Open kinetic chain exercises.(1998)</u>	Indagare se es.CKC migliori di OKC in protocollo di riabil. LCA	valutazioni funzionali durante esecuzione esercizi	es. OKC producono tensione a LCA, preferibili es. in CKC
Fitzgerald GK <u>Open vs Closed kinetic chain exercise: Issues in rehabilitation after ACL reconstructive surgery.(1997)</u>	RS Sviluppare protocolli di riabilitazione del LCA basati su evidenza scientifica (OKC vs CKC)	Dolore; Lassità articolare (KT1000; Soddisfazione funzionale pazienti	Necessità di ulteriori studi e di follow up a lungo termine
Fleming BC, Oksendahl H <u>Open or Closed kinetic</u>	Revisione lavori biomeccanica	Gait-analysis di deambulazione,	es. senza carico inOKC sono

<u>chain exercises after ACL reconstruction?(2005)</u>	articol. in es. OKC e CKC (traslazione tibiale anteriore)	salita e discesa scale calcolando picco di risultante forze muscolari su articolazione	sicuri quanto es. in CKC Necessità di ulteriori studi e di follow up a lungo termine ma
<u>Hejine A, Werner S Early vs late start of Open kinetic chain quadriceps exercises after ACL reconstruction with patellar tendon or hamstring grafts:a prospective randomized outcome study.(2007)</u>	RCT Comparare es. OKC e CKC precoci (4 sett) o tardivi (12 sett), in differenti tecniche di ricostruz. Chirurgica (rotuleo vs Hamstrings)	Lassità articol.(KT-1000); deviaz. Posturale; dolore; torque muscol.	Differenza significativa in KT-1000 nel gruppo Hamstring a 4 sett post-interv.:impossibile giudicare tempistica idonea di introduz es. OKC con tale tecn. Chirurg.
<u>Hooper D,Morrissey MC Open and Closed kinetic chain exercises in the early period after ACL reconstruction: Improvements in level walking, stair ascent, stair descent. (2001)</u>	RCT Valutare maggior efficacia funzionale di es OKC o CKC a 2-6 sett post-op. in deambulaz., salita e discesa di scale	Gait-analysis di deambulazione, salita e discesa scale calcolando picco di risultante forze muscolari su articolazione	No rilevanze cliniche significative a favore dell'uno rispetto all'altro, nel recupero funzionale a breve termine.
<u>Isberg J, Faxèn E Early active extension after anterior cruciate ligament reconstruction does not result in increased laxity of the knee.(2006)</u>	RCT Confermare sicurezza es. OKC precoci e senza limiti post-intervento, che non determinano maggior lassità articol (a 2 anni)	Lassità articol.(KT-1000); questionari individuali di funzionalità	No maggior lassità articol (KT-1000) anche se introdotti precocemente es. OKC senza limiti.
<u>Jenkins WL, Munns SW A measurement of anterior tibial displacement in the</u>	RCT Valutare effetti di es.OKC e CKC sulla	traslazione anteriore tibiale (KT-1000)	riscontrata maggior traslazione anteriore nei

<u>Closed and open kinetic chain.</u> (1997)	lassità articol		sogg. che eseguivano es. in OKC
Mc Ginty G, Irrgang JJ <u>Biomechanical considerations for rehabilitation of the knee.</u> (2000)	RCT revisione di lavori biomeccanica articol.	Dolore; Lassità articolare (KT1000]	es.in CKC non provvedono a rinforzo adeguato quadricipite, mentre es.OKC possono essere utilizzati post-intervento senza provocare carichi eccessivi al LCA
Mesfar W, Shirazi Adl <u>Knee joint biomechanics in open kinetic –chain flexion exercises.</u> (2007)	SIMULAZIONE BIOMECCANIC A SU MODELLO 3D	effetti di es. in flex di ginocchio a 0°, 30°, 60°, 90°	forze articol.dannose solo negli ultimi 30° flex
Mikkelsen C, Werner S, Eriksson E <u>Closed kinetic chain alone compared to combined O and CKC exercises for quadriceps strengthening after ACL reconstruction...</u> (2000)	RCT Valutare efficacia programmi di riabilitazione del LCA in CKC e in CKC+OKC a 6 mesi post-interv.	Lassità articolare (KT1000); Torque muscol. Isocinetico; Ritorno allo sport+ Questionario soddisfazione	Risultati statisticamente rilevanti a favore del progr. combinato CKC+OKC nel miglioramento stabilità articol(KT-1000)
Miller AC <u>A review of Open and Closed kinetic chain exercise following ACL reconstruction</u>	RS Sviluppare protocolli di riabilitazione del LCA basati su evidenza scientifica (OKC vs CKC)	Dolore; Lassità articolare (KT1000]; Soddisfazione funzionale pazienti	Cautela con es. OKC; più sicuri e più idonei funzionalmente I programmi CKC
Morrissey MC, Hudson ZL <u>Effects of Open vs Closed kinetic chain training on knee laxity in the early</u>	RCT Valutare effetti di es.OKC e CKC sulla lassità articol. a 2-6 sett. Post-	Lassità articol. (KT-1000)	No differenze statisticam. Rilevanti tra i due programmi: es.OKC sicuri anche a breve

