

Sommario

INTRODUZIONE	1
1. IL GINOCCHIO: CENNI DI ANATOMIA	4
1.1. LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE: FISIOPATOLOGIA	9
1.2. LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE: ANALISI DEI FATTORI DI RISCHIO.....	12
1.3. LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE: POSSIBILITÀ DI INTERVENTO (CONSERVATIVO vs CHIRURGICO)	14
1.4. LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE: OBIETTIVI DEL PROGRAMMA RIABILITATIVO.....	17
2. STRENGTH LOSS: POSSIBILI CAUSE E MECCANISMI D'AZIONE DOPO RICOSTRUZIONE DEL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE (ACL-R).....	21
3. STRENGTH-LOSS: STRATEGIE PER MASSIMIZZARE IL RECUPERO DELLA FORZA DOPO RICOSTRUZIONE DEL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE (ACL-R).....	22
3.1. STRATEGIE PER LIMITARE LA PERDITA MUSCOLARE DOPO UN INFORTUNIO O UN INTERVENTO CHIRURGICO	22
3.2. STRATEGIE PER MASSIMIZZARE IL RECUPERO DELLA FORZA DOPO UN INFORTUNIO O UN INTERVENTO CHIRURGICO.....	24
4. CROSS-EDUCATION	27
5. SCOPO DELLO STUDIO	29
6. MATERIALI E METODI.....	30
6.1. CRITERI DI INCLUSIONE ED ESCLUSIONE	30
6.2. MISURE DI OUTCOMES	30
6.2.1. LIMB SIMMETRY INDEX (LSI).....	31
6.2.2. SHORT FORM HEALTH SURVEY 36 (SF-36).....	33

6.2.3.	TAMPA SCALE OF KINESIOPHOBIA (TSK).....	36
6.3.	GRUPPI DI STUDIO.....	37
6.3.1.	GRUPPO CONTROLLO (GC).....	37
6.3.2.	GRUPPO CROSS EDUCATION (GCE).....	38
6.4.	ANALISI STATISTICA.....	40
7.	RISULTATI	41
8.	CONCLUSIONI.....	45
9.	BIBLIOGRAFIA	47
10.	SITOGRAFIA	52
	RINGRAZIAMENTI.....	53

INTRODUZIONE

Negli ultimi anni gli studi epidemiologici relativi agli infortuni dell'arto inferiore hanno subito un forte incremento, dovuto al maggior interesse da parte degli operatori medico-sanitari, specialmente in ambito sportivo.

Questa maggiore disponibilità di dati ci consente di analizzare quali siano i soggetti e le attività a maggior rischio di infortunio e, al contempo, evidenziare le variabili che possono aumentarne l'incidenza, nonché, le modalità volte a prevenire questi episodi mediante programmi di prevenzione mirati.

La lesione del *Legamento Crociato Anteriore (LCA)* risulta essere una problematica molto comune specialmente in ambito sportivo e richiede un lungo periodo riabilitativo per permettere ai pazienti di ritornare ai livelli di performance precedenti all'infortunio.

Occorre però ricordare che in letteratura scientifica le informazioni relative all'epidemiologia di una patologia derivano da studi osservazionali che forniscono dati sull'incidenza di un disturbo relativo ad un campione rappresentativo della popolazione. Questo ci pone di fronte a due problematiche importanti: la prima è che nella realtà sussistono numerosissimi fattori soggettivi (età, sesso, comorbidità, lesioni precedenti, ecc.) che possono influenzare l'andamento terapeutico e non possono sempre essere inclusi all'interno di uno studio; la seconda è che, spesso, questi "campioni rappresentativi", sono composti da sportivi di alto livello, in quanto è proprio questa la categoria più studiata. Il motivo risiede nel fatto che le categorie di élite presentano una maggior incidenza di infortuni, inoltre vi è un maggiore interesse a velocizzare il ritorno allo sport dell'atleta.

Un dato su cui riflettere, però, è che nel 25% della popolazione in esame troviamo lesioni avvenute a carico di atleti già sottoposti ad intervento di ricostruzione del crociato anteriore. Nel dettaglio possiamo analizzare delle recidive omolaterali nel 15% dei casi e lesioni del crociato controlaterale nel 10% dei casi¹.

Sofferinarsi alla sola analisi della popolazione sportiva, in ogni caso, potrebbe non essere rappresentativo, in quanto nella pratica quotidiana ci troviamo di fronte a persone moderatamente sportive o sedentarie.

In ogni caso, qualunque sia la tipologia della popolazione, l'obiettivo resta quello di ripristinare i livelli di performance antecedenti alla lesione.

Per raggiungere questo target si possono utilizzare differenti strategie, volte a massimizzare il risultato terapeutico e minimizzare il rischio di recidiva. L'allenamento della forza, in particolare, è uno degli strumenti chiave che il fisioterapista deve inserire all'interno del percorso riabilitativo. L'esercizio con sovraccarico, infatti, viene menzionato, ormai da anni, all'interno delle linee guida internazionali^{2,3} come parte fondamentale dell'iter riabilitativo, sia esso di tipo conservativo che post-chirurgico, in quanto determina molteplici effetti positivi. Tra questi non abbiamo soltanto l'incremento in termini di forza e trofismo muscolare, ma anche importanti adattamenti che coinvolgono il sistema nervoso e garantiscono un miglior controllo neuromuscolare e, pertanto, risultati più sostanziosi e duraturi nel tempo.

Purtroppo, però, teoria e pratica non sempre coincidono e ci troviamo spesso di fronte a condizioni cliniche complesse, dove la presenza di elementi secondari, quali dolore, gonfiore e rigidità, possono ritardare o ostacolare l'esecuzione di un corretto programma di esercizi necessario alla progressione riabilitativa.

Avendo osservato questa problematica anche all'interno del mio percorso di tirocinio svolto presso il centro Myolab di Jesi, insieme ai miei tutor ho analizzato la letteratura scientifica e messo in rassegna soluzioni alternative per risolvere queste complicanze e garantire un recupero ottimale al paziente in termini sia di prestazioni sia di tempistiche. Durante tale ricerca la **Cross-Education** ha particolarmente stimolato la mia curiosità.

Secondo questo metodo, noto alla scienza da oltre un secolo, effettuando un allenamento di forza su un singolo arto, nel caso specifico quello non patologico, si andranno a produrre degli incrementi in termini di forza e prestazioni non soltanto nell'arto sottoposto all'esercizio, ma anche in quello controlaterale.

Facendo riferimento al contesto esposto precedentemente questa metodica ci è sembrata uno strumento valido per produrre risultati significativi nel breve termine anche nei quadri clinici più complicati, oltre ad essere un fattore protettivo per il fenomeno di *re-injury*, specie nell'arto controlaterale.

Abbiamo, pertanto, deciso di redigere uno studio per valutare se l'introduzione del ***Cross-Education Strength Training (CEST)*** all'interno di un programma riabilitativo post *ricostruzione del Legamento Crociato Anteriore (ACL-R)* possa determinare outcome migliori in termini di forza e simmetria tra gli arti inferiori, rispetto ad un piano riabilitativo effettuato senza l'ausilio del *CEST*.

Per fare ciò abbiamo raccolto un campione di popolazione selezionando tutti i pazienti che accedevano alla struttura a seguito di intervento di ricostruzione del *LCA*.

Il campione è stato successivamente suddiviso in due gruppi: ***Gruppo Controllo***, che non effettuava l'integrazione del *CEST* nel programma riabilitativo, e ***Gruppo Studio***, in cui veniva integrato al protocollo riabilitativo un programma di *CEST*.

Questo lavoro di tesi si pone l'obiettivo di valutare se possano sussistere dei vantaggi nell'utilizzo del *CEST* all'interno di un percorso riabilitativo post ricostruzione di *LCA*.

1. IL GINOCCHIO: CENNI DI ANATOMIA

Il complesso articolare del ginocchio è la risultante dell'interazione di quattro componenti ossee: il **Femore** (*condili femorali - porzione distale*), la **Tibia** (*condili tibiali - porzione prossimale*), la **Rotula**, un osso sesamoide che riveste un'estrema importanza dal punto di vista funzionale, ed il **Perone** (o *fibula*) (Fig. 1).

I *condili femorali* presentano una forma ovoidale ad andamento divergente in direzione infero-posteriore. Nella porzione posteriore, i condili sono divisi da una *gola intercondiloidea* che funge da canale di

passaggio per i *legamenti crociati*. Anteriormente i condili sono uniti a formare il *solco trocleare* o *troclea femorale* che costituisce la superficie con la quale si andrà ad interfacciare la rotula.

I *condili tibiali* formano un'ampia regione, generalmente indicata come *piatto tibiale*, caratterizzata dalla presenza di due aree ricoperte da cartilagine articolare, ciascuna delle quali adibita ad accogliere il rispettivo condilo femorale⁴.

La porzione mediale risulta più ampia e leggermente concava, mentre, quella laterale, più piccola, si presenta generalmente piatta o leggermente convessa. Queste due superfici sono separate da un'escrescenza ossea denominata *eminenza intercondiloidea* composta da due tubercoli, mediale e laterale, che decorre lungo la linea mediana del piatto tibiale. I segmenti ossei sopra descritti, però, sono caratterizzati da una spiccata incongruenza anatomica, pertanto, per poter compensare questa differenza, al di sopra della superficie articolare della tibia, sono presenti due strutture fibrocartilaginee, i *menischi*, utili a rendere i condili tibiali più profondi e congruenti rispetto alle superfici femorali. Le differenti porzioni ossee si collegano tra loro mediante tre diverse articolazioni: l'articolazione *femoro-rotulea* e le due articolazioni *femoro-tibiali* (*mediale e laterale*), separate dai legamenti crociati, posti all'interno dell'articolazione.

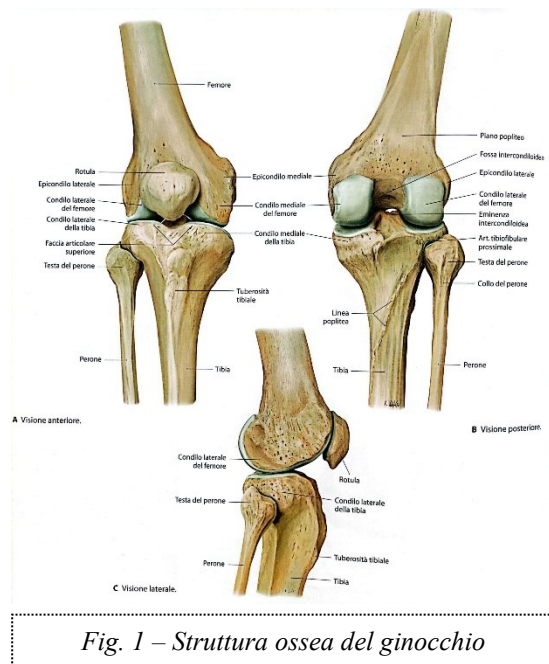


Fig. 1 – Struttura ossea del ginocchio

Il ginocchio nella sua componente *femoro-tibiale* viene classificato come un'articolazione a *cerniera* (o *ginglamo angolare*). In questa classe articolare il movimento si sviluppa su due piani dello spazio, consentendo in modo prioritario la

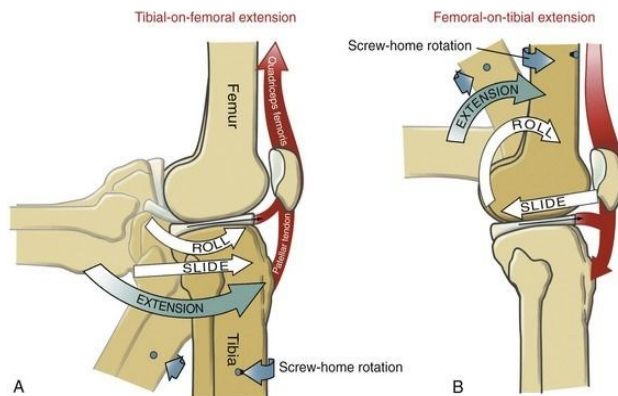


Fig. 2 – Movimento artrocinematico del ginocchio durante la fase di estensione a catena cinetica aperta (A) e chiusa (B).

flessione e l'estensione, ed in misura minore, movimenti di rotazione interna ed esterna visibili soltanto a ginocchio flesso.

Per quanto riguarda il movimento di estensione occorre fare un'importante precisazione, in quanto presenta delle caratteristiche biomeccaniche differenti a seconda del segmento che guida il movimento a livello articolare.

Durante l'estensione **Tibio-femorale** (*catena cinetica aperta*) (Fig. 2/A), la superficie articolare della tibia rotola e scivola anteriormente rispetto al femore, mentre i menischi vengono trazioneati anteriormente sotto l'azione del muscolo quadricipite. Nell'estensione **Femoro-tibiale** (*catena cinetica chiusa*) (Fig. 2/B), invece, i condili femorali rotolano e scivolano posteriormente rispetto alla tibia. Queste artrocinematiche "compensanti"⁴ insieme al muscolo quadricipite che stabilizza i menischi contro le forze orizzontali determinate dallo scivolamento femorale, limitano la traslazione del femore rispetto alla tibia.

La componente rotazionale, anche se estremamente ridotta, riveste un ruolo fondamentale nell'artrocinematica del ginocchio. Occorre, anche in questo caso, fare una precisazione in merito a quella che viene indicata come "rotazione assiale", che può essere effettuata in modo indipendente, a ginocchio flesso, rispetto alla **rotazione congiunta** o "screw-home"⁴, che invece si verifica durante i movimenti di estensione completa del ginocchio mediante una rotazione esterna di 10° che non può essere effettuata in modo isolato e che permette all'articolazione di raggiungere i gradi di *Full-Range Of Motion (ROM)*^{5,6}.

Questa rotazione congiunta ci consente di ottenere la massima congruità tra le superfici articolari e fornisce elevata stabilità articolare.

