



Università degli Studi di Padova

CORSO DI LAUREA IN FISIOTERAPIA

PRESIDENTE: *Ch.mo Prof. Raffaele De Caro*

TESI DI LAUREA

**EFFETTI DELLA FATICA SULLA STABILITÀ DEL
GINOCCHIO IN SOGGETTI CHE ABBIANO RIPRESO
L'ATTIVITÀ FISICA INCONDIZIONATA DOPO INTERVENTO
RICOSTRUTTIVO DEL LEGAMENTO CROCIATO
ANTERIORE.**

The effects of fatigue on knee stability after anterior cruciate ligament reconstruction in people who returns to sport.

RELATORE: Prof.ssa Dello Iacovo Sonia

LAUREANDO: Martinuzzi Fabio

Anno Accademico 2015-2016

1	Riassunto e abstract.....	II
1.1	Riassunto.....	II
1.2	Abstract.....	III
2	Introduzione.....	1
3	Background.....	1
3.1	Anatomia e fisiologia.....	1
3.2	Propriocezione.....	4
3.3	Principali tecniche operatorie.....	6
3.4	Principali strategie riabilitative.....	7
3.5	Parametri per il ritorno allo sport.....	8
3.6	Rischio di una seconda lesione.....	9
3.7	Effetti della fatica.....	10
4	Scopo del lavoro.....	11
4.1	Successo riabilitativo vs ritorno allo sport.....	11
5	Ricerca bibliografica.....	12
6	Materiali e metodi.....	13
6.1	Parametri testati.....	13
6.1.1	Isocinetica.....	13
6.1.2.1	Delos.....	14
6.2	Protocollo fatica.....	18
6.3	Selezione del campione.....	19
6.3.1.	Criteri di inclusione ed esclusione.....	19
6.4	Analisi statistica.....	20
7	Risultati.....	21
7.1	Evidenza statistica.....	21
8	Discussione.....	26
8.1	Interpretazione dei risultati.....	26
8.2	Criticità.....	27
9	Conclusioni.....	28
9.1	Studi futuri.....	28
	Bibliografia.....	IV
	Allegati.....	VII
	Allegato 1 - Procedura di esecuzione Test di Forza Isocinetico:.....	VII
	Allegato 2 Procedura di esecuzione Test Riva Statico Propriocettivo Monopodalico:.....	VIII
	Allegato 3 - Tabella riassuntiva del gruppo di controllo.....	IX
	Allegato 4 - Tabella riassuntiva del gruppo osservazionale.....	X

1 Riassunto e abstract

1.1 Riassunto

Questa tesi nasce da una curiosità personale in merito ai criteri di ritorno all'attività sportiva a seguito di ricostruzione del legamento crociato anteriore (LCA) dopo una sua rottura in quanto in letteratura non sono stati trovati parametri oggettivi e quelli che ci sono non contemplano la fatica, cosa che invece è assolutamente presente durante lo sport.