<u>period after ACL reconstruction.(2000)</u>	intervento .		termine da intervento.
Morrissey MC,Drechsler WI <u>Effects of distally fixated vs nondistally fixated leg extensor resistance training on knee pain in the early period after ACL reconstruction.(2002)</u>	RCT Valutare effetti di es.OKC e CKC su dolore anteriore ginocchio. a 2-6 sett. Post-interv.	VAS	No differenze statisticam. rilevanti tra i due programmi: es.OKC sicuri anche a breve termine da intervento
Palmieri-Smith RM, Thomas AC <u>Maximizing quadriceps strength after ACL reconstruction(2008)</u>	RCT indagine circa il miglior programma di rinforzo post-intervento tra es. in CKC ed in OKC	revisione di articoli precedenti	No rilevanze cliniche significative a favore dell'uno rispetto all'altro, nel recupero funzionale . Necessità di ulteriori studi e di follow up a lungo termine
Perry MC, Morrissey MC <u>Effects of closed vs open kinetic chain knee extensor resistance training on knee laxity and leg function in patients during the 8- to 14-week post-operative period after ACL reconstruction.(2005)</u>	RCT Valutare effetti di es.OKC e CKC sulla lassità articol. a 8-14 sett. Post-interv.	Lassità articol. (KT-1000); salto verticale, salita e discesa scale; questionario soggettivo di funzionalità	No differenze statisticam. rilevanti tra i due programmi. No superiorità funzionale del progr. OKC.
Risberg MA, Lewek M <u>A systematic review of evidence for ACL rehabilitation: how much and what type?(2004)</u>	RS Sviluppare protocolli di riabilitazione del LCA basati su evidenza scientifica (OKC vs CKC)	Dolore; Lassità articolare (KT1000; Soddisfazione funzionale pazienti	Necessità di ulteriori studi e di follow up a lungo termine
Savio L-Y Woo <u>Biomechanics and ACL</u>	STUDIO BIOMECC. indagine circa il	Lassità articol. (KT-1000) e stiffness	No rilevanze cliniche significative a

<u>reconstruction.(2006)</u>	miglior programma di rinforzo post-intervento tra es. in CKC ed in OKC	articol.	favore dell'uno rispetto all'altro, nel recupero funzionale. Necessità di ulteriori studi e di follow up a lungo termine
Wright R,Preston E,Fleming BC <u>A systematic review of ACL reconstruction rehabilitation.(2008)</u>	RS Sviluppare protocolli di riabilitazione del LCA basati su evidenza scientifica (OKC vs CKC)	Dolore; Lassità articolare (KT1000; Soddisfazione funzionale pazienti	Necessità di ulteriori studi e di follow up a lungo termine

Tabella n. 2: studi esclusi

AUTORE,TITOLO,ANNO	STUDIO	MOTIVO ESCLUSIONE
Beynnon BD, Uh BS: <u>Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized, double-blind comparison of programs administered over 2 different time intervals. (2005)</u>	RCT	Disponibile solo l'abstract, art.non reperibile
Beynnon et al.: <u>Anterior cruciate ligament strain behavior during rehabilitation exercises in vivo.(1995)</u>	RCT	Non reperibile nemmeno l'abstract
Keays SL, Bullock-Saxton JE: <u>The relationship between knee strength and functional stability before and after anterior cruciate ligament reconstruction (2002)</u>	RCT	Disponibile solo l'abstract, art.non reperibile
Kvist J et al.: <u>Sagittal plane knee translation and electromyographic activity during Closed and Open kinetic exercises in ACL-deficient patients and control subjects. (2001)</u>	RCT	Non reperibile nemmeno l'abstract
Lattermann Chr, Weinberg AM: <u>Comparison of standardized Closed kinetic chain exercises against Open chain exercises in ACL deficient knees. (?)</u>	RCT	Lesione LCA trattata conservativamente
Morrissey MC, Hooper DM: <u>Relationship of leg muscle strength and knee function in the early period after anterior cruciate ligament reconstruction. (2004)</u>	RCT	Disponibile solo l'abstract, art.non reperibile
Neeter C, Gustavsson A: <u>Development of a strength test</u>	RCT	Lesione LCA trattata