L'insieme dei movimenti appena descritti portano i legamenti crociati ed i legamenti collaterali in posizione di tensione o di blocco, incrementando ulteriormente la stabilità del ginocchio che si basa, sostanzialmente, su vincoli esercitati dall'azione dei tessuti molli, piuttosto che sulla configurazione ossea. Infatti, l'incidenza così elevata di lesioni legamentose, meniscali o danni a carico della cartilagine articolare sono frutto delle elevate richieste funzionali alle quali è soggetto il ginocchio.

I LEGAMENTI CROCIATI

L'aggettivo *crociato* deriva dalla distribuzione spaziale che intercorre tra i legamenti *anteriore* e *posteriore* che si incrociano, appunto, a livello della *gola intercondiloidea* del femore (Fig. 3).

La differente denominazione, invece, deriva dalla loro inserzione tibiale. Il crociato anteriore si inserisce nella porzione anteriore del solco intercondiloideo, in prossimità del corno anteriore del menisco mediale, mentre il crociato posteriore prende contatto con la tibia nell'area intercondiloidea posteriore.

Entrambi i legamenti sono spessi e forti e costituiscono il *pivot legamentoso* del ginocchio, estremamente importante nel fornire stabilità all'articolazione.

I legamenti sono intracapsulari, ciò significa che sono contenuti all'interno della capsula articolare del ginocchio, ma risultano esclusi dalla cavità sinoviale ad opera di un esteso rivestimento formato della membrana sinoviale stessa.

L'azione simultanea dei legamenti crociati fornisce resistenza e stabilità al ginocchio durante i gradi estremi di quasi tutti i movimenti, anche se la loro funzione principale è quella di limitare l'effetto delle forze di taglio generate a livello della tibia e del femore in senso antero-posteriore. La loro disposizione, crociata ed obliqua, consente di stabilizzare l'articolazione anche nei movimenti potenzialmente stressanti che possono verificarsi durante cambi di direzione improvvisi e rapidi movimenti laterali o di torsione.

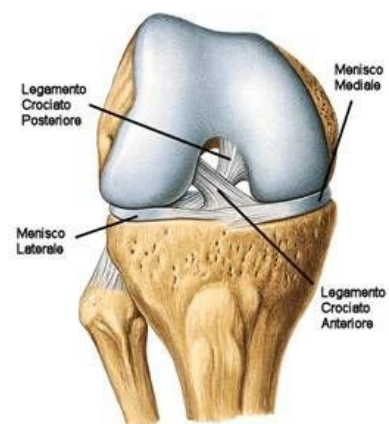


Fig. 3 – Anatomia dei legamenti crociati

I legamenti crociati, oltre ad avere funzione meccanica, grazie all'azione di alcuni meccanocettori presenti al loro interno forniscono al sistema nervoso un *feedback propriocettivo*^{7,8}. La loro presenza garantisce protezione all'articolazione in quanto possono limitare l'attivazione delle strutture muscolari peri-articolari in tutte le situazioni che potrebbero determinare un potenziale stiramento dannoso dei legamenti⁹.

- **Legamento Crociato Anteriore (LCA):** origina dalla porzione anteriore dell'eminanza intercondiloidea della tibia e si estende in direzione postero-superiore e laterale per inserirsi sulla faccia mediale del condilo laterale del femore. Le fibre di collagene di tipo I che compongono il legamento si attorcigliano l'una sull'altra formando due serie di fasci: *anteriore-mediale* e *posteriore-laterale*^{10,11}. La tensione e l'orientamento dei fasci cambia in relazione alla posizione assunta dal ginocchio¹². Sul piano sagittale alcune fibre del *LCA* sono relativamente tese in quasi tutti i gradi del range articolare, tuttavia la maggior parte delle fibre si tende man mano che il ginocchio si avvicina e raggiunge l'estensione completa⁴. Questo meccanismo è necessario in quanto l'azione principale del *LCA* è quella di ostacolare i movimenti di traslazione anteriore della tibia rispetto al femore, che si verificano sostanzialmente negli ultimi 50-60 gradi di estensione del ginocchio a causa dall'azione del muscolo quadricipite che tende a trazione la tibia anteriormente rispetto al femore^{13,14}.
- **Legamento Crociato Posteriore (LCP):** leggermente più spesso del *LCA*, origina dalla parte posteriore dell'eminanza intercondiloidea della tibia e prosegue con decorso obliquo verso l'alto e l'avanti fino ad arrivare sulla faccia laterale del condilo mediale del femore. Anche in questo caso possiamo differenziare due fasci: *anteriore*, più grande, e *posteriore* più sottile¹⁵. Alcune fibre del *LCP* rimangono tese durante tutta l'escursione articolare, sebbene, la maggior parte di esse subiscano una torsione complessa durante i movimenti in flessione che ne modifica la lunghezza. La tensione massima si sviluppa tra i 90 ed i 120 gradi; questo consente di ostacolare i movimenti di traslazione posteriore della tibia rispetto al femore¹⁶. Infine, il *LCP* fornisce anche un limite secondario ai carichi in varo-valgo e alla rotazione assiale eccessiva¹⁷.

I MENISCHI

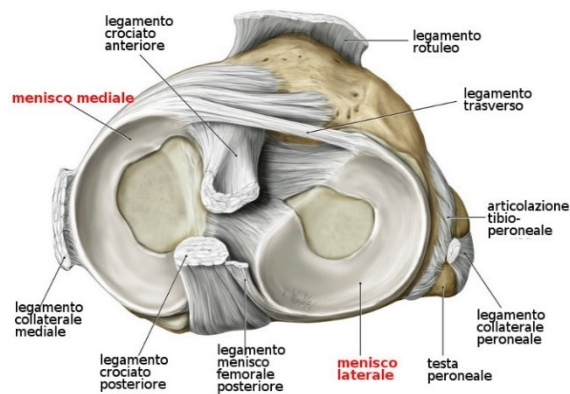


Fig. 4 – Anatomia dei menischi

Sono due formazioni fibrocartilaginee semilunari posizionate sulla superficie articolare superiore della tibia. Presentano uno spessore ed una forma caratteristici in quanto risultano più spessi a livello dei margini esterni e si assottigliano gradualmente man mano che proseguono verso la porzione centrale dell'articolazione.

Queste strutture sono fissate ai margini esterni dei condili tibiali, attraverso le loro estremità anteriore e posteriore, ed a livello dell'eminanza intercondiloidea (*Fig. 4*).

- ***Menisco Mediale***: presenta una forma ovalare simile ad una “C”, tende ad assottigliarsi anteriormente in prossimità della sua inserzione nell'area intercondiloidea davanti all'origine del *LCA*. Posteriormente il menisco è più largo ed ampio e termina in prossimità dell'area intercondiloidea.
- ***Menisco laterale***: presenta una dimensione leggermente ridotta ed una forma più circolare, simile ad una “O”. Anteriormente si inserisce nell'area intercondiloidea, in posizione laterale e posteriore rispetto al punto di attacco del *LCA*. Posteriormente il menisco termina in prossimità dell'area intercondiloidea, anteriormente all'inserzione del menisco controlaterale. A livello del margine del condilo laterale della tibia presenta un debole punto di attacco che si interrompe nella zona di passaggio del tendine del muscolo popliteo.

Nella loro porzione anteriore i due menischi sono connessi reciprocamente mediante il *Legamento trasverso* del ginocchio.

La funzione principale dei menischi è quella di ridurre lo stress compressivo nell'articolazione femoro-tibiale. Coadiuvano inoltre la funzione di stabilizzazione articolare e concorrono alla lubrificazione della cartilagine articolare durante il movimento, alla propriocezione del ginocchio e alla gestione dell'artrocinematica.

1.1. LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE: FISIOPATOLOGIA

Il *Legamento Crociato Anteriore*, grazie alla sua struttura e ai suoi fasci di fibre, riesce a resistere agli stress di tutti i movimenti del ginocchio. Sebbene questa disposizione fornisca un ampio range di stabilità, allo stesso tempo, rende il legamento più vulnerabile a combinazioni di movimenti forzati.

Divenendo teso in corrispondenza dei gradi estremi del movimento articolare, il *LCA* diventa molto suscettibile alle lesioni quando viene applicata una distensione ad alta velocità in condizioni di pretensionamento, ovvero quando la forza tensile supera la sua forza e lunghezza fisiologiche. È stato stimato che per intervalli di stiramento pari al 11-19% rispetto alla lunghezza in stato di rilassamento si determina la rottura del legamento. Tuttavia, studi condotti su cadavere umano hanno dimostrato che la tensione necessaria per provocare la lesione del *LCA* risulta ridotta dopo che il legamento è stato sottoposto nel tempo a stiramenti ripetitivi e applicati rapidamente¹⁸.

I fattori biomeccanici legati allo stress del *LCA* includono: direzione e modulo della forza di reazione al suolo, direzione della compressione e presenza di forze di taglio sull'articolazione femoro-tibiale. Altri elementi cui rivolgere la nostra attenzione sono: la qualità del controllo delle forze muscolari in gioco; l'integrità e la forza dei tessuti implicati e, infine, la posizione delle articolazioni dell'arto inferiore^{19,20}. Il *LCA* è il legamento che si lesiona con più frequenza, soprattutto in persone attive tra i 15 ed i 25 anni e durante attività sportive ad alta velocità (es. calcio, basket, ecc.). Il meccanismo traumatico di rottura del *LCA* causa una sublussazione transitoria del ginocchio, che determina spesso traumi secondari ai tessuti circostanti: ossa, cartilagine, *Legamento Collaterale Mediale (LCM)* e *menischi*. Le lesioni del *LCA* possono determinare una notevole instabilità del ginocchio che, se trascurata, potrebbe divenire cronica e causare alterazioni biomeccaniche con stress e degenerazione delle strutture sopra citate, in particolare di menischi e cartilagine^{18,21}. Circa il 70-80% degli infortuni si verifica in situazioni di non contatto, come conseguenza di movimenti di atterraggio da un salto, decelerazioni improvvise o repentini cambi di direzione con il piede fissato a terra.

Difficilmente il movimento che causa la lesione interessa un singolo piano, per questo si preferisce parlare di ***meccanismo lesivo multiplanare***. Sul *piano sagittale*, prendendo in considerazione il movimento artrocinematico, la traslazione anteriore di tibia

sembrerebbe essere la componente principale nella maggior parte delle lesioni, indipendentemente che questa venga indotta da una violenta contrazione del quadricipite o da un contatto con l'avversario. Sul *piano frontale*, l'attenzione viene incentrata sullo stress in valgo, anche se, quando avviene in modo isolato non sembra essere in grado di determinare una tensione sufficiente a lesionare il *Legamento Crociato Anteriore*, specie nei casi in cui le altre strutture legamentose siano integre. Sul *piano trasversale*, i movimenti rotazionali di tibia, da soli, generano una forza minore della traslazione anteriore di tibia, ma possono concorrere ad aumentare la tensione del legamento. Questa scomposizione delle forze ci spiega ciò che effettivamente accade in una lesione determinata da un movimento complesso e multidirezionale.

La ricerca ha inoltre evidenziato almeno *tre fattori associati* all'infortunio del *LCA* in situazioni di non contatto^{22,23}:

- 1) *Attivazione intensa del muscolo quadricipite su un ginocchio moderatamente flessso o quasi esteso;*
- 2) *Marcato stress in valgo del ginocchio;*
- 3) *Eccessiva rotazione esterna determinata da una posizione di intrarotazione del femore rispetto all'anca mentre la tibia si trova fissata al terreno.*

Concludendo possiamo dire che il ***movimento lesivo caratteristico*** è quello definito come "*pivot-shift*" (Fig. 5), caratterizzato da una rapida attivazione del quadricipite con conseguente traslazione anteriore di tibia, associata a valgismo ed intra-rotazione della tibia e a ginocchio in leggera flessione.

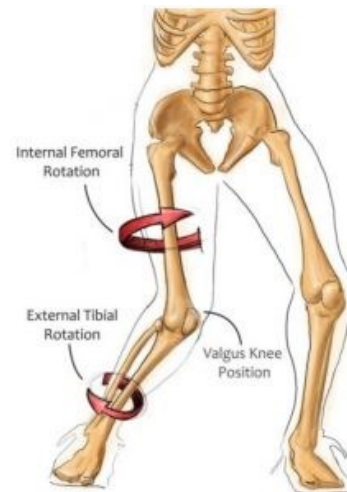


Fig. 5 – Meccanismo lesivo in "Pivot-Shift" del Legamento Crociato Anteriore (LCA)



Fig. 6 – Meccanismo lesivo del LCA in iperestensione del ginocchio

Un altro possibile meccanismo è dato dal *movimento in iperestensione* del ginocchio con il piede fissato al terreno²⁴, tipico dell'atterraggio su un singolo arto a seguito di un salto. Questo movimento brusco, in massimo carico, determina lo scivolamento posteriore del femore rispetto alla tibia con eccessivo allungamento e lesione del *LCA* (Fig. 6).

Le lesioni in iperestensione, come questa, sono spesso associate ad un'importante rotazione assiale o a stress in valgo.

1.2.LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE: ANALISI DEI FATTORI DI RISCHIO

La valutazione dei fattori di rischio, relativi ad una problematica specifica, ci fornisce un contributo in ottica preventiva nella riduzione del rischio di infortunio o re-injury.

Se prendiamo in considerazione la lesione del *LCA*, possiamo suddividere i fattori di rischio in due categorie:

- 1) **Modificabili**: gli interventi sono mirati alla riduzione o eliminazione degli stessi;
- 2) **Non modificabili**: ci permettono di identificare la popolazione che presenta caratteristiche che potrebbero esporla ad un maggior rischio di lesione.

FATTORI DI RISCHIO MODIFICABILI

All'interno di questa categoria possiamo distinguere i fattori legati alla persona (*intrinseci*) e quelli legati all'ambiente (*estrinseci*).

- **Fattori intrinseci:**

- Scarso controllo neuromuscolare;
- Alterata sinergia muscolare agonisti/antagonisti;
- *Body Mass Index (BMI)* elevato;
- Scarso Controllo del tronco a seguito di elementi perturbanti.