Scopo del lavoro: capire se e come la fatica vada ad influenzare la stabilità posturale e propriocettiva in soggetti che abbiano subito un intervento di ricostruzione del LCA e siano tornati a praticare attività sportiva. **Materiali e metodi:** dopo una ricerca in letteratura, si è scelto di procedere testando la forza degli arti inferiori tramite l'uso di un macchinario isocinetico e la stabilità posturale mediante l'utilizzo del test statico propriocettivo Delos di un gruppo di soggetti di controllo e di un gruppo di volontari che abbiano subito l'intervento sopra citato. Dopo queste operazioni i partecipanti sono stati sottoposti a tre minuti di affaticamento degli arti inferiori mediante la salita e la discesa di uno scalino di altezza adeguata, alternando l'arto di salita ogni 30". Infine gli è stata testata nuovamente la stabilità posturale. **Selezione del campione:** uno statistico ha calcolato la numerosità minima necessaria in 18 soggetti per gruppo. I requisiti generali di inclusione sono stati fissati in: età compresa tra i 17 ed i 40 anni, nessun dolore agli arti inferiori e pratica regolare di uno sport. Per il gruppo di controllo: non aver subito nessun intervento agli arti inferiori e per il gruppo osservazionale aver subito solo un intervento di ricostruzione del LCA ad un solo ginocchio. **Risultati:** i test che hanno evidenziato differenze significative tra i due gruppi sono quelli riguardanti i picchi di forza dei flessori espressi alla resistenza di 180°/sec all'isocinetica e sulla miglior prestazione ad occhi chiusi al test statico che hanno fatto segnare valori significativamente peggiori per il gruppo osservazionale. **Conclusioni:** anche con la numerosità del campione estremamente ridotta si è potuto notare come, chi ha subito l'operazione non abbia recuperato in modo ottimale i parametri di forza nonostante la ripresa dell'attività sportiva. Inoltre sono comparsi dei deficit significativi nella propriocezione post affaticamento nel gruppo di controllo e questo può far pensare che la fatica giochi un ruolo che andrebbe tenuto in considerazione sia in fase valutativa che durante la riabilitazione. Inoltre il fatto che questi deficit siano presenti in atleti che sono tornati allo sport anche da anni può indicare la necessità sia di trovare parametri validati

scientificamente di ritorno allo sport sia di proseguire il percorso riabilitativo anche quando si sia ripresa l'attività. Studi futuri potrebbero portare avanti queste linee di ricerca con numerosità campionaria più significativa in modo da meglio isolare le varie componenti del problema.

1.2 Abstract

Aim: the purpose of this study is to evaluate if neuromuscular fatigue influences proprioception in athletes who undergo primary ACL reconstruction. To do so, we recruit a group of people who had their knee operated and a control group of healthy subject

Materials and methods: after a literature searching we decided to test the voluntary legs strength using an isokinetic dynamometer and their proprioception using the Monopodal Static Riva's test using the Delos System. After those tests the volunteers complete a 3-minute fatigue protocol going up and down a step and then we tested again the postural stability. The data were elaborated by a statistician who search for statistically relevant results.

Results the tests show that the control group had a tendency significantly worse in the 180°/sec isokinetic test for the hamstrings and in the proprioceptive test with closed eyes. Whereas the healthy group scores a worst result about the size of the oscillation's angle. This was probably because they had suffered the effect of fatigue but not as much as the other group

Conclusion: even if the two group were too small to give us a strong statistic evidence it's possible to notice that those who return to sport after ACL reconstruction didn't recover all strengths parameter at its fullest. Also, it's notable that only the group of subject with an ACL reconstruction score worst after the fatiguing protocol and that probably imply that fatigue has a negative effect on proprioception that need further investigation to assure a safe return to sport to athletes that undergo ACL reconstruction.

2 Introduzione

Questa tesi nasce a seguito di una curiosità personale in merito ai criteri di ritorno all'attività sportiva post intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore del ginocchio. In particolare, dopo un'analisi iniziale della letteratura è stata rilevata una discrepanza sostanziale tra il meccanismo lesionale più frequente, ovvero la rottura senza contatto/contrasto con altri atleti, e il tipo di parametri selezionati per il ritorno allo sport.

Il motivo della perplessità è dato sostanzialmente dal fatto che, come riportato in letteratura, la maggior parte dei traumi avvengono ad attività sportiva già in corso mentre nel decidere se l'atleta può riprendere la sua attività lo si testa in condizioni di riposo ottimali. Quindi oltre a non esserci ad oggi un gold standard di riferimento per il ritorno all'attività sportiva, non sono stati trovati in letteratura gli effetti della fatica sulla funzionalità del neolegamento.

Da qui è venuta l'idea di andare ad analizzare se e come la fatica vada ad incidere sulla stabilità propriocettiva dei pazienti operati di ricostruzione di LCA che siano tornati a praticare attività fisica.