<u>battery for evaluating leg muscle power after ACL injury and reconstruction. (2006)</u>		conservativamente
Perry MC, Morrissey MC: <u>Knee extensors kinetic chain training in ACL deficiency (2005)</u>	RCT	Lesione LCA trattata conservativamente
Ross MD, Denegar CR: <u>Implementation of open and closed kinetic chain quadriceps strengthening exercises after ACL reconstruction.</u>	RCT	Disponibile solo l'abstract, art.non reperibile
Tagesson S, Oberg B: <u>A comprehensive rehabilitation program with quadriceps strengthening in Closed vs Open kinetic chain exercise in patients with ACL deficiency (2008)</u>	RCT	Lesione LCA trattata conservativamente
Williams GN, Buchanan TS: <u>Quadriceps weakness, atrophy, and activation failure in predicted noncopers after anterior cruciate ligament injury.</u>	RCT	Disponibile solo l'abstract, art.non reperibile
Williams GN, Snyder-Mackler L: <u>Quadriceps femoris muscle morphology and function after ACL injury: a differential response in copers versus non-copers</u>	RCT	Disponibile solo l'abstract, art.non reperibile
Yack et al.: <u>Comparison of Closed and Open kinetic chain in the ACL deficient-knee</u>	RCT	Non reperibile nemmeno l'abstract

DISCUSSIONE

La riabilitazione dopo lesione di legamento crociato anteriore rappresenta uno dei campi di maggior interesse e studio in ambito fisioterapico e sportivo, dato l'elevato numero di atleti che subiscono infortuni al ginocchio con conseguente compromissione della stabilità articolare e dunque delle *performances* individuali. La ricostruzione del Legamento Crociato Anteriore è ormai diventata una comune pratica chirurgica per consentire ai pazienti di ritornare al proprio stile di vita attivo e sportivo [30; 36]. Resta ancora controversa la questione su quale sia la tecnica chirurgica più appropriata, se l'impianto con tendine rotuleo oppure con i tendini del gracile+semitendinoso [11; 13], ma ciò non è argomento di discussione della presente tesi.

Un'ottimale rieducazione del ginocchio operato si rende necessaria soprattutto in vista del ritorno alle attività ritenute più "stressanti" per la struttura legamentosa quali, ad esempio, la corsa ed il salto. Nonostante molti aspetti del percorso riabilitativo siano stati studiati nel particolare, mediante *randomized clinical trials*, ben poche revisioni hanno adottato un approccio basato sull'evidenza per creare protocolli completi di rieducazione del LCA [16; 36].

In questo contesto, non esiste ancora un consenso universale su quale sia il miglior programma per l'ottimale recupero funzionale dell'arto lesa a parte la mobilitazione precoce, segnalata ormai 25 anni fa ed in seguito continuamente confermata [8; 21; 30; 36].

1 Che cosa si intende per esercizi in CKC ed in OKC?

a. Rinforzo muscolare

L'obiettivo primario della riabilitazione a seguito di rottura del LCA è il ripristino della funzionalità del ginocchio, attraverso l'incremento del controllo neuromuscolare. Ciò può essere ottenuto tramite lo sviluppo della forza muscolare, della coordinazione e dell'abilità propriocettiva. Una delle maggiori sfide di questa rieducazione è costituita dall'indebolimento del muscolo quadricipite [4; 13; 30].

Molti dei pazienti che hanno subito ricostruzione del LCA accusano debolezza di questo muscolo, anche a distanza di 2 anni e nonostante la riabilitazione [9; 30]: questa debolezza è frequente in tutti i pazienti con ridotta funzionalità del ginocchio da trauma [36].

Tali pazienti, probabilmente, non sono stati sottoposti ad adeguato rinforzo muscolare [21; 27].

Gli esercizi in OKC o in CKC rappresentano la via più comune per incrementare la forza del quadricipite [30].

b. Esempi pratici

Per “catena cinetica aperta” si intende un movimento in cui si fissa un anello della catena cinetica (es. anca e bacino) mentre il segmento distale (ginocchio) è libero di muoversi: un esempio è costituito dalla “Leg Extension” (fig.5) Ciò significa che il piede non è a contatto con una superficie solida e che quindi la resistenza applicata alla tibia è automaticamente trasferita al ginocchio.



Figura 5: esecuzione di un es. in OKC, "Leg Extension"

Al contrario, in “catena cinetica chiusa” i segmenti sono raffigurati come degli anelli collegati, per cui il movimento di un’articolazione (ginocchio) produce simultaneamente movimenti nelle altre articolazioni distali (anca e caviglia): come nel caso dello “Squat” (fig.6) o della “Leg Press” (fig.7). In questo caso significa che il piede è a contatto con una superficie solida e riceve dal suolo una forza di reazione che viene trasmessa a tutte le articolazioni dell’arto inferiore [7; 9; 14; 23; 30].