Questi fattori di rischio possono essere modificati mediante programmi di esercizio neuromuscolare mirati al singolo problema.

- **Fattori estrinseci:**

- Superficie di gioco;
- Clima;
- Tipologia di calzature;
- Azioni caratteristiche dello sport.

FATTORI DI RISCHIO NON MODIFICABILI

In questa classe troviamo tutte le caratteristiche proprie del singolo paziente:

- *Fattori anatomici*: legati alla struttura anatomica del ginocchio;
- *Fattori genetici*: predisposizioni familiari o alterazioni genetiche;
- *Fattori di genere*: la popolazione femminile presenta un maggiore rischio di infortunio rispetto al genere maschile (rapporto di 3:6);
- *Precedenti lesioni al Legamento Crociato Anteriore*.

È importante, comunque, sottolineare che l'analisi delle variabili in gioco ha riportato risultati non concludenti e pareri discordanti in merito alla loro incidenza. Questo a causa dell'elevatissima eterogeneità delle situazioni e l'assoluta imprevedibilità degli eventi, che possono determinare risultati disattesi.

Per questo, all'interno dell'analisi dobbiamo considerare che stiamo analizzando un gruppo eterogeneo di individui, nel quale occorre valutare non solo gli aspetti legati all'infortunio, ma anche alla condizione psico-fisica in cui si trovava il soggetto/atleta al momento dell'evento traumatico.

1.3. LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE: POSSIBILITÀ DI INTERVENTO (CONSERVATIVO vs CHIRURGICO)

Quando siamo di fronte ad una diagnosi di lesione di *LCA*, spesso la domanda che sorge spontanea tra i pazienti è “*Devo sottopormi ad un intervento chirurgico?*”. La risposta a questa domanda è complessa, in quanto occorre considerare numerose variabili legate alle caratteristiche specifiche della persona interessata. Anche la letteratura scientifica non prevede indicazioni universali che possano indirizzare in modo certo la scelta terapeutica da seguire. In questa fase il *processo decisionale* riveste un ruolo fondamentale nel valutare l’opzione più adeguata al caso specifico; per elaborare un processo ottimale occorre, innanzitutto, che tutte le informazioni siano condivise e discusse con il paziente, spiegandogli, in modo chiaro e completo, i rischi ed i benefici relativi a ciascuna opzione disponibile.

I fattori principali che vengono analizzati per la scelta del percorso più indicato generalmente sono: età del paziente, livello di attività fisica, grado di instabilità del ginocchio, presenza di lesioni associate e preferenze personali del paziente. Tutti questi fattori possono concorrere, in misura differente, a definire la successiva indicazione al trattamento; infatti, come spesso accade, in letteratura scientifica non esiste un fattore che analizzato singolarmente venga indicato come cardine del processo decisionale. Una piccola eccezione può essere fatta, relativamente all’età del paziente nel caso di soggetti molto giovani, le linee guida sulla lesione del *LCA* suggeriscono di posticipare l’intervento di ricostruzione successivamente alla completa chiusura dei nuclei di accrescimento ossei.

Nel tempo vari studi hanno provato a confrontare i risultati relativi alla scelta chirurgica o conservativa, tuttavia, ad oggi, non è ancora emerso un intervento che presenti risultati nettamente migliori rispetto all’altro. Bisogna però fare attenzione perché la comparazione deriva dall’analisi di outcomes differenti, quali forza, stabilità ed equilibrio, che mostrano, quasi sempre, risultati analoghi nel medio-lungo termine. Questo però è dovuto al fatto che tali caratteristiche possono essere notevolmente implementate anche attraverso programmi di esercizi di riabilitazione neuromuscolare.

A sostegno della scelta non chirurgica abbiamo anche nuove evidenze che mostrano, in pazienti non sottoposti a ricostruzione del *LCA*, trattati con la sola terapia conservativa, a distanza di 2 anni dal primo follow-up, segni di riparazione spontanea del *LCA*, valutati

mediante *Risonanza Magnetica Nucleare (RMN)*, con outcomes favorevoli anche dal punto di vista clinico^{25,26}.

Un'alternativa utile nella scelta terapeutica potrebbe essere quella proposta da *Fitzgerarld et al.*²⁷ che consiste nel differenziare i pazienti in due categorie rappresentative: **COPER** e **NON COPER**.

Con il termine **Coper** etichettiamo quegli individui che riprendono tutte le normali attività svolte prima della lesione anche in assenza di ricostruzione legamentosa.

I soggetti **Non-Coper**, invece, sono coloro che successivamente alla lesione del *LCA*, presentano cedimenti articolari ricorrenti anche nello svolgimento di attività a basso carico e che richiederanno, pertanto, la ricostruzione legamentosa. Infine, nella pratica clinica, possiamo identificare una terza categoria di pazienti definiti "**Adattatori**", ovvero soggetti che modificano la loro attività in modo da colmare i deficit causati dalla lesione legamentosa, ma che risultano comunque soddisfatti della nuova situazione. Un esempio potrebbe essere l'atleta di età avanzata che sceglie di non operarsi e decide di terminare la sua carriera.

Un altro elemento di supporto decisionale arriva dallo studio di *Easlack et al.*²⁸ nel quale sono stati evidenziati alcuni criteri standard che possono facilitare la classificazione dei pazienti e la conseguente scelta terapeutica, nonostante l'elevata eterogeneità delle variabili in gioco:

- **Rottura isolata del LCA, senza lesioni associate;**
- **Ampiezza di movimento completa senza dolore;**
- **Nessun gonfiore;**
- **Forza del quadricipite > 70% (infortunato vs sano);**
- **Non più di un episodio di cedimento articolare;**
- **Deve essere in grado di eseguire una serie di salti sulla gamba infortunata.**

Secondo tale studio a seguito del trauma il paziente dovrebbe seguire un programma di riabilitazione volto alla risoluzione dei deficit presenti e, a due mesi dall'evento lesivo, effettuare la valutazione dei parametri sopra citati. Il soggetto che presenta questi requisiti è un candidato ideale al trattamento conservativo.

Da tenere in considerazione nella scelta vi è anche il grado di richiesta funzionale, particolarmente importante in soggetti giovani che necessitano di elevati livelli di performance. In questi casi, anche in pazienti con caratteristiche che farebbero propendere per il trattamento conservativo, la tendenza è quella di prediligere l'intervento chirurgico, in modo da ridurre il rischio di alterazioni biomeccaniche ed evitare la comparsa di lesioni secondarie.

Queste classificazioni non possono, tuttavia, essere utilizzate come criterio di scelta assoluto, ma vanno considerate come spunti nella fase di *decision-making*. In questo contesto, in particolare quando si espone l'alternativa conservativa, occorre anche spiegare al paziente che nel caso si dovessero verificare altri episodi distorsivi, sarà necessario modificare l'indicazione terapeutica a favore di quella chirurgica con l'obiettivo di evitare la comparsa di lesioni secondarie.

La chirurgia, in questi casi, dovrebbe essere svolta in tempi rapidi in modo tale da ridurre il rischio di incorrere in nuove lesioni meniscali e/o cartilaginee che potrebbero complicare gli outcome.

1.4. LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE: OBIETTIVI DEL PROGRAMMA RIABILITATIVO

Lo scopo dell'iter riabilitativo è quello di massimizzare il risultato terapeutico, orientandolo al perseguimento degli obiettivi specifici definiti in ciascuna fase del trattamento.

Nel caso di ricostruzione del *LCA*, escludendo la riabilitazione preoperatoria, possiamo distinguere *quattro fasi* successive all'intervento chirurgico²⁹:

- *Prima fase o Early stage;*
- *Seconda fase o Mid Stage;*
- *Terza fase o Late Stage;*
- *Quarta fase o fase di ritorno allo sport (RTS).*

La distinzione delle varie fasi ci consente di stabilire in modo teorico come indirizzare il nostro focus terapeutico durante il programma riabilitativo.

Occorre, tuttavia, precisare che la priorità per definire il passaggio da una fase alla successiva non viene data all'aspetto temporale bensì dal raggiungimento degli obiettivi specifici. Inoltre, all'interno dei vari step riabilitativi occorre rispettare le tempistiche biologiche del nuovo innesto, che sono di vitale importanza per definire un recupero ottimale e ridurre problematiche di re-injury (*Fig.7*).

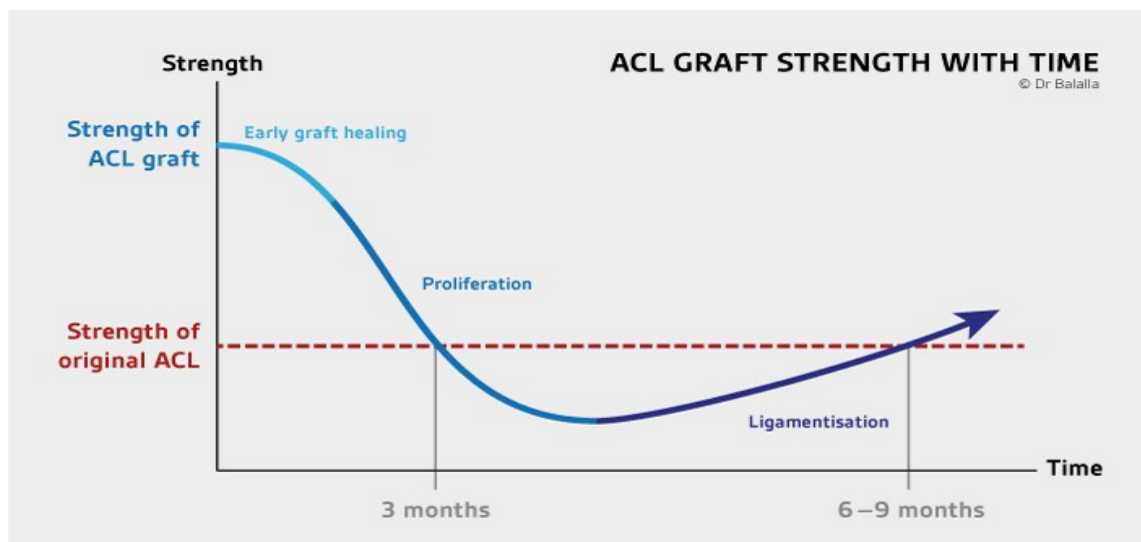


Fig. 7 – Grafico Forza/Tempo relativo al graft sostitutivo del LCA.

In ogni caso, per garantire un recupero sicuro e completo i tempi si aggirano indicativamente dai 9 ai 12 mesi¹

1) PRIMA FASE O EARLY STAGE

La prima fase è il periodo che intercorre generalmente dal giorno dopo l'intervento chirurgico fino al termine delle prime *sei settimane riabilitative*. All'interno di questo intervallo distinguiamo:

- *Immediato post-operatorio (0-2 settimane)*, in cui gli obiettivi sono: controllo del gonfiore, ripristino del ROM con priorità all'estensione, e ripristino dell'attivazione neuromuscolare del quadricipite;
- *Post-operatorio tardivo (2-6 settimane)*, dove andremo a focalizzarci su: recupero completo del ROM, ripresa graduale della forza e training del passo.

Gli obiettivi che dovranno essere raggiunti prima di iniziare la fase successiva sono³⁰:

- La ferita deve essere completamente chiusa e cicatrizzata;
- Il gonfiore al ginocchio deve essere lieve (*Stroke Test*);
- L'articolazione femoro-rotulea deve presentare una mobilità nella norma;
- Il ROM deve essere di almeno 0° in estensione e 120/130° in flessione;
- Il reclutamento del muscolo quadricipite deve essere efficace;
- Il paziente deve riuscire a camminare senza compensi antalgici;

La scelta di abbandonare le stampelle e concedere il carico completo dopo due settimane può essere condizionata da alcuni elementi chiave³¹:

- Capacità di effettuare un sollevamento a gamba tesa senza perdita dell'estensione di ginocchio;
- Nessun dolore al carico totale;
- Utilizzo di un pattern non antalgico.

2) FASE INTERMEDIA O MID-STAGE

All'interno della fase di *mid-stage* bisogna completare gli obiettivi non raggiunti nella fase precedente, ed iniziare a focalizzare l'attenzione sul ***ritorno alla corsa***³².

I tre elementi significativi caratteristici di questa fase sono:

- la ***forza muscolare***;
- la ***qualità del movimento***;
- il ***fitness cardio-respiratorio***.

La priorità va data al recupero della *forza dei muscoli estensori del ginocchio*, la cui differenza tra i due lati alla fine della fase intermedia dovrebbe non superare il 20%. Questo perché deficit superiori al 20% sono sintomo di una ridotta funzionalità dell'arto inferiore ed espone il paziente ad un maggior rischio di infortunio.

Le difficoltà principale nel ripristino della forza del quadricipite è legata al fenomeno dell'*Arthrogenic Muscle Inhibition (AMI)*, che determina un limite nella capacità di controllo neuromuscolare e che impedisce la corretta attivazione muscolare.

Per migliorare questa funzione possiamo introdurre diverse tipologie di esercizio, alternando il nostro focus sul muscolo specifico, cercando di proporre esercizi a carico isolato (es. *Leg Extension*), ma anche sul gesto funzionale, proponendo esercizi di rinforzo globale (es. Squat). Questa proposta globale è estremamente importante per evitare il *rischio di decondizionamento* sia muscolo-scheletrico, ma anche cardiovascolare. Per questo è fondamentale introdurre nel programma riabilitativo, stimoli che possano generare una risposta a livello sistemico.

In merito al *Return to running*, non ci sono linee guida che ci indichino il momento ideale per tornare alla corsa, spesso la raccomandazione è quella di inserire in modo graduale l'esercizio a partire dal terzo mese post-operatorio; infatti, nonostante il criterio temporale sia spesso dibattuto, rimane il metodo più utilizzato in letteratura. Questo perché la corsa è un'attività complessa che richiede l'assorbimento di forze derivanti dall'impatto (*Ground Reaction Force – GRF*)³³, e per fare ciò, il nostro corpo deve essere in grado di dissipare le forze senza creare stress eccessivi sulle strutture legamentose. Pertanto, la scelta più logica sarà quella di inserire la corsa all'interno del programma riabilitativo sulla base delle condizioni funzionali e tissutali del paziente, dopo un'attenta valutazione dei criteri indicativi di una proposta funzionale priva di rischi³⁴.