3 Background

3.1 Anatomia e fisiologia

I legamenti crociato anteriore (LCA) e posteriore (LCP) contribuiscono alla stabilità antero-posteriore e torsionale del ginocchio (Figura 1); raggiungono la massima tensione ai gradi estremi di movimento dell'articolazione e ne guidano l'artrocinematica. Nello specifico il LCA è intracapsulare ma extra-articolare in quanto la membrana sinoviale lo ricopre con una sua estensione, si inserisce nella zona intercondiloidea anteriore della tibia e si porta obliquamente in direzione postero superiore fino ad inserirsi sulla faccia mediale del condilo laterale del femore^[1]. Anatomicamente si può dividere il

legamento in due fascicoli, l'antero mediale ed il postero laterale in base alla loro inserzione tibiale.

La tensione delle fibre del LCA varia a seconda dei gradi articolari ma, sebbene alcune fibre mantengano un certo grado di tensione durante tutto il range, la maggior parte si tensiona via via che vengono raggiunti i gradi estremi di estensione [1]. In questa condizione si ha anche un tensionamento della capsula posteriore e un aumento di rigidità dei flessori del ginocchio. Questo insieme di meccanismi contribuisce a stabilizzare il ginocchio in special modo nelle attività in carico. Inoltre il LCA è il principale freno allo scivolamento postero-anteriore della tibia sul femore e limita l'intrarotazione tibiale in estensione [2]. Per queste sue condizioni il meccanismo traumatico più frequentemente descritto è quello della caduta in valgo e intrarotazione del ginocchio in carico [3].

Ha un'irrorazione di tipo terminale derivante dall'arteria genicolata ed è un fattore da tenere in considerazione perché influenza la possibilità di rigenerazione [1]