La differenza critica tra i due tipi di esercizio non è tanto nella disposizione, quanto nella risultante delle forze trasferite al ginocchio [7; 9].



Figura 6: esecuzione di un es. in CKC, "Squat"



Figura 7: esecuzione di un es. in CKC, "Leg Press"

Nel presente lavoro si farà riferimento a questa tipologia di esercizi quando si parlerà di CKC ed OKC: non saranno dunque considerati esercizi in OKC per i muscoli ischio crurali isolati, in quanto già ritenuti sicuri e non pericolosi.

2 Gli esercizi in CKC e in OKC possono essere dannosi per il LCA ricostruito?

a. Sublussazione anteriore della tibia e lassità articolare

Come già accennato nell'introduzione, la funzione principale del LCA all'interno dell'articolazione è quella di impedire, attraverso la messa in tensione dei propri fasci, l'eccessivo movimento di traslazione anteriore della tibia sul femore [1; 7; 9; 14;] nel movimento di estensione attiva.

Lo stesso LCA, a seguito di lesione pur parziale, subisce un decremento della propria capacità di carico, con conseguente possibilità di aumento delle forze di taglio tra i capi ossei, che possono causare ulteriore libertà dell'articolazione e dunque aumento di tensione negli stabilizzatori secondari [27; 36].

All'inizio degli anni '90, i protocolli di riabilitazione del LCA, per lesione o ricostruzione, abbracciarono soprattutto gli esercizi in CKC, a discapito di quelli in OKC, poiché si riteneva che questi ultimi – nonostante costituissero l'allenamento più comunemente utilizzato nel rinforzo del quadricipite- favorissero ulteriore aumento di tensione nel legamento [12; 14; 28].

Sembrava infatti che producessero uno scivolamento anteriore (nei casi più gravi, una sublussazione) della tibia sul femore, soprattutto durante gli ultimi 30° di estensione, in quantità direttamente proporzionale all'entità della contrazione muscolare, mentre gli esercizi che comportavano una contrazione dei mm ischiocrurali non mettevano in tensione la struttura riparata né a qualsiasi angolo di flex né di forza [7; 9]. Nei pazienti con ricostruzione del LCA, ciò

risultava in un sostanzioso aumento di tensione potenzialmente dannoso per l'impianto.

Ciò che diede origine a questa corrente di pensiero prendeva origine dall'intuizione che la compressione esercitata sull'articolazione del ginocchio durante gli es. in CKC costituisse un fattore di stabilità, in quanto aumentava la *stiffness* articolare con conseguente diminuzione della sublussazione tibiale anteriore [5].

Furono introdotti programmi in CKC perché ritenuti più funzionali al rinforzo degli arti inferiori e meno stressanti per l'impianto chirurgico, oltre che per l'articolazione femororotulea [1; 5; 9; 12].

Beynnon e Fleming nel 1998 [1], all'interno di una revisione dei loro precedenti lavori, hanno misurato direttamente il grado di stress a carico di un LCA integro, mediante un trasduttore di tensione intrarticolare, durante un esercizio in OKC ("Flex- Ext" attiva contro gravità -senza alcuna resistenza alla caviglia) ed uno in CKC in carico ("Squatting") in un range di 90°-10°, concludendo che il massimo grado di tensione raggiunto in "Squatting" non era significativamente differente da quello raggiunto in Flex- Ext attiva contro gravità. Questi dati suggerivano la possibilità di introdurre, a seguito di ricostruzione, esercizi in OKC contro gravità tanto precocemente e con una certa tranquillità quanto quelli in CKC. Tuttavia, nel primo caso, l'aggiunta di ulteriore resistenza (44 N) comportava un aumento proporzionale di stress alla struttura, cosa che invece non si verificava nel secondo caso o in alcuna altra attività in CKC (es. cyclette).

I limiti di questo lavoro si riassumono nel fatto che la misurazione è stata fatta su un LCA integro: dunque è difficile stabilire se il grado di traslazione anteriore della tibia, durante un es. in OKC, sia veramente

dannoso per un LCA ricostruito; la stessa osservazione vale per i *trials* effettuati su LCA deficitari ma non riparati, che sono stati esclusi da questo lavoro di revisione.

Gli stessi autori, in due precedenti studi del 1994 e del 1995, avevano sostenuto esattamente il contrario: cioè che l'allenamento in OKC favoriva l'aumento di tensione a livello del LCA, mentre l'allenamento in CKC rispondeva meglio alle esigenze di recupero post-chirurgico.