Criteri clinici

- Dolore < 2/10;
- Non gonfiore o tracce di gonfiore;
- Flessione di ginocchio 95% LSI;
- Estensione completa.

Criteria di forza muscolare

- Forza isolata del quadricipite: LSI > 80%;
- Quadricipite / massa corporea > 1.45 Nm/Kg;
- Single leg press > 1.25 x *Body Weight (BW)*;
- Seated calf raise > 1.5 x *BW*;
- Heel Raise endurance > 25 ripetizioni;
- Single leg sit to stand endurance test > 22 ripetizioni in 1 minuto;
- Valore > 33% *BW* nella Forza isometrica abduttori d'anca con dinamometro manuale.

3) TERZA FASE O LATE STAGE

In questa fase di transizione sarà possibile inserire, con gradualità, il *lavoro pliometrico* ed esercitazioni sempre più sport specifiche, favorendo l'affiancamento di figure qualificate nel settore tecnico con competenze legate all'attività svolta. Tutto questo con l'obiettivo di preparare il soggetto al ***Return to sport (RTS)***³⁵.

4) QUARTA FASE O FASE DI RITORNO ALLO SPORT (RTS)

Questa fase ha come obiettivo cardine quello di consentire al paziente di tornare completamente alla propria attività, ricalcando i livelli di performance precedenti all'operazione, cercando di minimizzare il rischio di un nuovo infortunio al momento del rientro.

Nonostante lo sviluppo di linee guida recenti non è presente un consenso scientifico unanime sui reali criteri da prendere in esame. La scelta, pertanto, dovrà essere condivisa tra le figure professionali che hanno preso in carico il paziente nel periodo post-chirurgico (*shared decision making*).

Occorre tuttavia ricordare che, in ogni caso, non bisogna bruciare le tappe, anzi è necessario rispettare i giusti tempi di recupero: sono necessari più di nove mesi per permettere all'atleta un *return to play* sicuro ed un ridotto rischio di infortunio. Il rientro anticipato potrebbe esporre il paziente/atleta al rischio di incorrere in una nuova lesione legamentosa.

2. STRENGTH LOSS: POSSIBILI CAUSE E MECCANISMI D'AZIONE DOPO RICOSTRUZIONE DEL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE (ACL-R)

La recente letteratura ha evidenziato che traumi importanti ed interventi chirurgici all'arto inferiore, in particolare al ginocchio, sono spesso accompagnati da modificazioni più o meno significative della muscolatura interessata.

È stato ipotizzato che alla base di questi cambiamenti vi sia l'*Arthrogenic Muscle Inhibition (AMI)*, cioè un processo neurologico, non ancora ben definito, causa di modificazioni cliniche complesse, probabilmente dovute ad un alterato passaggio di informazioni afferenti provenienti dall'articolazione affetta. Questo flusso anomalo causerebbe, nei pazienti, cambiamenti quali inibizione muscolare riflessa, carenze somato-sensoriali e compensi neuroplastici a livello dei centri cerebrali superiori, con relativa diminuzione della performance motoria e deficit della muscolatura peri-articolare.

Un altro aspetto da non trascurare è l'influenza negativa che l'*AMI* potrebbe determinare nella sfera psichica dei pazienti, a seguito di un infortunio. Per queste ragioni l'*AMI* risulta essere il primo ostacolo alla riabilitazione, da risolvere repentinamente per non incappare in ritardi nei tempi di recupero o problematiche di re-injury nel medio/lungo termine.

Per tali ragioni l'ipotesi avanzata in questo studio è che la perdita di alcuni meccanocettori articolari vada ad alterare il *riflesso LCA-quadricipite*, riducendo in modo significativo la capacità di reclutamento attivo dei motoneuroni durante la contrazione del quadricipite.

Nella clinica troviamo associati a questo quadro anche dolore, rigidità e gonfiore che peggiorano il processo negativo dell'*AMI*, con conseguente aumento dell'atrofia muscolare e della debolezza.

*Williams et al.*³⁶ hanno riportato che l'atrofia del quadricipite e il deficit di attivazione rappresentano, insieme, il 62% dei cambiamenti a livello del muscolo, determinando un'importante riduzione della forza muscolare.

3. STRENGTH-LOSS: STRATEGIE PER MASSIMIZZARE IL RECUPERO DELLA FORZA DOPO RICOSTRUZIONE DEL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE (ACL-R)

Per avere un recupero ottimale della forza dopo un intervento di ricostruzione di *LCA*, possiamo intervenire su due differenti ambiti³⁷:

- 1- **Limitare la perdita muscolare;**
- 2- **Massimizzare il recupero della forza.**

3.1.STRATEGIE PER LIMITARE LA PERDITA MUSCOLARE DOPO UN INFORTUNIO O UN INTERVENTO CHIRURGICO

A seguito di un trauma o un'operazione del *LCA*, l'obiettivo primario della fisioterapia è quello di colmare i deficit di forza e trofismo presenti nel paziente.

È molto importante, qualora sia possibile, valutare la forza e il trofismo muscolare del paziente sia prima sia dopo l'intervento chirurgico, in modo da essere quanto più precisi possibili nella stima del reale deficit presente ed evitare di incorrere in errori futuri. Tra le strategie utilizzabili per il raggiungimento del nostro obiettivo ci sono:

a) Preparazione alla chirurgica

Effettuare un programma di esercizio preoperatorio, sarà molto utile per ridurre i deficit che molto spesso accompagnano l'intervento chirurgico e che saranno fondamentali per ottenere un recupero funzionale ottimale. Recenti studi³⁷, infatti, hanno dimostrato che seguire un programma di ginnastica preoperatoria della durata di cinque settimane, incentrata sul recupero della forza, dell'ipertrofia del quadricipite e sul perfezionamento del salto, produce risultati superiori, in termini di funzionalità del ginocchio, nel post-operatorio. Questo perché una miglior attivazione del quadricipite nella fase preoperatoria, consente il mantenimento di livelli più elevati di efficienza e forza anche dopo l'intervento. Tuttavia, in letteratura non emerge un consenso uniforme sui livelli ottimali che il programma preoperatorio deve prevedere, *Grindem et al.*³⁸ raccomandano il raggiungimento

di un *Limb Symmetry Index (LSI)* di circa il 90% in termini di forza e performance nel salto, anche se tale obiettivo non è perseguibile da tutti i pazienti.

b) Risolvere rapidamente AMI post-chirurgia

A seguito di un trauma o di un'operazione l'articolazione risulta quasi sempre dolorosa e gonfia, per questo sono stati proposti dei protocolli per la gestione delle fasi acute, volti a garantire un maggior benessere all'articolazione affetta, ma senza dimenticare di associare un carico ottimale in modo da salvaguardarne anche la funzionalità (es. *POLICE*).

Questo perché il dolore ed il gonfiore sono implicati all'interno di risposte neuromuscolari complesse che, attraverso l'*AMI*, potrebbero causare debolezza muscolare ed atrofia³⁹.

I clinici, in ottica di un lavoro multidisciplinare, possono utilizzare differenti approcci per ovviare a questa complicanza:

- ***Anestetici locali***: utili a ridurre gli effetti negativi dell'*AMI* grazie all'azione di blocco delle afferenze nocicettive che possono indurre inibizione muscolare;
- ***Ghiaccio***: raffreddare l'articolazione con il ghiaccio potrebbe giocare un ruolo determinante nel limitare l'azione negativa dell'*AMI* e nel facilitare la ripresa dell'attivazione muscolare del quadricipite prima degli esercizi;
- ***TENS (Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation)***: l'effetto della *TENS* a livello dei nervi cutanei sembrerebbe ridurre l'inibizione presinaptica che contribuisce agli effetti negativi indotti dall'*AMI*. Il miglior effetto della *TENS*, tuttavia, è emerso quando alla stimolazione passiva viene abbinato un esercizio muscolare attivo, questo perché l'attivazione muscolare favorisce il reclutamento muscolare e riduce ulteriormente gli effetti negativi dell'*AMI*⁴⁰.

3.2. STRATEGIE PER MASSIMIZZARE IL RECUPERO DELLA FORZA DOPO UN INFORTUNIO O UN INTERVENTO CHIRURGICO

Programmi di forza periodici

Nel momento in cui si è avuta una riduzione significativa del dolore e del gonfiore sarà importante introdurre un programma periodico di allenamento alla forza in modo da recuperare completamente la funzione neuromuscolare degli estensori del ginocchio e degli altri muscoli coinvolti^{41,42}. Un elemento chiave di questa strategia sarà il recupero della massa muscolare, della forza e della potenza (Fig. 8) nonché della coordinazione (abilità da utilizzare nei pattern sport-specifici).

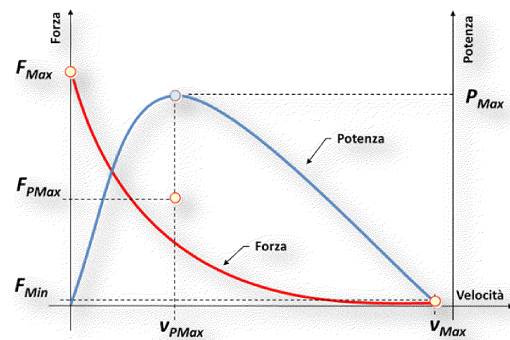


Fig. 8 – Grafico della curva Forza-Velocità

La sfida per il terapeuta sarà disegnare un programma ottimale pianificando le variabili dell'esercizio (carico, serie e ripetizioni) in modo da massimizzare gli adattamenti neuronali e muscolari, salvaguardando però la salute del paziente e rispettando le tempistiche biologiche del soggetto evitando il rischio di over-training. Per fare questo sarà quindi necessario capire come e dove queste variabili potranno modificare l'outcome dell'esercizio sul paziente.

Tra i più importanti fattori da tenere in considerazione quando si parla di allenamento con resistenza abbiamo:

- 1- Tensione meccanica del muscolo: capacità del muscolo di sopportare un carico senza che questo vada a danneggiare o modificare la struttura del tessuto stesso;
- 2- Stress metabolico indotto dall'allenamento: accumulo di prodotti metabolici (ioni idrogeno, lattato, ecc.) che potrebbero stimolare il catabolismo;
- 3- Estensione del danno strutturale.

In linea generale sappiamo che gli allenamenti ad alti volumi di carico sono necessari per incrementare forza e dimensioni muscolari. Infatti, *Schoenfeld et al.*⁴³ nel loro lavoro hanno concluso che l'allenamento di resistenza ad alti volumi produce notevoli vantaggi in termini di massa muscolare rispetto ad allenamenti a bassi volumi, in quanto viene prolungato il tempo in cui il muscolo è soggetto ad uno stress metabolico⁴⁴. L'essenziale sarà trovare un equilibrio ed evitare un volume eccessivo di lavoro che potrebbe determinare over-training, stress articolare e sovraccarico delle strutture interessate. È proprio questo il compito del terapeuta, infatti, l'esatto volume di lavoro non è esplicitato in letteratura in quanto è altamente legato all'individualità della persona che abbiamo di fronte: caratteristiche fisiche, storia clinica, comorbidità, stile di vita prima dell'infortunio, ecc.

Sappiamo, tuttavia, che la tensione meccanica o il carico opportuni, vengono indicati con una percentuale rispetto al massimo carico che si riesce a sollevare una sola volta con un determinato esercizio (*One Repetition Maximum, 1RM*). The *American College of Sports Medicine (ACSM)* raccomanda di lavorare con carichi del 60-70% *1RM*, per sviluppare la forza e carichi del 70-85% *1RM* per massimizzare l'ipertrofia⁴⁵. Tradizionalmente, si tendeva a pensare che lavorare con alti carichi fosse necessario per attivare in modo ottimale tutte le unità motorie e raggiungere, così, il risultato migliore in termini di ipertrofia. Tuttavia, è stato sperimentato come anche il lavoro a bassi carichi sia utile per reclutare fibre muscolari veloci, determinando differenze non significative in termini di ipertrofia rispetto al lavoro con carichi elevati.

Diversamente, l'intensità dell'allenamento ha mostrato effetti significativi in termini di forza sviluppata (*Rate of Force Development, RFD*). Pertanto, l'allenamento di forza periodizzato nella riabilitazione del *LCA* viene raccomandato già nel post-operatorio iniziando con carichi adeguati all'articolazione compromessa, che non riesce a tollerare forze e volumi elevati. Si partirà, quindi, con volumi da moderati ad alti e carichi da bassi a moderati in modo da promuovere guadagni in termini di forza ed ipertrofia di tutte le unità motorie.

A questa fase seguirà un periodo focalizzato maggiormente sulla resistenza muscolare con intensità da moderata ad alta (70-80% *1RM*) e con l'obiettivo di recuperare la massa muscolare e ripristinare la forza massima.

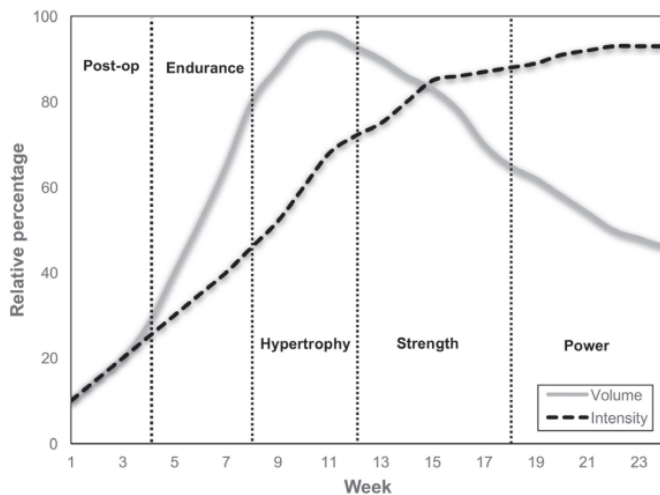


Fig. 9 – rappresentazione grafica della periodizzazione di un programma di forza.