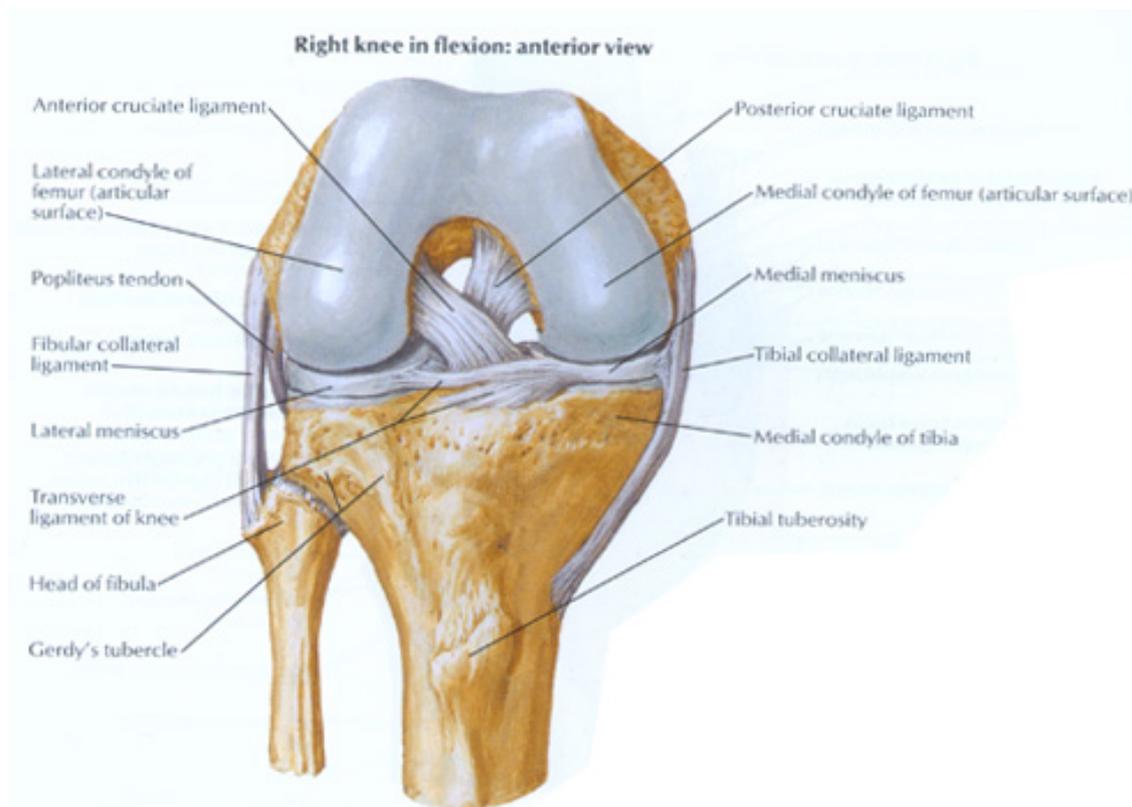


Figura 1 -Apparato legamentoso del ginocchio

Un altro aspetto da considerare è che le proprietà meccaniche del LCA si modificano sensibilmente al variare dell'età del soggetto presentando (Figura 2) perdita di resistenza meccanica già in un'età in cui ancora la pratica sportiva intensa è auspicabilmente presente. [4]

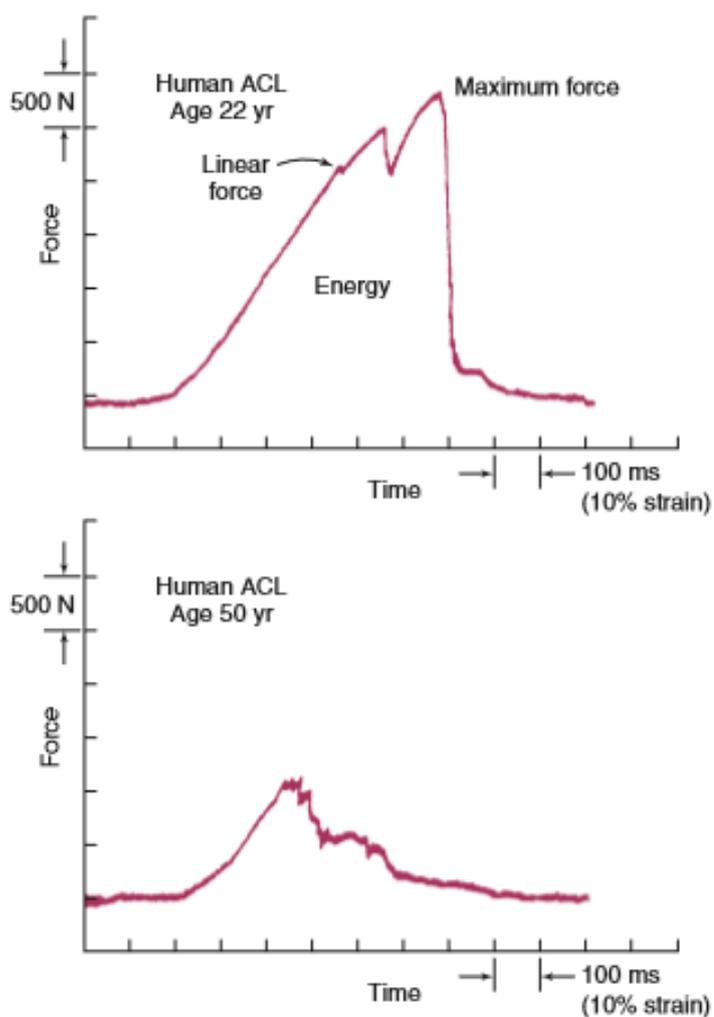


Figura 2 – caratteristiche meccaniche del LCA in soggetti di 22 e 50 anni

Il LCA inoltre ha differenze strutturali e meccaniche legate al genere in quanto presenta una maggior debolezza nel sesso femminile. [5]

3.2 Propriocezione

Definita per la prima volta da Sherrington nel 1906 come “il flusso di segnali che nasce dai propriocettori e raggiunge il midollo per dare origine ai riflessi” negli anni a questo termine sono stati attribuiti vari significati riguardanti aspetti diversi del controllo motorio (senso della posizione, cinestesia ecc.). La propriocezione costituisce la rappresentazione a livello cosciente del senso della posizione e del senso di movimento di un'articolazione; secondo gli studi di Riva i segnali che raggiungono la coscienza rappresenterebbero la milionesima parte del flusso di segnali propriocettivi che originano dalla periferia. [6]