Fleming et al. [20] in un altro studio-revisione del 2005, non aggiungono ulteriori elementi significativi, concludendo che un ottimale programma di recupero funzionale del ginocchio deve prevedere attività sia in CKC sia in OKC ma occorre continuare nella ricerca clinica per determinare il tipo di esercizio corretto, le varie combinazioni possibili ed il dosaggio adeguato di carico.

Purtroppo, anche gli studi di natura più strettamente biomeccanica non sono ancora in grado di fornire informazioni esaustive circa il limite sicuro di stress nella fase di cicatrizzazione del *graft* [7; 9; 14].

Bynum et al. [5] nel 1995 hanno cercato di dimostrare che gli esercizi in CKC erano maggiormente indicati di quelli in OKC nei pazienti con ricostruzione di LCA.

Nel presente studio, i pazienti (47, drop out 15) che avevano svolto un allenamento in OKC a 90°-30° flex mostravano, al 19° mese post-intervento nel test dell'artrometro KT-1000 con massima applicazione di forza, una maggior traslazione anteriore della tibia rispetto a quelli che si erano allenati in CKC a 0°-30° flex (50, drop out 18). A favore del training in CKC pesava anche un questionario di gradimento: un numero più alto di pazienti era tornato al lavoro in anticipo rispetto al gruppo OKC.

Di contro, alcuni recenti studi [3; 16; 17; 18] hanno provato che gli esercizi in OKC dopo ricostruzione del LCA erano da considerarsi positivamente in quanto non dannosi.

Mikkelsen et al. [21], nel 2000, hanno studiato due gruppi di atleti (22 e 22, no drop out) sottoposti a ricostruzione di LCA: dal primo giorno alla V settimana entrambi i gruppi hanno seguito il medesimo protocollo riabilitativo (ripristino mobilità, propriocezione, stretching, esercizi in CKC);dalla VI settimana il 1 gruppo ha introdotto esercizi in OKC nel programma impostato (contraz. concentriche ed eccentriche: inizialmente tra 90°e 40°di flex e giungendo infine tra 90° e 10° verso la XII sett.). A 6 mesi dall'intervento: il gruppo OKC non mostrava aumento di lassità articolare (test KT1000) rispetto al gruppo CKC; inoltre, in un maggior numero di atleti del primo gruppo, rispetto al secondo, si identificava un significativo incremento di forza del quadricipite ed un rientro all'attività sportiva.

Hooper et al., nel 2001 [12], hanno studiato il recupero funzionale in due gruppi di pazienti con ricostruzione del LCA ancora in fase "acuta": gli uni (19, no drop out) sottoposti ad allenamento in OKC e gli altri in CKC (18,no drop out) . Misure di outcome: cammino, salita e discesa delle scale. L'allenamento iniziava a 2 settimane dall'intervento, con valutazione dopo 4 settimane di training. A 6 settimane dall'intervento gli Autori non hanno riscontrato alcuna differenza significativa fra i due programmi di allenamento nelle valutazioni sovra citate.

Utilizzando circa la medesima metodologia e coorte di pazienti, Morrissey et al. [23; 25] dimostrarono che non vi era alcuna differenza statisticamente significativa nella misurazione della lassità articolare (nel 2000) e nel dolore anteriore di ginocchio (nel 2002) tra un gruppo

OKC e un gruppo CKC di pazienti, nel primo periodo dopo ricostruzione del LCA (6settimane).

Qualche anno dopo, nel 2005, Perry [28] e la medesima équipe indagarono gli effetti che un allenamento in CKC (25 pz, no drop out) od in OKC (24 pz, no drop out) produceva a livello di funzionalità dell'arto operato e di lassità articolare in un periodo intermedio rispetto ai precedenti studi: 8-14 settimane dall'intervento. Il vero training iniziava quindi a 8 settimane dalla ricostruzione. Questa scelta era dipesa dal fatto che gli Autori avevano identificato due periodi, dall'intervento chirurgico, in cui il legamento appariva particolarmente suscettibile agli stress in allungamento: appena dopo l'innesto, per precarietà della fissazione ossea del *graft*, e a 12 settimane, per indebolimento del tessuto tendineo costitutivo del *graft*.