Infine, verrà introdotto un periodo di forza, ad intensità molto alta (90% 1RM) e bassi volumi, necessario per incrementare la massima attivazione muscolare e ripristinare la potenza e la forza esplosiva.

Ovviamente il lavoro dovrà rispettare i tempi biologici di riparazione tissutale delle strutture interessate,

considerando anche la risposta e gli adattamenti individuali, e dovrà produrre il massimo stimolo per il recupero del paziente (Fig. 9).

Un errore che spesso viene commesso nelle fasi precoci/medie del programma riabilitativo è quello di incentrare il focus esclusivamente sul ginocchio. La letteratura più recente ci suggerisce di porre attenzione “oltre al ginocchio”³⁷, andando ad indagare possibili punti di debolezza del core e dei muscoli dell’anca e possibili fattori di rischio per lesioni future agli arti inferiori, in particolare al LCA⁴⁶. Questo perché la lesione del LCA è una condizione complessa che non riguarda soltanto l’arto affetto, ma entrambi gli arti. Deficit di forza negli estensori del ginocchio, nel controllo neuromuscolare e nella propriocezione sono infatti presenti e riscontrabili anche nell’arto controlaterale non infortunato^{47,48}. Pertanto, non dobbiamo dimenticarci dell’“arto sano”, perché questo potrebbe determinare stime alterate della forza ed errori nella valutazione del LSI; infatti, il gap presente tra i due arti potrebbe risultare ridotto anche a causa di una valutazione sottostimata del lato sano e non essere frutto del reale progresso del lato affetto.

Quest’ultima problematica può essere risolta inglobando nel programma riabilitativo la *Cross-Education*. Introdurre questa metodica potrebbe incrementare la forza muscolare in entrambi gli *arti inferiori* (AII) accelerando il recupero muscolare⁴⁹.

4. CROSS-EDUCATION

Il fenomeno della *Cross Education* (*CE*) è stato riportato, per la prima volta, in uno studio del 1894: “*la forza muscolare e la consolidazione delle abilità motorie possono essere incrementate attraverso l’allenamento unilaterale dell’emilato opposto all’arto affetto preso in esame*”⁵⁰ Successivamente, il meccanismo alla base della *CE* verrà descritto come un guadagno indiretto di forza, a seguito di un allenamento massimale o sub-massimale di un solo arto, ottenuto nell’arto controlaterale non sottoposto ad allenamento^{51,52}.

Da alcune metanalisi^{49,53} è emerso inoltre che la *CE* può indurre un incremento di forza e performance variabile che si aggira attorno al 7,8%, questo primo dato è stato recentemente modificato da uno studio del 2017⁵¹ che ha stimato il guadagno relativo alla *CE* intorno all’11,9% in relazione alla forza iniziale misurata nell’arto non allenato.

Ad oggi non è stato ancora possibile spiegare in modo completo i meccanismi fisiologici indotti dall’allenamento di resistenza con la *CE* prendendo in esame soltanto gli adattamenti sul piano muscolare. Pertanto, la conclusione più plausibile sembra essere che alla base di questi cambiamenti ci siano delle risposte neuronali, spinali e corticali, che vadano a modificare la via neurale nel lato controlaterale non sottoposto ad allenamento^{54,55}. Le ipotesi più probabili che spiegano queste modificazioni sono:

- 1) **Ipotesi della cross-activation:** propone che l’allenamento di forza unilaterale vada ad attivare le aree motorie corticali sia nel lato attivo sia controlateralmente causando degli adattamenti in entrambi gli emisferi.
- 2) **Ipotesi del bilateral access:** sostiene che la muscolatura omologa, non allenata, riesca ad acquisire degli adattamenti, a seguito dell’allenamento, grazie alla comunicazione tra le aree motorie dei due emisferi (*comunicazione intra-emisferica*).

Il fenomeno della *CE* viene, pertanto, ampiamente utilizzato nella riabilitazione sia clinica che sportiva grazie alla sua utilità ed applicabilità soprattutto per problematiche unilaterali. Questo avviene per due principali ragioni:

- 1) È importante trovare una metodica di azione che possa contrastare gli effetti negativi legati a lunghi periodi di immobilizzazione o scarso uso di un segmento

corporeo, che inducono un decremento dell'attività contrattile del muscolo, della forza (fino al 60%), della velocità e della qualità del reclutamento.

- 2) Bisogna evitare che ci sia un'errata valutazione dell'effettivo recupero muscolare, in particolar modo in termini di forza. Questo perché al momento della valutazione della simmetria muscolare, la riduzione del deficit potrebbe essere causata non soltanto all'incremento di forza nell'arto affetto ma anche ad una riduzione di forza del lato sano a seguito di un periodo di uso ridotto.

5. SCOPO DELLO STUDIO

L'idea di questo studio nasce in seguito all'analisi di alcuni protocolli relativi alla riabilitazione post *ricostruzione del Legamento Crociato Anteriore (ACL-R)*.

Il fenomeno della *Cross Education* garantisce un duplice effetto: azione diretta sull'arto sano, mettendo in luce le reali potenzialità e, indiretta sull'arto patologico, attraverso adattamenti neuromuscolari con risultati positivi sia in termini di forza che di abilità.

L'obiettivo di questo lavoro è, pertanto, quello di fare chiarezza sull'efficacia della *CE* analizzando, in particolare modo, i guadagni ottenuti, in termini di forza, dall'arto operato dopo un programma riabilitativo abbinato al *Cross Education Strength Training (CEST)*, rispetto ad una riabilitazione dove non viene previsto un lavoro con focus specifico sull'arto non-operato^{56,57}.

5.1. Obiettivo primario

L'obiettivo primario di questo studio è valutare il guadagno in termini di forza dell'arto operato, confrontandolo con il lato non affetto, attraverso il *Limb Symmetry Index (LSI)* relativamente ai tre principali compartimenti muscolari dell'arto inferiore: Quadricipiti, Hamstring e Glutei.

5.2. Obiettivi secondari

Gli obiettivi secondari di questo studio sono:

- Quantificare lo stato di salute e misurare la qualità della vita dei pazienti attraverso il questionario *Short Form Health Survey 36 (SF-36)*.
- Valutare la presenza di convinzioni o credenze legate al dolore e alla paura del movimento in soggetti con disturbi muscoloscheletrici mediante il questionario *Tampa Scale of Kinesiophobia (TSK)*.

6. MATERIALI E METODI

I dati riportati in questa tesi sono relativi a pazienti che hanno subito chirurgia di ricostruzione del *LCA* e conseguente riabilitazione fisioterapica presso il *Centro Myolab* di Jesi nei mesi di febbraio e marzo 2023 e che hanno volontariamente deciso di aderire al progetto di lavoro. A ciascun paziente sono state spiegate le finalità del programma e le procedure da svolgere. Inoltre, ad ognuno è stato richiesto il consenso informato al momento dell'inclusione nello studio.

6.1. CRITERI DI INCLUSIONE ED ESCLUSIONE

- **Criteri di inclusione:**
 - Esiti di chirurgia per ricostruzione di *LCA*,
 - Età 18-70;
- **Criteri di esclusione:**
 - Presenza di patologie neurologiche concomitanti o comorbidità gravi,
 - Terapia antibiotica a base di chinoloni e fluorochinoloni in corso,
 - Presenza di osteoporosi marcata.

Questi elementi sono stati selezionati ed esclusi in quanto potrebbero giocare un ruolo negativo nelle attività con carichi elevati.

6.2. MISURE DI OUTCOMES

La prima valutazione, utile a raccogliere i dati per la composizione della *baseline* (*T0*), è stata effettuata a *4 settimane* dall'operazione chirurgica, in modo da rispettare i tempi precauzionali di attecchimento osseo del nuovo innesto e non sottoporre i pazienti a rischi durante le procedure di raccolta dati.

I successivi *follow-up* sono stati effettuati a *8 settimane* dall'intervento (*T1*) e a *12 settimane* dall'intervento (*T2*), in concomitanza con la fine del programma di *CEST*. Durante i tre controlli è stata applicata la medesima procedura di valutazione: somministrazione dei due questionari auto-compilativi (*SF-36* e *TSK*) da restituire al

termine della riabilitazione ed esecuzione delle prove di forza dei distretti muscolari in esame.

6.2.1. LIMB SIMMETRY INDEX (LSI)

Il Limb Symmetry Index (*LSI*) è un indice che ci permette di definire il grado di asimmetria tra un arto ed il controlaterale⁵⁸. Consiste in una valutazione funzionale ed è generalmente utilizzato in ambito sportivo nella fase di *Return to Play (RTP)*, in particolare su soggetti sottoposti ad interventi di ricostruzione del *Legamento Crociato Anteriore*.

Nonostante la valutazione possa essere effettuata in modalità differenti in base



*Fig. 10 – Dinamometro manuale
KFORCE della casa produttrice
Kinvent*

alle necessità del singolo caso, generalmente consiste in una prova atta a misurare la forza di entrambi gli arti e ad evidenziare le differenze prestazionali. Il *LSI* fornisce come risultato un valore compreso tra 0 e 100, che ci permette di valutare il livello di simmetria tra i due emilati e di stimare il deficit di forza dell'arto operato, espresso in percentuale. In

questo studio il *LSI* è stato misurato in modo indiretto attraverso il software presente all'interno del dinamometro utilizzato, il *KFORCE* della marca *KINVENT* (Fig. 10).

La valutazione della forza è stata strutturata come segue:

- **QUADRICIPITI:**

Abbiamo fatto eseguire al paziente tre prove successive prima con l'arto sano e poi con l'arto operato. Ciascuna prova consisteva in una contrazione isometrica massimale della durata di 3 secondi, intervallate da un tempo di recupero della durata di 15 secondi. Il paziente effettuava la valutazione in posizione seduta su un lettino fisioterapico (ginocchio flesso a 90°), con le mani in appoggio ed i piedi in sospensione. L'operatore era posto di fronte al paziente in modo da posizionare correttamente il dinamometro sulla parte distale della tibia (Fig. 11).

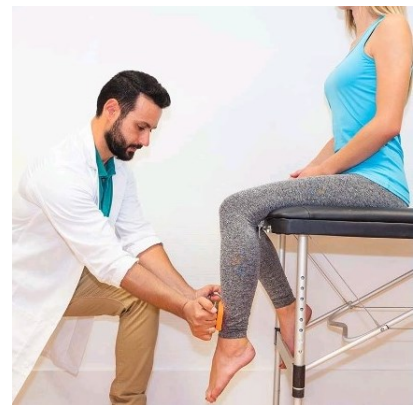


Fig. 11 – rappresentazione del posizionamento per la valutazione della forza del quadricipite

- **HAMSTRING:**

Abbiamo fatto eseguire al paziente tre prove successive prima con l'arto sano e poi con l'arto operato. Ciascuna prova consisteva in una contrazione isometrica massimale della durata di 3 secondi, intervallate da un tempo di recupero della durata di 15 secondi. Il paziente effettuava la valutazione in posizione prona su un lettino fisioterapico con le mani in appoggio al bordo laterale e il ginocchio flesso a 90°. L'operatore era posto posteriormente al paziente, in piedi o seduto, in modo da posizionare correttamente il dinamometro nella porzione distale della tibia (Fig. 12).

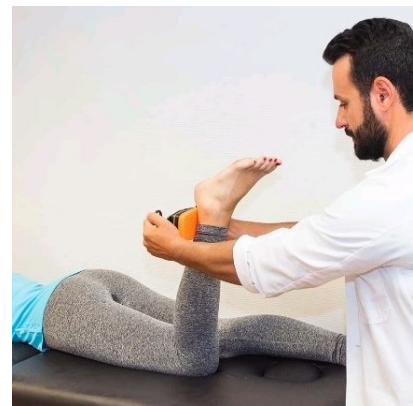


Fig. 12 – rappresentazione del posizionamento per la valutazione della forza degli Hamstring

• **GLUTEI:**

Abbiamo fatto eseguire al paziente tre prove successive prima con l'arto sano e poi con l'arto operato. Ciascuna prova consisteva in una contrazione isometrica massimale della durata di 3 secondi, intervallate da un tempo di recupero della durata di 15 secondi.

Il paziente effettuava la valutazione in posizione supina con anca e ginocchio flessi a 90°. L'operatore era posto in piedi lateralmente al paziente, in modo da posizionare correttamente il dinamometro nella parte distale del femore al di sopra del cavo popliteo (Fig. 13).



Fig. 13 – rappresentazione del posizionamento per la valutazione della forza dei glutei

6.2.2. SHORT FORM HEALTH SURVEY 36 (SF-36)

La *Short Form Health Survey 36 (SF-36)* è un questionario, che il paziente compila autonomamente, che ha come scopo quello di quantificare lo stato di salute e misurare la qualità della vita correlata alla salute (Fig. 14,15,16).

G.L.O.B.E.
www.globe.it

Questionario per il paziente (SF-36) 1/3
Versione Italiana ufficiale, di Apolone et al. 1997 (progetto IOOLA), dall'originale inglese di Ware and Sherbourne, 1992

Sceglia una risposta per ogni domanda

1. In generale direbbe che la Sua salute è...

Eccellente	Molto buona	Buona	Passabile	Scadente
1	2	3	4	5

2. Rispetto a un anno fa, come giudicherebbe, ora, la Sua salute in generale?

Decisamente migliore adesso rispetto a un anno fa	Un po' migliore adesso rispetto a un anno fa	Più o meno uguale rispetto a un anno fa	Un po' peggiore adesso rispetto a un anno fa	Decisamente peggiore adesso rispetto a un anno fa
1	2	3	4	5

Le seguenti domande riguardano alcune attività che potrebbe svolgere nel corso di una qualsiasi giornata. Ci dica, scegliendo una risposta per ogni riga, se attualmente la Sua salute La limita nello svolgimento di queste attività.