Per avere un controllo dell'equilibrio efficiente, oltre ad un perfetto sistema di afferenze è necessario che le giuste efferenze trovino un sistema muscolo/scheletrico pronto a rispondere adeguatamente ai cambiamenti. Senza l'intervento della forza muscolare l'uomo tende quindi a cedere alla gravità e dunque a cadere. Questa continua condizione di instabilità favorisce una maggior dinamicità del sistema in quanto un sistema instabile si mette in movimento più facilmente. Quindi nell'uomo, come in molti animali, si ha una condizione di mobilità a discapito della stabilità. [6] [7]

La gestione dell'equilibrio e i meccanismi che la permettono diventano ancora più importanti quando, oltre alla “semplice” forza di gravità il corpo deve gestire anche il movimento e magari complesse situazioni sportive che spingono al limite tutti i sistemi e per fare ciò si basano sull'intervento coordinato e sinergico della componente archeopropriocettiva, visiva e vestibolare.

Il sistema archeopropriocettivo rappresenta l'intelligence, cioè un capillare servizio informativo periferico con sensori presenti in ogni distretto muscolo-tendineo-articolare, in grado di informare ad altissima velocità (utilizza le fibre nervose più grandi e veloci: 80-120 m/s) i centri nervosi a livello spinale e tronco-encefalico. Al tempo stesso questo sistema è coinvolto nella risposta efferente, perché dai fusi neuromuscolari dipende la possibilità di modulare finemente la risposta muscolare. Le reazioni posturali più precoci sono attivate dalle afferenze archeopropriocettive e vengono a mancare quando queste afferenze sono annullate. [6] [7] [8]

Il sistema visivo è un vero e proprio sistema di puntamento che consente di “ancorare” il corpo a punti di fissazione, migliorando la precisione del controllo posturale, basato sulle sole informazioni archeopropriocettive. A occhi aperti, infatti, le oscillazioni

lateralmente del capo non superano qualche millimetro, mentre ad occhi chiusi aumentano in ampiezza e frequenza. Le oscillazioni latero-laterali o antero-posteriori della testa comportano microspostamenti della rappresentazione sulla retina del punto di ancoraggio visivo. Il sistema visivo rileva i microspostamenti e attiva gli aggiustamenti posturali per riportare l'immagine nella posizione di partenza.

Il sistema vestibolare è il meccanismo più tardivo a entrare in gioco, perché presenta una soglia di attivazione più elevata. La maggior latenza di questo sistema consente al "sistema di precisione" (archo-proprio-cettivo + visivo) di gestire gran parte delle situazioni posturali in modo più raffinato. Rappresenta pertanto un mezzo di "emergenza" che sovrasta gli altri due sistemi quando i movimenti del capo superano una certa ampiezza e velocità.

Nella strategia vestibolare, i rapidi cambiamenti di posizione e le accelerazioni a cui è sottoposta la testa fanno prendere il sopravvento a questo sistema che diventa pertanto il gestore primario dell'instabilità. Si tratta di un controllo impreciso, con latenze superiori, basato su continui movimenti e contromovimenti del tronco, delle anche e degli arti superiori, sempre eccessivi rispetto alla situazione biomeccanica da gestire.

Nella strategia di compenso con gli arti superiori il soggetto mantiene in quiete relativa il tronco usando le braccia come timone. Questa strategia viene utilizzata in presenza di una strategia archo-proprio-cettivo-visiva inadeguata, per stabilizzare il sistema e limitare l'intervento vestibolare.