Per quanto riguarda questi 6 studi, al di là di alcun imprecisioni metodologiche riscontrate in ciascuno, i grossi limiti si riscontrano:

- Bynum (1995), nonostante il valido follow up (19 mesi), riporta in maniera poco soddisfacente la misura di outcome riguardante il dolore al ginocchio.
- Mikkelsen (2000), si avvale di un discreto ma, forse, non sufficiente follow up di 6 mesi per concludere che non si riscontrano differenze a livello di lassità articolare tra i due gruppi di trattamento. Inoltre è difficile comparare questo studio agli altri, in quanto il programma di training si avvale di entrambe le tipologie di esercizio e dunque non è di semplice interpretazione.
- Questi 2 primi lavori sono deficitari di una valida misurazione pre-operatoria del grado di scivolamento tibiale già presente, tale

per cui è difficile ottenere un confronto con i dati del post-intervento

- Gli altri 4 studi, Hooper (2001), Morrissey (2000), Morrissey (2002) e Perry (2005) hanno fornito spunti significativi di lavoro per indagare gli effetti positivi che gli esercizi in OKC possono avere anche a distanza di breve tempo dall'intervento, aprendo quindi la strada a nuove concezioni di riabilitazione, anche grazie alla concordanza dei vari risultati. Tuttavia il follow up di 6 o 14 settimane post-intervento risulta essere troppo breve per mostrare qualsivoglia outcome di rilevanza clinica.

Inoltre, due aspetti accomunano tutti questi 6 studi:

- Non vi sono indicazioni precise circa il dosaggio degli esercizi: manca, cioè, un riferimento specifico al carico utilizzato e, talvolta, al numero di ripetizioni compiute.
- Non vi sono distinzioni in base alle tecniche chirurgiche utilizzate per la ricostruzione, (*graft* di origine rotulea oppure della “zampa d’oca”): [5; 12; 21; 23; 25] fanno riferimento sostanzialmente al prelievo rotuleo mentre [28] include tecniche miste.

Altra prospettiva è stata alla base del lavoro di Isberg et al. nel 2006 [13]: lo studio si concentrava sugli effetti positivi che un'introduzione immediata e senza limiti dell'estensione attiva e passiva di ginocchio poteva avere su un gruppo di pazienti (11, no drop out) operati di ricostruzione del LCA, secondo la tecnica di prelievo rotuleo, rispetto ad un secondo gruppo di pazienti (11, no drop out) con limitazione di estensione fino alla V settimana.

Facendo riferimento alla medesima osservazione di Perry [28] circa i due periodi post-chirurgici di maggior debolezza dell'innesto, il presente *trial* ha cercato di dimostrare che l'introduzione precoce

dell'estensione attiva di ginocchio –e di un protocollo riabilitativo accelerato- non comportava rischio di un maggior grado di lassità articolare a 6 mesi e a 2 anni di follow up, misurato con KT1000 ed analisi radio stereometrica, nel primo gruppo rispetto al secondo.

Significativo è il contributo di questo studio, che afferma l'importanza dell'introdurre precocemente esercizi in CKC ed in OKC nell'ottica di un protocollo accelerato, dimostrandone i benefici a livello di recupero immediato di forza quadricipitale e di minor dolore anteriore al ginocchio, oltre che di ripristino completo del ROM.

Il maggior limite di questo studio si riscontra nell'impossibilità a documentare una netta superiorità clinica del protocollo accelerato, rispetto a qualsiasi altro protocollo "tardivo", nel miglioramento funzionale del ginocchio (es. ritorno ad attività sportive, etc...).

L'unico studio reperito che adottasse una distinzione tra le differenti tecniche chirurgiche è stato quello di Heijne et al.[11] del 2007, in cui sono stati studiati 34 pazienti operati con tendine rotuleo e 34 operati con tendine di ischio crurali, divisi a loro volta in altri 2 gruppi per indagare gli effetti della:

1. introduzione a 4 settimane dall'intervento di es. in OKC per rinforzo del quadricipite in un I gruppo con ricostruzione da rotuleo (P4) e in un I con ricostruzione da ischio crurali (H4),
 2. introduzione a 12 settimane dei medesimi es. in OKC nel II gruppo del rotuleo (P12) e nel II gruppo degli ischio crurali (H12),
- sul recupero del ROM, sulla lassità articolare anteriore, sul dolore di ginocchio e sul torque muscolare, anche se i due gruppi H mostravano maggior forza nel quadricipite rispetto ai gruppi P.

Ai vari follow up (3, 5, 7 mesi) non sono state evidenziate differenze significative tra i vari gruppi per ciò che riguarda ROM, dolore

anteriore di ginocchio e torque muscolare (se comparate le medesime tecniche chirurgiche).

In accordo con i già presenti studi di Beynnon [2] ed Isberg [13], non sono state riscontrate differenze significative ai follow up tra i gruppi P4 e P12 in termini di lassità articolare nella comparazione fra i due arti(KT1000): ciò suggerisce –ancora una volta- la possibilità di introdurre senza rischio programmi di training in OKC a distanza di breve periodo dall'intervento, se trattati con la tecnica del tendine rotuleo.