	Sì, mi limita parecchio	Sì, mi limita parzialmente	No, non mi limita per nulla
3. Attività fisicamente impegnative, come correre, sollevare oggetti pesanti, praticare sport faticosi	1	2	3
4. Attività di moderato impegno fisico, come spostare un tavolo, usare l'aspirapolvere, giocare a bocce o fare un gretto in bicicletta	1	2	3
5. Sollevare o portare le borse della spesa	1	2	3
6. Salire qualche piano di scale	1	2	3
7. Salire un piano di scale	1	2	3
8. Piegarsi, inginocchiarsi o chinarsi	1	2	3
9. Camminare per un chilometro	1	2	3
10. Camminare per qualche centinaia di metri	1	2	3
11. Camminare per circa cento metri	1	2	3
12. Fare il bagno o vestirsi da soli	1	2	3

Fig. 14 - Questionario SF-36 tradotto in lingua italiana (pag. 1)

G.L.O.B.E.
www.globe.it

Questionario per il paziente (SF-36) 2/3

Nelle ultime quattro settimane, ha riscontrato i seguenti problemi sul lavoro o nelle altre attività quotidiane, a causa della Sua salute fisica?

Risponda Sì o No a ciascuna domanda.	Sì	No
13. Ha ridotto il tempo dedicato al lavoro o ad altre attività	1	2
14. Ha reso meno di quanto avrebbe voluto	1	2
15. Ha dovuto limitare alcuni tipi di lavoro o di altre attività	1	2
16. Ha avuto difficoltà nell'eseguire il lavoro o altre attività (ad esempio, ha fatto più fatica)	1	2

Nelle ultime quattro settimane, ha riscontrato i seguenti problemi sul lavoro o nelle altre attività quotidiane, a causa del Suo stato emotivo (qual è il sentirsi depresso o ansioso)?

Risponda Sì o No a ciascuna domanda.	Sì	No
17. Ha ridotto il tempo dedicato al lavoro o ad altre attività	1	2
18. Ha reso meno di quanto avrebbe voluto	1	2
19. Ha avuto un calo di concentrazione sul lavoro o in altre attività	1	2

20. Nelle ultime quattro settimane, in che misura la Sua salute fisica o il Suo stato emotivo hanno interferito con le normali attività sociali con la famiglia, gli amici, i vicini di casa i gruppi di cui fa parte? (Indichi un numero)

Per nulla	Leggermente	Un po'	Molto	Moltissimo
1	2	3	4	5

21. Quanto dolore fisico ha provato nelle ultime quattro settimane? (Indichi un numero)

Nessuno	Molto lieve	Lieve	Moderato	Forte	Molto forte
1	2	3	4	5	6

22. Nelle ultime quattro settimane, in che misura il dolore L'ha ostacolata nel lavoro che svolge abitualmente, sia in casa sia fuori? (Indichi un numero)

Per nulla	Molto poco	Un po'	Molto	Moltissimo
1	2	3	4	5

Fig. 15 - Questionario SF-36 tradotto in lingua italiana (pag. 2)

G.I.O.R.E.

Questionario per il paziente (SF-36) 3/3

Le seguenti domande si riferiscono a come si è sentito **nelle ultime quattro settimane**. Risponda a ciascuna domanda scegliendo la risposta che più si avvicina al Suo caso.

Per quanto tempo nelle ultime quattro settimane si è sentito...

	Sempre	Quasi sempre	Molto tempo	Una parte del tempo	Quasi mai	Mai
23. Vivace e brillante?	1	2	3	4	5	6
24. Molto agitato?	1	2	3	4	5	6
25. Così giù di morale che niente avrebbe potuto tirarla su?	1	2	3	4	5	6
26. Calmo e sereno?	1	2	3	4	5	6
27. Pieno di energia?	1	2	3	4	5	6
28. Scoraggiato e triste?	1	2	3	4	5	6
29. Stintito?	1	2	3	4	5	6
30. Felice?	1	2	3	4	5	6
31. Stanco?	1	2	3	4	5	6

32. Nelle ultime quattro settimane, per quanto tempo la Sua salute fisica o il Suo stato emotivo hanno interferito nelle Sue attività sociali, in famiglia, con gli amici? (Indichi un numero)

	Sempre	Quasi sempre	Una parte del tempo	Quasi mai	Mai
	1	2	3	4	5

Sceglia, per ogni domanda, la risposta che meglio descrive quanto siano Vere o False le seguenti affermazioni.

	Certamente vero	In gran parte vero	Non so	In gran parte falso	Certamente falso
33. Mi pare di ammalarmi un po' più facilmente degli altri	1	2	3	4	5
34. La mia salute è come quella degli altri	1	2	3	4	5
35. Mi aspetto che la mia salute andrà peggiorando	1	2	3	4	5
36. Godo di ottima salute	1	2	3	4	5

Fig. 16 – Questionario SF-36 tradotto in lingua italiana (pag.3)

L'*SF-36* è una tipologia di questionario breve, che fornisce dei risultati precisi e facilmente riproducibili in tempi stretti. Il questionario è costituito da 36 domande, suddivisibili nelle seguenti 8 categorie, che ci permettono di definire quale sia l'impatto di una patologia su diversi aspetti della qualità della vita del soggetto:

- *Funzionamento fisico* (10 item)
- *Limitazioni dovute alla salute fisica* (4 item)
- *Limitazioni dovute a problemi emotivi* (3 item)
- *Energia e fatica* (4 item)
- *Benessere emotivo* (5 item)
- *Attività sociali* (2 item)
- *Dolore* (2 item)
- *Percezione della salute generale* (5 item)

Tutti gli item presentano la stessa modalità di risposta ma ogni elemento ha un punteggio ponderato (*Tab. 1*).

Per assegnare un punteggio all'SF-36, gli elementi devono essere ricodificati, come da tabella seguente:

SF-36 Articoli	Ricodifica dell'oggetto per il punteggio					
	1	2	3	4	5	6
1, 2, 20, 22, 34, 36	100	75	50	25	0	-
3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	0	50	100	-	-	-
13, 14, 15, 16, 17, 18, 19	0	100	-	-	-	-
21, 23, 26, 27, 30	100	80	60	40	20	0
24, 25, 28, 29, 31	0	20	40	60	80	100
32, 33, 35	0	25	50	75	100	-

Tab. 1 – Tabella dei punteggi ponderati per i differenti items del questionario SF-36

Per calcolare il risultato finale occorre, inoltre, ricodificare mediante dei coefficienti specifici (*Tab. 2*) il punteggio ponderato ottenuto precedentemente in modo che questo possa essere riportato su una scala da 0 (*salute negativa*) a 100 (*salute positiva*). I risultati saranno infine sommati per comporre il punteggio finale di ciascuna sottoscala (*Tab.2*).

Il risultato di ogni item può anche essere utilizzato indipendentemente, a seconda del campo di interesse.

I punteggi aggregati per ogni dominio vanno da 0 a 100, compilati come percentuale, dove più alto è il punteggio, più favorevole è lo stato di salute.

Dominio	SF-36 articoli	Formula
Funzionamento fisico	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	Somma dei punti di ricodifica / 10
Limitazioni di ruolo dovute alla salute fisica	13, 14, 15, 16	Somma dei punti di ricodifica / 4
Limitazioni di ruolo dovute a problemi emotivi	17, 18, 19	Somma dei punti di ricodifica / 3
Energia/fatica	23, 27, 29, 31	Somma dei punti di ricodifica / 4
Benessere emotivo	24, 25, 26, 28, 30	Somma dei punti di ricodifica / 5
Funzionamento sociale	20, 32	Somma dei punti di ricodifica / 2
Dolore	21, 22	Somma dei punti di ricodifica / 2
Salute generale	1, 33, 34, 35 36	Somma dei punti di ricodifica / 5

Tab. 2 – Tabella di conversione dei punteggi per i differenti items del questionario SF-36

6.2.3. TAMPA SCALE OF KINESIOPHOBIA (TSK)

La *Tampa Scale of Kinesiophobia* (TSK) è un questionario self-reporting, validato in lingua italiana, utile a valutare la presenza di convinzioni negative e la paura del movimento correlati al dolore, in soggetti con disturbi muscoloscheletrici (Fig. 17). La scala originale è costituita da 17 item, dove, ad ogni voce, viene dato un punteggio variabile da 1 a 4, ed ogni punto esprime un grado di accordo o disaccordo con il quesito presentato:

1. *Completo disaccordo*
2. *Parziale disaccordo*
3. *Parziale accordo*
4. *Completo accordo*

I punteggi degli item 4 -8 -12 -16, che sono stati esclusi nella versione più recente e validata in italiano, devono essere calcolati al contrario. Pertanto, nel questionario che abbiamo somministrato, sono presenti in totale 13 item che possono a loro volta essere raggruppati in due sottoscale utili, attraverso l'analisi singola del punteggio, a identificare quale convinzione sia maggiormente presente nel pensiero del paziente:

- **Evitamento dell'attività:** convinzione per cui le attività che causano dolore debbano essere evitate (*Item: 1,2,10,14,15,17*).
- **Focus somatico:** convinzione che il dolore sia correlato alla presenza di un danno fisico (*Item: 3,5,6,7,9,11,14*).

Tampa Scale of Kinesiophobia – TSK				
<p>In questi tempi, caratterizzati da una medicina ad alto contenuto tecnologico, manca spesso nella Sua cartella clinica una delle più importanti fonti di informazione: le Sue sensazioni riguardo a cosa sta accadendo al Suo corpo. Le informazioni che Lei chiediamo hanno lo scopo di colmare questa lacuna. Per favore risponda alle seguenti domande mettendo una crocetta sulle risposte che descrivono meglio il suo modo di sentire, e non secondo quanto altri ritengono che Lei debba credere. Questa non è una prova per verificare le Sue conoscenze mediche; noi intendiamo conoscere il Suo punto di vista.</p>				
	Completo disaccordo (1)	Parziale disaccordo (2)	Parziale accordo (3)	Completo accordo (4)
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Totale: _____				
TSK 1 (1, 2, 10, 14, 15, 17): _____				
TSK 2 (3, 5, 6, 7, 9, 11, 13): _____				

Fig. 17 – Questionario completo della Tampa Scale of Kinesiophobia (TSK) tradotto in lingua italiana

Come nella versione originale ad ogni item viene dato un punteggio variabile da 1 a 4 in base al grado di accordo o disaccordo del paziente. Il punteggio totale può oscillare da un *minimo di 13 ad un massimo di 52*, dove 13 corrisponde all'assenza di kinesifobia, mentre 52 alla presenza di un grado elevato di kinesifobia. Il *Minimal Important Change (MIC)*, ovvero il cambiamento minimo importante per il paziente, è stato stimato essere a *5,5 punti*. Il punteggio e i valori del *MIC* delle due sottoscale possono variare nel seguente modo:

- **Evitamento delle attività:** da un minimo di 6 a un massimo 24 punti, con un *MIC* di 1,5.
- **Focus somatico:** da un minimo di 7 a un massimo di 28 punti, con un *MIC* di 3,5.

6.3. GRUPPI DI STUDIO

Il reclutamento dei pazienti è stato avviato una volta definito il disegno completo dello studio, in modo da selezionare i partecipanti con caratteristiche idonee a portare a termine il programma di lavoro senza rischi.

Verificata la congruità dei pazienti, gli stessi, sono stati informati sulle modalità di svolgimento dello studio ed è stata richiesta l'adesione costante al programma di lavoro.

Successivamente i pazienti sono stati distribuiti, in modo randomizzato, in base al momento di ingresso in struttura, con *modalità 1:1*, all'interno dei due gruppi di lavoro: *Gruppo controllo (GC)* e *Gruppo Cross-Education (GCE)*.

6.3.1. GRUPPO CONTROLLO (GC)

Il gruppo controllo ha eseguito un programma di rinforzo individualizzato con l'obiettivo di massimizzare il recupero della forza e del *Range Of Motion* relativamente all'arto operato. Il programma era strutturato in 3 sedute settimanali della durata di 60 minuti circa. All'interno di ciascuna sessione erano previsti esercizi di rinforzo a corpo libero, esercizi di rinforzo con macchinari isotonici ed esercizi per il recupero dell'equilibrio e della propriocettiva.

6.3.2. GRUPPO CROSS EDUCATION (GCE)

Il gruppo sperimentale ha eseguito un programma di lavoro analogo al gruppo di controllo. Il programma era strutturato in 3 sedute settimanali della durata di 60 minuti circa. All'interno di ciascuna sessione erano previsti esercizi di rinforzo a corpo libero, esercizi di rinforzo con macchinari isotonici ed esercizi per il recupero dell'equilibrio e della propriocettiva.

In aggiunta al lavoro precedente il gruppo sperimentale ha inserito, al termine di ogni sessione di allenamento, un programma specifico di *Cross-Education Strength Training (CEST)* da svolgere esclusivamente con l'arto sano⁵⁹⁻⁶¹.

Questo comprendeva tre esercizi target, focalizzati al potenziamento dei principali distretti muscolari dell'arto inferiore, effettuati mediante dei macchinari isotonici: *Leg Press orizzontale*, *Sitting Leg Curl* e *Leg Extension*, per la durata complessiva di 8 settimane.