Al tempo stesso in presenza di un controllo posturale grossolano, qualunque ne sia l'origine, sarà presente una stabilità funzionale inadeguata dell'arto inferiore. In presenza di strategie posturali grossolane, anche se l'arto è anatomicamente sano, non può infatti avvenire una taratura raffinata dei meccanismi stabilizzatori dell'arto inferiore. Quindi un controllo posturale inadeguato è sempre indice di una instabilità funzionale dell'arto inferiore anche in assenza di patologia distrettuale. [6] [9] [7]

La rottura del LCA comporta la perdita di afferenze proprio-cettive in quanto vengono meno i recettori del legamento ma è stato visto come vi sia un disturbo nella percezione del movimento e del senso di riconoscimento articolare anche nel ginocchio non interessato dalla lesione del LCA [10] [11] [12]

Uno studio di Piontek e colleghi del 2012 ha evidenziato, utilizzando il test statico Delos come vi fosse una perdita significativa di propriocezione ad occhi chiusi nell'arto

inferiore con lesione totale di LCA rispetto al controlaterale e come il livello propriocettivo dell'arto lesionato fosse inferiore a quello dei soggetti di controllo. È emerso inoltre che anche nei soggetti sani vi era una differenza significativa tra arto dominante e non nel test statico ad occhi chiusi mentre non sono comparse differenze rilevanti per quanto riguardava la parte di test ad occhi aperti. Questo li ha portati a concludere come l'aspetto di agganciamento visivo diventi particolarmente importante nel momento in cui si dovesse avere una perdita della componente archeopropriocettiva data dalla lesione del LCA [10]

3.3 Principali tecniche operatorie

L'LCA a differenza ad esempio del legamento collaterale mediale non risponde bene al trattamento conservativo in quanto, per via della sua irrorazione terminale, ha una scarsa capacità di guarigione. Questo rende spesso necessaria la ricostruzione chirurgica di tale legamento al fine di ripristinare la stabilità del ginocchio, in particolar modo negli sportivi che hanno richieste funzionali elevate.

Attualmente non sono presenti criteri rigidi per la selezione del paziente [13] ma si tende a operare chi presenta:

- instabilità invalidante a seguito della lesione completa del LCA
- lassità cronica
- frequenti episodi di cedimento che non rispondono al trattamento conservativo
- positività ai test clinici
- lesioni associate
- partecipazione ad attività intense

Negli ultimi 30 anni si è assistito ad un'evoluzione continua del trattamento chirurgico delle lesioni del LCA che sta andando sempre più verso un approccio mini-invasivo.

Inoltre è stato dimostrato che la ricostruzione del LCA riduce il rischio di sviluppare danni da alterata usura alle altre strutture del ginocchio come ad esempio i menischi o la cartilagine articolare ed è stato quindi stimato come sia più economico ed efficiente

operare (qualora il paziente rientri nei criteri sopra citati) piuttosto che affidarsi a strategie conservative. [14] [15] [16]

Le strategie operatorie più frequentemente utilizzate prevedono l'uso di autotrapianti, il trapianto da donatore o l'inserimento di un legamento artificiale.

Per quanto riguarda i trapianti non sintetici si hanno tre possibili scelte ovvero l'uso di un trapianto osso-tendine rotuleo-osso (Bone-Patellar Tendon-Bone B-PT-B), di un trapianto dal tendine rotuleo o del quadricipite ed infine l'uso di un trapianto prelevato dalla componente tendinea di semitendinoso e gracile (SemiTendinosus and Gracilis STG). [13]

I trapianti autologhi sono risultati essere quelli più sicuri da un punto di vista di incidenza di recidiva rispetto a quelli eterologhi (allograpianto) (4,3% contro il 12,7% dopo 4 anni) mentre nella scelta tra B-PT-B e STG i pareri sono contrastanti in quanto secondo alcuni è da preferirsi la scelta del tipo B-PT-B in quanto più stabile e con meno incidenza di recidive mentre altri autori sostengono che la scelta del trapianto STG sia da preferire in quanto espone a minor rischio di dolore anteriore del ginocchio e addirittura parrebbe che dopo 10-15 anni dall'intervento gli outcome degli operati con B-PT-B tendano a diminuire. [17]

In base al tipo di intervento utilizzato quindi ci saranno vantaggi e svantaggi diversi da tenere in considerazione nella fase post operatoria ma è importante sottolineare che il risultato finale atteso dovrebbe essere lo stesso ovvero il ritorno alla piena funzionalità del ginocchio.