Per quanto riguarda la ricostruzione con tendini ischiocrurali, è stata notata una differenza statisticamente rilevante nella lassità anteriore del gruppo H4 rispetto al gruppo H12 nella comparazione fra i due arti, tale per cui gli Autori sconsigliano il rinforzo muscolare precoce mediante es. in OKC nei pazienti trattati con *graft* dalla zampa d'oca.

CONCLUSIONE

Abbiamo dimostrato come in letteratura esistano moltissimi lavori dedicati alla riabilitazione del Legamento Crociato Anteriore e come, nonostante ciò, sia ancora difficile stabilire un protocollo di trattamento adeguato e concorde con gli ultimi ritrovati della ricerca. Infatti, non è ancora possibile dare una risposta unitaria alle domande 3 e 4 che ci eravamo posti all'inizio del lavoro:

3. Esistono evidenze di maggior efficacia degli uni (CKC) rispetto agli altri (OKC) nel recupero funzionale precoce e libero dal dolore del ginocchio operato?
4. Quanto tempo è utile attendere, dall'intervento, prima di introdurre i suddetti esercizi?

Disponiamo infatti di alcuni lavori che propendono per protocolli con impiego maggiore di es. in CKC in quanto ritenuti più funzionali e meno stressanti per il ginocchio operato [5; 7; 8; 14; 22] in accordo con studi di biomeccanica articolare quale [14], ma vi sono anche altri lavori che preferiscono integrare le due tipologie di esercizio, esortando comunque ad agire con cautela, come [1; 8; 12; 21] in accordo con [7; 9; 20; 30; 36] ed infine altri lavori che invece promuovono l'efficacia eclatante degli esercizi in OKC, all'interno di un protocollo accelerato, su quelli in CKC, come in [13; 22; 23; 25; 28] in accordo con [4].

Possiamo concludere dicendo che, ad oggi, non esiste ancora una corrente di pensiero comune per ciò che riguarda un ottimale programma di riabilitazione del Legamento Crociato Anteriore, soprattutto nelle prime fasi post-intervento dove la paura di creare eccessivi stress all'impianto è ancora viva. Gli Autori che si sono schierati a favore di protocolli riabilitativi accelerati ed in funzione di esercizi in OKC, non sempre sono in grado di dimostrarne la superiorità clinica rispetto ai vecchi protocolli del passato più "protettivi" e tardivi.

La vera lacuna consiste nel non avere adeguate conoscenze circa la capacità di carico dell'innesto legamentoso durante alcune attività, quali; ad esempio, la "Leg Extension". Occorrono ulteriori lavori di ricerca per approfondire questo tipo di conoscenza e poter così costruire un programma riabilitativo adeguato sia alle esigenze del paziente sia alle esigenze della neo struttura.

BIBLIOGRAFIA

1. Beynnon BD, Fleming BC: ACL strain in-vivo: a review of previous work. [Journal of Biomechanics. 1998; 31:519-525]
2. *Beynnon BD, Uh BS: Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized, double-blind comparison of programs administered over 2 different time intervals. [Am J Sports Med. 2005 Mar;33(3):347-59] #*
3. *Beynnon et al. : Anterior cruciate ligament strain behavior during rehabilitation exercises in vivo. [Am J Sports Med. 1995; 23:24-34]*
4. Bodor M: Quadriceps protects the ACL. [J Orthop Res. 2001; 19:629-633]
5. Bynum EB, Barrack RL: Open vs Closed chain kinetic exercises after ACL reconstruction. [Am J Sports Med. 1995; 23(4):401-405]
6. Clayton RA, Court-Brown CM: The epidemiology of musculoskeletal tendinous and ligamentous injuries [Injury. 2008 Dec;39(12):1338-44. Epub 2008 Nov 25]
7. Escamilla R : Biomechanics of the knee during Closed kinetic chain and Open kinetic chain exercises. [Am College Sports Med. 1998 April; 30(4):556-569]
8. Fitzgerald GK: Open vs Closed kinetic chain exercise: Issues in rehabilitation after ACL reconstructive surgery. [Phys Ther. 1997 Dec; 77(12):1747-1754]
9. Fleming BC, Oksendahl H: Open or Closed kinetic chain exercises after ACL reconstruction? [Exerc Sport Sci Rev. 2005; 33(3):134-140]
10. Gianotti SM, Marshall SW: Incidence of anterior cruciate ligament injury and other knee ligament injuries: A national population-based study. [J Sci Med Sport. 2008 Oct 1]
11. Heijine A, Werner S: Early vs late start of Open kinetic chain quadriceps exercises after ACL reconstruction with patellar tendon or hamstring grafts:a prospective randomized outcome study. [Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2007; 15:402-414]
12. Hooper DM, Morrissey MC: Open and Closed kinetic chain exercises in the early period after ACL reconstruction: Improvements in level walking, stair ascent, stair descent. [Am J Sports Med. 2001; 29:167-174]