Il *CEST* era strutturato come segue:

- *Leg Press orizzontale singola (Fig.18)*: 3 serie x 5/6 ripetizioni (80% 1RM), recupero 2 minuti al termine di ogni serie;

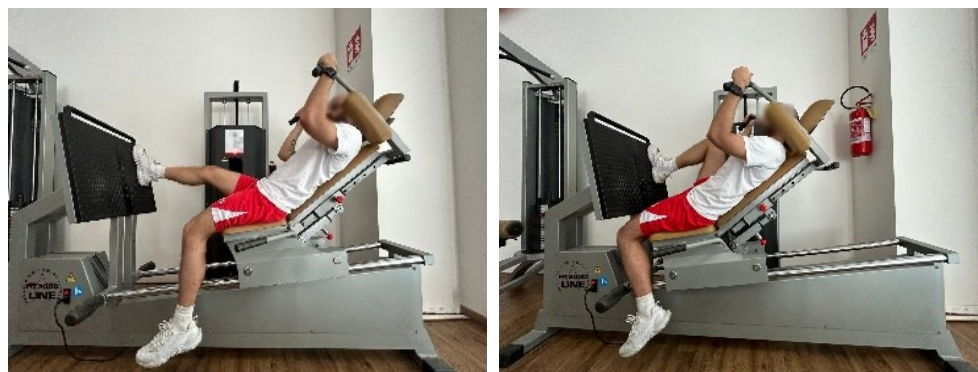


Fig. 18 – Esecuzione dell'esercizio alla Leg Press orizzontale effettuato con il solo arto sano

- *Sitting Leg Curl singola (Fig. 19): 3 serie x 5/6 ripetizioni (80% 1RM), recupero 2 minuti al termine di ogni serie;*



Fig. 19 – Esecuzione dell'esercizio al Sitting Leg Curl effettuato con il solo arto sano

- *Leg Extension singola (Fig.20): 3 serie x 5/6 ripetizioni (80% 1RM), recupero 2 minuti al termine di ogni serie.*



Fig. 20 – Esecuzione dell'esercizio alla Leg Extension effettuato con il solo arto sano

Per ciascun esercizio è stato calcolato il carico massimale (*1RM*) relativamente al solo arto sano. La valutazione del massimale è stata svolta mediante tre prove successive, per ciascuno dei macchinari isotonic utilizzati all'interno del programma.

Ad ogni sessione al soggetto era richiesto di eseguire il massimo numero di ripetizioni possibili effettuate con un carico standard, scelto in base alle sue caratteristiche. Al termine di ogni prova veniva effettuato un periodo di recupero della durata di 3 minuti.

Oddvar Holten curve

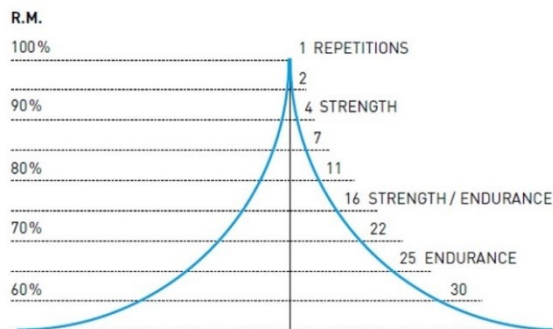


Fig. 21 – Rappresentazione della curva di Oddvar-Holten

Terminate le prove e raccolti i dati si è passato al calcolo indiretto del massimale attraverso l'utilizzo della *Curva di Oddvar-Holten* (Fig. 21). Una volta individuato il *massimale teorico (IRM)* e definito il carico per l'esecuzione dell'allenamento di forza (80% IRM) questo

veniva provato con il paziente in modo da adattarlo al meglio alle proprie caratteristiche ed alle specifiche tecniche del macchinario utilizzato. La valutazione del massimale è stata ripetuta ogni 4 settimane in concomitanza dei follow-up periodici. Durante questi incontri si replicava la procedura precedentemente descritta in modo da utilizzare un carico di lavoro idoneo alle nuove condizioni cliniche del paziente. Siccome ad oggi non esiste un protocollo di lavoro standard per il *CEST*, questo programma è stato strutturato sulla base dei dati presenti in letteratura^{49,51,53}.

6.4. ANALISI STATISTICA

La distribuzione delle variabili è stata valutata tramite test di *Shapiro-Wilk normality test*. Il *t-test* o il test non parametrico di *Mann-Whitney U* sono stati utilizzati per il confronto tra gruppi rispettivamente per variabili a distribuzione gaussiana o non gaussiana. I risultati sono presentati come *media ± deviazione standard* (variabili normalmente distribuite) o *mediana e range interquartile* (variabili non normalmente distribuite).

La soglia per la significatività statistica è stata stabilita per una $p < 0,05$.

7. RISULTATI

I dati analizzati per questa tesi si riferiscono a pazienti con esiti di ricostruzione del *LCA* rivoltesi al centro di riabilitazione *Myolab* di Jesi per riabilitazione post-operatoria tra febbraio e marzo 2023. In totale i pazienti giunti alla nostra attenzione sono stati 11, di cui 1 escluso in quanto erano intercorse più di quattro settimane dall'operazione chirurgica ed 1 escluso perché di età inferiore a 18 anni.

Il campione finale risulta composto da *9 pazienti volontari (6 M/3 F)*, che sono stati suddivisi in due gruppi: ad un gruppo è stato assegnato il trattamento standard, mentre l'altro ha integrato al trattamento standard un programma di *Cross-Education Strength Training*. Al termine della randomizzazione è stata analizzata la composizione dei due gruppi, che risultavano abbastanza omogenei (*Tab. 3*), essendo per la maggior parte soggetti giovani e sportivi.

	Età	Sesso
Gruppo Controllo (GC)	25.5 ± 6.5	3 maschi, 1 femmina
Gruppo Cross-Education (GCE)	27.2 ± 9.6	3 maschi, 2 femmine

Tab. 3 – Composizione comparata del GC e del GCE relativamente ad età e sesso dei pazienti

I pazienti sono poi stati seguiti per 8 settimane e sono stati controllati i risultati ottenuti in tre diversi follow up per valutare, tramite test di forza con dinamometro, il *LSI* relativamente ai tre diversi gruppi muscolari in esame: Quadricipiti, Hamstring e Glutei (*Tab. 4,5,6*).

LSI QUAD (% DEFICIT D/S)		
GC (T0)	GC (T1)	GC (T2)
23.3	4.4	19.1
32.3	24.2	6.0
43.9	34.2	34.2
3.9	4.0	2.7
GCE (T0)	GCE (T1)	GCE (T2)
59.5	47.3	13.2
42.1	19.3	8.9
44.3	27.3	7.4
23.6	3.7	4.5
21.2	10.1	7.9

Tab. 4 – risultati del LSI espresso come % di deficit tra i due emilati nei tre diversi follow-up inerenti al muscolo Quadricipite

LSI HAM (% DEFICIT D/S)		
GC (T0)	GC (T1)	GC (T2)
72.3	48.3	49.6
67.9	43.7	40.6
37.3	28.6	28.6
38.9	34.4	28.9
GCE (T0)	GCE (T1)	GCE (T2)
28.5	18.9	4.3
67.2	44.5	29.2
55.3	32.6	31.0
68.3	26.7	29.9
40.6	50.0	31.3

Tab. 5 – risultati del LSI espresso come % di deficit tra i due emilati nei tre diversi follow-up inerenti alla muscolatura degli Hamstring

LSI GLUT (% DEFICIT D/S)		
GC (T0)	GC (T1)	GC (T2)
17.5	3.1	5.7
8.6	5.0	2.3
20.1	17.1	17.1
20.8	16.7	14.8
GCE (T0)	GCE (T1)	GCE (T2)
5.1	3.6	2.5
17.5	2.7	14.8
27.1	21.0	7.9
15.8	3.8	4.9
17.1	12.7	9.0

Tab. 6 – risultati del LSI espresso come % di deficit tra i due emilati nei tre diversi follow-up inerenti alla muscolatura dei Glutei

A questo punto abbiamo rielaborato i dati relativi alle valutazioni precedenti in modo da confrontare il gruppo controllo e il gruppo trattamento. Per ogni misurazione del muscolo specifico, ad ognuno dei tre follow up, abbiamo riportato i valori espressi come media \pm DS o mediana e range interquartile (Tab. 7).

	Controllo (n=4)	Trattamento (n=5)	p-value*
QUAD (T0)	25.85 \pm 16.89	38.14 \pm 15.88	0.3056
HAM (T0)	54.10 \pm 18.57	51.98 \pm 17.24	0.8661
GLUT (T0)	16.75 \pm 6.61	16.72 \pm 7.81	0.9605
QUAD (T1)	16.70 \pm 15.00	21.54 \pm 16.96	0.664
HAM (T1)	38.75 \pm 8.90	30.67 \pm 10.79	0.2937
GLUT (T1)	10.47 \pm 7.46	8.76 \pm 7.96	0.7495
QUAD (T2)	15.50 \pm 14.33	8.38 \pm 3.15	0.397
HAM (T2)	36.9 \pm 10.11	29.9 [29.2-31]	0.7302
GLUT (T2)	9.97 \pm 7.10	7.82 \pm 4.66	0.6231

Tab. 7 – analisi dell'outcome primario (LSI) valutato come media \pm DS o mediana e range interquartile.

*T-test per campioni indipendenti o Wilcoxon, come opportuno. Dati presentati come media \pm DS e mediana e IQR

Nessuna delle differenze riportata è risultata statisticamente significativa, come mostra il p -value > 0.05 . Tuttavia, i risultati devono essere interpretati con cautela, viste le limitazioni del test di normalità e le piccole dimensioni dei campioni.

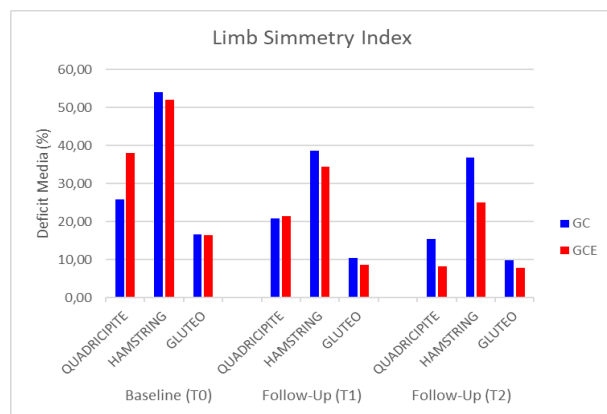


Fig. 22 – Distribuzione del Limb Symmetry Index mediante valutazione del deficit di forza tra i due emilati corporei tra il Gruppo Controllo (GC) ed il Gruppo Sperimentale (GCE).

Infatti, come si può notare dal grafico (Fig. 22), che confronta le medie dei due gruppi durante i diversi follow-up, nella quasi totalità dei casi il gruppo *Cross-Education* presenta una media minore rispetto al gruppo controllo, indice di una maggior simmetria tra i due emilati corporei.

Anche dall'analisi degli outcomes secondari non è emersa nessuna variazione statisticamente significativa, relativa ai punteggi della scala *TSK* (Tab. 8) e della *SF-36* (Tab. 9).

Ciò nonostante, i dati assoluti relativi ai valori riportati come *media ± DS* forniscono, per entrambe le variabili, dei risultati incoraggianti a favore dell'introduzione della *Cross-Education* nel programma riabilitativo.

TSK			
BASELINE (T0)	GC	Media ± DS	31±6,98
	GCE	Media ± DS	27,8±5,4
FOLLOW- UP (T1)	GC	Media ± DS	23±3,37
	GCE	Media ± DS	18±1,87
FOLLOW- UP (T2)	GC	Media ± DS	21±3,16
	GCE	Media ± DS	17±1,22

Tab. 8 - analisi dell'outcome secondario (TSK) valutato come *media ± DS*

			SF-36							
			FUNZ. FISICO	LIM. SALUTE FISICA	LIMITAZ . PROBL. EMOTIVI	ENERGIA/ FATICA	BEN. EMOTIVO	FUNZ. SOCIALE	DOLORE	SALUTE
BASE LINE (T0)	GC	Media ± DS	61,25 ±24,62	6,25 ±12,5	33±26,9 4	36,25 ±27,5	51 ±21,26	37,5 ±30,62	40,62 ±20,25	50 ±17,8
	GCE	Media ± DS	56 ±26,55	5 ±11,18	39,6 ±27,61	54 ±22,47	80 ±4	60 ±33,54	36,5 ±31	72 ±14,83
Follow Up (T1)	GC	Media ± DS	63,75 ±22,13	6,25 ±12,5	49,5 ±19,05	41,25 ±22,5	66 ±12	46,87 ±21,35	48,75 ±21,65	57,5 ±16,58
	GCE	Media ± DS	70 ±15,41	0	59,4 ±14,76	61 ±8,94	83,2 ±1,79	75 ±17,68	54 ±20,12	79 ±10,84
Follow Up (T2)	GC	Media ± DS	76,25 ±14,93	0	74,5 ±17	60 ±10	66 ±12	62,5 ±14,43	56,25 ±13	71,25 ±9,46
	GCE	Media ± DS	82 ±14,4	0	72,8 ±15,21	78 ±2,74	84 ±0	85 ±22,36	78,5 ±15,47	88 ±12,55

Tab. 9 - analisi dell'outcome secondario (SF-36) valutato come *media ± DS*

8. CONCLUSIONI

L'allenamento della forza è uno degli elementi fondamentali da inserire nel programma di recupero a seguito di lesione del *Legamento Crociato Anteriore (LCA)*. Tra le possibili modalità che ci consentono di intervenire sul deficit di forza abbiamo analizzato il fenomeno della *Cross-Education (CE)*, il cui effetto è stato dimostrato inizialmente da *Scripture et al.* nel 1894⁵⁰ e successivamente, confermato da studi più recenti del 2005⁵³ e del 2006⁴⁹. Anche all'interno della rivista "*The International Journal of Sports Physical Therapy*" nel 2019³⁷ è stato proposto l'utilizzo di questa metodica di riabilitazione per pazienti sottoposti a intervento di ricostruzione del *LCA*.

Il programma dei nostri pazienti prevedeva, durante le iniziali 8 settimane di riabilitazione, l'integrazione del protocollo standard costituito da esercizi individuali, finalizzati al recupero dell'arto sottoposto a ricostruzione del *LCA (ACL-R)*, con un programma di *Cross-Education Strength Training (CEST)*.

L'obiettivo primario di questo studio è stata la valutazione dell'efficacia del *Cross-Education Strength Training*, in termini di guadagno indiretto di forza nell'arto operato, dopo allenamento sub-massimale esclusivamente dell'arto sano. La differenza di forza tra i due emilati è stata valutata attraverso il *Limb Symmetry Index*.