3.4 Principali strategie riabilitative

Ormai da anni la riabilitazione post ricostruzione di LCA segue dei protocolli tali per cui non vi sono più lunghe fasi di immobilizzazione del ginocchio (in passato si poteva arrivare a 6-8 settimane di immobilizzazione con apparecchio gessato) o periodi prolungati di carico protetto, grazie al progredire delle tecniche e ai vantaggi di un approccio riabilitativo precoce. Il razionale su cui sono basate le attuali linee guida per la riabilitazione del crociato è che un legamento ben tensionato e ancorato non solo è abbastanza forte da sopportare il carico ma, anzi, ne ha un giovamento perché forze corrette incidono positivamente sull'orientamento delle fibre di collagene che compongono l'impianto.

Un aspetto particolarmente importante da considerare è che, anche se in letteratura l'approccio riabilitativo “accelerato” è quello descritto più frequentemente, non vi è uniformità di parametri da rispettare o di esercizi da proporre.

Alcuni punti cardine degli attuali protocolli sono il trattamento nelle prime fasi post-operatorie della limitazione articolare e la concessione del carico parziale o a tolleranza. Si stanno sempre più inoltre implementando esercizi di recupero funzionale e neuromuscolare. Questo consente ovviamente una riduzione sensibile dei tempi di ritorno all'attività rispetto ai 9-12 mesi del passato. [18]

Ci si orienta sempre più verso percorsi riabilitativi basati sul raggiungimento di obiettivi piuttosto all'adozione di protocolli standardizzati che non rispondono alla necessità di appropriatezza dell'intervento riabilitativo

3.5 Parametri per il ritorno allo sport

Questo è uno dei punti fondamentali che hanno indirizzato verso questo studio in quanto in letteratura è riportato come vi sia forte incertezza su quali debbano essere i parametri per il ritorno alla pratica dell'attività sportiva al termine della riabilitazione post ricostruzione di LCA.

Barber, Noyes e colleghi in una review del 2011 hanno preso in esame 264 articoli sul ritorno all'attività sportiva post intervento per cercare di ottenere una serie di parametri validati scientificamente ma tra tutti gli studi, 105 (40%) non hanno indicato alcun criterio di ritorno, 84 (32%) hanno utilizzato solo il tempo trascorso dall'intervento come discriminante, 40 (15%) hanno riportato oltre al tempo dei criteri soggettivi e solamente 35 (13%) ha riportato una lista di parametri obiettivi. Inoltre non tutti questi studi hanno riproposto tutti gli stessi parametri (test isocinetici di forza (25 studi), simmetria tra i due arti inferiori nei test di salto monopodalico (10 studi) versamento articolare o limitazioni al ROM (15 studi). [19]

La terza edizione italiana del Kisner Colby riporta come criteri per il ritorno all'attività con alte richieste:

- assenza di dolore e versamento
- AROM completo
- forza del quadricipite tra l'85% ed il 90% dell'arto non leso oppure rapporto torque/massa corporea del 40% e 60% per gli uomini e del 30% e 50% per

le donne (misurati rispettivamente a 300°/sec e 180°/sec tramite l'uso di un macchinario isocinetico)

- forza degli ischiocrurali al 100% rispetto al lato non leso
- rapporto ischiocrurali/quadricepiti > 70%
- non instabilità postoperatoria
- test ortopedici negativi
- stabilità del ginocchio misurata con l'artrometro < 3mm di differenza tra le ginocchia
- test propriocettivi al 100%
- test funzionali >85% o 90% del controlaterale
- un risultato accettabile ai questionari sullo stato di salute del ginocchio (IKDC)