13. Isberg J, Faxèn E: Early active extension after anterior cruciate ligament reconstruction does not result in increased laxity of the knee. [Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2006; 14:1108-1115]
14. Jenkins WL, Munns SW: A measurement of anterior tibial displacement in the Closed and open kinetic chain. [J Orthop Sports Phys Ther. 1997 Jan; 25(1):49-56]
15. Kapandji IA: Fisiologia Articolare [Maloine Monduzzi ed.]
16. Keays SL, Bullock-Saxton JE: The relationship between knee strength and functional stability before and after anterior cruciate ligament reconstruction. [Orthop Res Society. 2002] #
17. Kvist J et al.: Sagittal plane knee translation and electromyographic activity during Closed and Open kinetic exercises in ACL-deficient patients and control subjects. [Am J Sports Med. 2001; 29:72-82]
18. Lattermann Chr, Weinberg AM: Comparison of standardized Closed kinetic chain exercises against Open chain exercises in ACL deficient knees. [?]
19. McGinty G, Irrgang JJ: Biomechanical considerations for rehabilitation of the knee. (Clin Biomech. 2000; 15:160-166)
20. Mesfar W, Shirazi Adl: Knee joint biomechanics in open kinetic – chain flexion exercises. (Clin Biomech. 2007; 23:477-482)
21. Mikkelsen C, Werner S: Closed kinetic chain alone compared to combined open and closed kinetic chain exercises for quadriceps strengthening after ACL reconstruction with respect to return to sports... [Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2000; 8:337-342]
22. Miller AC: A review of Open and Closed kinetic chain exercise following ACL reconstruction. [?]
23. Morrissey MC, Drechsler WI: Effects of distally fixated vs nondistally fixated leg extensor resistance training on knee pain in the early period after ACL reconstruction. [Phys Ther. 2002; 82:35-43]
24. Morrissey MC, Hooper DM: Relationship of leg muscle strength and knee function in the early period after anterior cruciate ligament reconstruction. [Scand J Med Sci Sports. 2004 Dec; 14(6):360-6] #
25. Morrissey MC, Hudson ZL: Effects of Open vs Closed kinetic chain training on knee laxity in the early period after ACL reconstruction. [Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2000; 8:343-348]

26. Neeter C, Gustavsson A: Development of a strength test battery for evaluating leg muscle power after ACL injury and reconstruction. [Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2006; 14:571-580]
27. Palmieri-Smith RM, Thomas AC: Maximizing quadriceps strength after ACL reconstruction. [Clin Sports Med. 2008; 27:405-424]
28. Perry MC, Morrissey MC: Effects of closed vs open kinetic chain knee extensor resistance training on knee laxity and leg function in patients during the 8- to 14-week post-operative period after ACL reconstruction. [Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2005; 13:357-369]
29. Perry MC, Morrissey MC: Knee extensors kinetic chain training in ACL deficiency. [Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2005; 13:638-648] *
30. Risberg MA, Lewek M: A systematic review of evidence for ACL rehabilitation: how much and what type? [Phys Ther in Sport. 2004; 5:125-145]
31. Ross MD, Denegar CR: Implementation of open and closed kinetic chain quadriceps strengthening exercises after ACL reconstruction. [J Strength Cond Res. 2001 Nov; 15(4):466-73] #
32. Savio L-Y Woo, Changfu Wu: Biomechanics and ACL reconstruction. [J Orthop Surg. 2006 Sept]
33. Tagesson S, Oberg B: A comprehensive rehabilitation program with quadriceps strengthening in Closed vs Open kinetic chain exercise in patients with ACL deficiency. [Am J Sports Med. 2008; 36(2):298-307] *
34. Williams GN, Buchanan TS: Quadriceps weakness, atrophy, and activation failure in predicted noncopers after anterior cruciate ligament injury. [Am J Sports Med. 2005 Mar; 33(3):402-7] #
35. Williams GN, Snyder-Mackler L: Quadriceps femoris muscle morphology and function after ACL injury: a differential response in copers versus non-copers. [J Biomech. 2005 Apr; 38(4):685-93] #
36. Wright R et al.: A Systematic Review of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Rehabilitation. [J Knee Surg. 2008; 21:225-234]
37. Yack et al.: Comparison of Closed and Open kinetic chain in the ACL deficient- knee [Am J Sports Med. 1993; 21:49-54]