Dall'analisi dei valori ottenuti non abbiamo riscontrato una differenza statisticamente significativa tra i due gruppi. Tuttavia, se osserviamo i valori ottenuti nei differenti follow-up, possiamo notare risultati incoraggianti a favore dell'utilizzo di questa metodica. In particolare, nel follow-up a *T2*, effettuato al termine del programma di lavoro, sono stati riportati gli incrementi maggiori sia in termini assoluti di simmetria sia in relazione al gruppo di controllo.

Anche l'analisi degli outcomes secondari (*TSK* e *SF-36*) non ha mostrato variazioni statisticamente significative, ma analogamente a quanto successo per l'outcome primario abbiamo osservato risultati incoraggianti nei pazienti sottoposti al lavoro di *Cross-Education Strength Training*.

Nonostante il nostro lavoro non abbia evidenziato un miglioramento significativo in termini di guadagno indiretto di forza dopo l'utilizzo del *CEST*, i nostri risultati potrebbero essere influenzati dalla ridotta numerosità campionaria. Sono pertanto necessari ulteriori studi futuri, con una maggior numerosità campionaria, per capire se questa tecnica potrebbe fornire un valido contributo all'interno di un programma riabilitativo completo.

9. BIBLIOGRAFIA

1. Grindem, H., Snyder-Mackler, L., Moksnes, H., Engebretsen, L. & Risberg, M. A. Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. *Br J Sports Med* **50**, 804–8 (2016).
2. van Melick, N. *et al.* Evidence-based clinical practice update: practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *Br J Sports Med* **50**, 1506–1515 (2016).
3. Santilli V. *LINEE GUIDA ED EVIDENZE SCIENTIFICHE IN MEDICINA FISICA E RIABILITATIVA - PRIMO VOLUME.* (2018).
4. Neumann DA. *Chinesiologia del sistema muscoloscheletrico.* (2020).
5. Ishii, Y., Terajima, K., Terashima, S. & Koga, Y. Three-dimensional kinematics of the human knee with intracortical pin fixation. *Clin Orthop Relat Res* 144–50 (1997).
6. Patel, V. V *et al.* A three-dimensional MRI analysis of knee kinematics. *J Orthop Res* **22**, 283–92 (2004).
7. Relph, N., Herrington, L. & Tyson, S. The effects of ACL injury on knee proprioception: a meta-analysis. *Physiotherapy* **100**, 187–95 (2014).
8. Schutte, M. J., Dabezies, E. J., Zimny, M. L. & Happel, L. T. Neural anatomy of the human anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am* **69**, 243–7 (1987).
9. Tsuda, E., Okamura, Y., Otsuka, H., Komatsu, T. & Tokuya, S. Direct evidence of the anterior cruciate ligament-hamstring reflex arc in humans. *Am J Sports Med* **29**, 83–7 (2001).
10. Amis, A. A. The functions of the fibre bundles of the anterior cruciate ligament in anterior drawer, rotational laxity and the pivot shift. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* **20**, 613–20 (2012).
11. Komzák, M., Hart, R., Okál, F. & Safi, A. AM bundle controls the anterior-posterior and rotational stability to a greater extent than the PL bundle - a cadaver study. *Knee* **20**, 551–5 (2013).

12. Jordan, S. S. *et al.* The in vivo kinematics of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament during weightbearing knee flexion. *Am J Sports Med* **35**, 547–54 (2007).
13. Li, G. *et al.* The importance of quadriceps and hamstring muscle loading on knee kinematics and in-situ forces in the ACL. *J Biomech* **32**, 395–400 (1999).
14. Markolf, K. L., O’Neill, G., Jackson, S. R. & McAllister, D. R. Effects of applied quadriceps and hamstrings muscle loads on forces in the anterior and posterior cruciate ligaments. *Am J Sports Med* **32**, 1144–9 (2004).
15. Voos, J. E., Mauro, C. S., Wentz, T., Warren, R. F. & Wickiewicz, T. L. Posterior cruciate ligament: anatomy, biomechanics, and outcomes. *Am J Sports Med* **40**, 222–31 (2012).
16. Wang, J. H. *et al.* Effects of knee flexion angle and loading conditions on the end-to-end distance of the posterior cruciate ligament: a comparison of the roles of the anterolateral and posteromedial bundles. *Am J Sports Med* **42**, 2972–8 (2014).
17. Kennedy, N. I. *et al.* Kinematic analysis of the posterior cruciate ligament, part 1: the individual and collective function of the anterolateral and posteromedial bundles. *Am J Sports Med* **41**, 2828–38 (2013).
18. Lipps, D. B., Wojtys, E. M. & Ashton-Miller, J. A. Anterior cruciate ligament fatigue failures in knees subjected to repeated simulated pivot landings. *Am J Sports Med* **41**, 1058–66 (2013).
19. Hewett, T. E., Zazulak, B. T., Myer, G. D. & Ford, K. R. A review of electromyographic activation levels, timing differences, and increased anterior cruciate ligament injury incidence in female athletes. *Br J Sports Med* **39**, 347–50 (2005).
20. Wall, S. J., Rose, D. M., Sutter, E. G., Belkoff, S. M. & Boden, B. P. The role of axial compressive and quadriceps forces in noncontact anterior cruciate ligament injury: a cadaveric study. *Am J Sports Med* **40**, 568–73 (2012).
21. Brown, T. D., Johnston, R. C., Saltzman, C. L., Marsh, J. L. & Buckwalter, J. A. Posttraumatic osteoarthritis: a first estimate of incidence, prevalence, and burden of disease. *J Orthop Trauma* **20**, 739–44 (2006).

22. DeMorat, G., Weinhold, P., Blackburn, T., Chudik, S. & Garrett, W. Aggressive quadriceps loading can induce noncontact anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med* **32**, 477–83 (2004).
23. Quatman, C. E. *et al.* Preferential loading of the ACL compared with the MCL during landing: a novel in sim approach yields the multiplanar mechanism of dynamic valgus during ACL injuries. *Am J Sports Med* **42**, 177–86 (2014).
24. Meyer, E. G., Baumer, T. G. & Haut, R. C. Pure passive hyperextension of the human cadaver knee generates simultaneous bicruciate ligament rupture. *J Biomech Eng* **133**, 011012 (2011).
25. Filbay, S. R. *et al.* Evidence of ACL healing on MRI following ACL rupture treated with rehabilitation alone may be associated with better patient-reported outcomes: a secondary analysis from the KANON trial. *Br J Sports Med* **57**, 91–98 (2023).
26. Filbay, S. R. *et al.* Healing of acute anterior cruciate ligament rupture on MRI and outcomes following non-surgical management with the Cross Bracing Protocol. *Br J Sports Med* (2023) doi:10.1136/bjsports-2023-106931.
27. Fitzgerald, G. K., Axe, M. J. & Snyder-Mackler, L. A decision-making scheme for returning patients to high-level activity with nonoperative treatment after anterior cruciate ligament rupture. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* **8**, 76–82 (2000).
28. Eastlack, M. E., Axe, M. J. & Snyder-Mackler, L. Laxity, instability, and functional outcome after ACL injury: copers versus noncopers. *Med Sci Sports Exerc* **31**, 210–5 (1999).
29. Buckthorpe, M., Tamisari, A. & Villa, F. Della. A TEN TASK-BASED PROGRESSION IN REHABILITATION AFTER ACL RECONSTRUCTION: FROM POST-SURGERY TO RETURN TO PLAY - A CLINICAL COMMENTARY. *Int J Sports Phys Ther* **15**, 611–623 (2020).
30. Matthew Buckthorpe · Alli Gokeler · Lee Herrington · Mick Hughes · Alberto Grassi · Ross Wadey · Stephen Patterson · Alessandro Compagnin · Giovanni La Rosa · Francesco Della Villa. Optimising the Early-Stage Rehabilitation Process Post-ACL Reconstruction. (2023).

31. Fisioscience. Legamento crociato anteriore, dalle basi teoriche all'approccio Evidence-based: un percorso guidato dall'infortunio al ritorno allo sport. (2023).
32. Buckthorpe, M. & Della Villa, F. Optimising the 'Mid-Stage' Training and Testing Process After ACL Reconstruction. *Sports Med* **50**, 657–678 (2020).
33. Dugan, S. A. & Bhat, K. P. Biomechanics and analysis of running gait. *Phys Med Rehabil Clin N Am* **16**, 603–21 (2005).
34. Rambaud, A. J. M., Ardern, C. L., Thoreux, P., Regnaud, J.-P. & Edouard, P. Criteria for return to running after anterior cruciate ligament reconstruction: a scoping review. *Br J Sports Med* **52**, 1437–1444 (2018).
35. Buckthorpe, M. Optimising the Late-Stage Rehabilitation and Return-to-Sport Training and Testing Process After ACL Reconstruction. *Sports Med* **49**, 1043–1058 (2019).
36. Williams, G. N., Snyder-Mackler, L., Barrance, P. J. & Buchanan, T. S. Quadriceps femoris muscle morphology and function after ACL injury: a differential response in copers versus non-copers. *J Biomech* **38**, 685–93 (2005).
37. Buckthorpe, M., La Rosa, G. & Villa, F. Della. RESTORING KNEE EXTENSOR STRENGTH AFTER ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT RECONSTRUCTION: A CLINICAL COMMENTARY. *Int J Sports Phys Ther* **14**, 159–172 (2019).
38. Grindem, H. *et al.* How does a combined preoperative and postoperative rehabilitation programme influence the outcome of ACL reconstruction 2 years after surgery? A comparison between patients in the Delaware-Oslo ACL Cohort and the Norwegian National Knee Ligament Registry. *Br J Sports Med* **49**, 385–9 (2015).
39. 1. Stokes M *et al.* Transcutaneous nerve stimulation and post-meniscectomy quadriceps inhibition. (1985).
40. Arvidsson, I. & Eriksson, E. Postoperative TENS pain relief after knee surgery: objective evaluation. *Orthopedics* **9**, 1346–51 (1986).
41. Lorenz, D. S., Reiman, M. P. & Walker, J. C. Periodization: current review and suggested implementation for athletic rehabilitation. *Sports Health* **2**, 509–18 (2010).

42. Lorenz, D. & Morrison, S. CURRENT CONCEPTS IN PERIODIZATION OF STRENGTH AND CONDITIONING FOR THE SPORTS PHYSICAL THERAPIST. *Int J Sports Phys Ther* **10**, 734–47 (2015).
43. Schoenfeld, B. J., Wilson, J. M., Lowery, R. P. & Krieger, J. W. Muscular adaptations in low- versus high-load resistance training: A meta-analysis. *Eur J Sport Sci* **16**, 1–10 (2016).
44. Goto, K., Ishii, N., Kizuka, T. & Takamatsu, K. The impact of metabolic stress on hormonal responses and muscular adaptations. *Med Sci Sports Exerc* **37**, 955–63 (2005).
45. American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* **41**, 687–708 (2009).
46. Khayambashi, K., Ghoddosi, N., Straub, R. K. & Powers, C. M. Hip Muscle Strength Predicts Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury in Male and Female Athletes: A Prospective Study. *Am J Sports Med* **44**, 355–61 (2016).
47. Chung, K. S. *et al.* Are Muscle Strength and Function of the Uninjured Lower Limb Weakened After Anterior Cruciate Ligament Injury? Two-Year Follow-up After Reconstruction. *Am J Sports Med* **43**, 3013–21 (2015).
48. Zult, T. *et al.* An anterior cruciate ligament injury does not affect the neuromuscular function of the non-injured leg except for dynamic balance and voluntary quadriceps activation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* **25**, 172–183 (2017).
49. Carroll, T. J., Herbert, R. D., Munn, J., Lee, M. & Gandevia, S. C. Contralateral effects of unilateral strength training: evidence and possible mechanisms. *J Appl Physiol (1985)* **101**, 1514–22 (2006).
50. Scripture E.W., S. T. L. , B. E. M. On the Education of Muscular Control and Power. (1894).
51. Manca, A., Dragone, D., Dvir, Z. & Deriu, F. Cross-education of muscular strength following unilateral resistance training: a meta-analysis. *Eur J Appl Physiol* **117**, 2335–2354 (2017).

52. Pearcey, G. E. P., Smith, L. A., Sun, Y. & Zehr, E. P. 1894 revisited: Cross-education of skilled muscular control in women and the importance of representation. *PLoS One* **17**, e0264686 (2022).
53. Munn, J., Herbert, R. D., Hancock, M. J. & Gandevia, S. C. Training with unilateral resistance exercise increases contralateral strength. *J Appl Physiol (1985)* **99**, 1880–4 (2005).
54. Lee, M. & Carroll, T. J. Cross education: possible mechanisms for the contralateral effects of unilateral resistance training. *Sports Med* **37**, 1–14 (2007).
55. Ruddy, K. L. & Carson, R. G. Neural pathways mediating cross education of motor function. *Front Hum Neurosci* **7**, (2013).
56. Harput, G. *et al.* Cross-education improves quadriceps strength recovery after ACL reconstruction: a randomized controlled trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* **27**, 68–75 (2019).
57. Zult, T. *et al.* Cross-education does not accelerate the rehabilitation of neuromuscular functions after ACL reconstruction: a randomized controlled clinical trial. *Eur J Appl Physiol* **118**, 1609–1623 (2018).
58. Barber, S. D., Noyes, F. R., Mangine, R. E., McCloskey, J. W. & Hartman, W. Quantitative assessment of functional limitations in normal and anterior cruciate ligament-deficient knees. *Clin Orthop Relat Res* 204–14 (1990).
59. Fariñas, J. *et al.* Set Configuration in Strength Training Programs Modulates the Cross Education Phenomenon. *J Strength Cond Res* **35**, 2414–2420 (2021).
60. Bowen, W., Frazer, A. K., Tallent, J., Pearce, A. J. & Kidgell, D. J. Unilateral Strength Training Imparts a Cross-Education Effect in Unilateral Knee Osteoarthritis Patients. *J Funct Morphol Kinesiol* **7**, (2022).
61. Green, L. A. & Gabriel, D. A. The cross education of strength and skill following unilateral strength training in the upper and lower limbs. *J Neurophysiol* **120**, 468–479 (2018).

10. SITOGRAFIA

1. [Pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov).
2. www.fisioscience.it.