3.6 Rischio di una seconda lesione

Il rischio d'una seconda lesione è un aspetto da tenere in gran considerazione durante la riabilitazione ed è una preoccupazione comune a molti studi che hanno analizzato il follow up a breve e lungo termine dell'operazione di ricostruzione del LCA. [20] [21] [22] In alcuni studi è emerso come spesso vi sia un rischio di lesione maggiore al ginocchio non operato piuttosto che a quello che ha già subito un intervento. Non sono ancora chiari i principali fattori contribuenti all'aumento del rischio e ciò rende difficile attuare strategie riabilitative di efficacia certa, ma è fondamentale porre particolare attenzione soprattutto nel momento in cui si deve dare il via libera ad attività ad alto rischio per le ginocchia. [22] Vi è infatti la possibilità che molti atleti non abbiano recuperato un livello di controllo neuromuscolare sufficiente al ritorno ad attività intense. [23] [24]

Studi di follow up a lungo termine hanno evidenziato come il rischio di sviluppare osteoartrite (OA) sia 10 volte maggiore dopo una lesione del LCA con picchi di probabilità del 40%-90% di svilupparla entro i 7-12 anni dall'intervento [14].

3.7 Effetti della fatica

Il concetto di fatica è ampio e di non semplice comprensione in quanto interessa in maniera diversa ma trasversale vari sistemi. È grossolanamente diviso in fatica centrale e periferica andando a differenziare con questa terminologia i principali sistemi coinvolti. La fatica viene definita “centrale” quando è imputabile a meccanismi che originano a livello del sistema nervoso centrale ovvero da quelle strutture i cui compiti vanno dall'ideazione del movimento, alla conduzione dell'impulso nervoso fino al motoneurone spinale. È definita fatica “periferica” quando i fenomeni che la determinano si verificano, nella placca motrice o nella fibrocellula muscolare scheletrica. [25] [26]

La fatica centrale è quindi espressione della diminuzione del “drive” neuronale ai muscoli.

Con il concetto di fatica periferica si intende invece il vero e proprio affaticamento dell'unità contrattile dato ad esempio dalla deplezione delle sostanze energetiche (ATP, glicogeno) o dall'accumulo di cataboliti che vanno ad inficiare i normali meccanismi di contrazione come ad esempio l'acido lattico. [26]

A livello di arti inferiori e gestione della postura vari studi hanno dimostrato gli effetti avversi della fatica sulla gestione di richieste come l'atterraggio dopo un salto in basso o dopo un salto in alto in monopodalica andando ad esempio a rilevare come vi sia una riduzione significativa degli angoli di flessione all'anca ed al ginocchio dopo l'affaticamento [27] [28] mentre uno studio di Dalton et al. del 2011 [29] ha rilevato come nei soggetti operati di LCA si abbia, dopo 20 minuti di corsa sul treadmill ad intensità aerobica una riduzione della distanza di salto in lungo monopodalico ed ha ipotizzato come questo deficit possa essere un meccanismo di protezione per l'incapacità di gestire la stabilizzazione dinamica della rotazione esterna di tibia che si viene a generare al momento dell'atterraggio. Un altro meccanismo di protezione del LCA emerso in altri studi che si sono interessati della fatica è quello di ridurre l'adduzione ed intrarotazione dell'anca al momento del contatto con il suolo e uno studio di Mclean e Samorezov del 2009 [30] ha rilevato come la fatica centrale giochi un ruolo importante nelle strategie di gestione della dinamica di movimento.

Invece uno studio di Webster ed all del 2012 non ha rilevato differenze significative nella cinematica di atterraggio in monopodalica post affaticamento tra chi ha subito l'intervento di ricostruzione di LCA e il gruppo di controllo [31].

La fatica inoltre sembra essere direttamente correlata alla perdita della componente propriocettiva derivante dai fusi neuromuscolari e andrebbe dunque considerata con particolare attenzione nel momento in cui anche le afferenze sensoriali provenienti dai recettori legamentosi vengono meno a seguito della rottura dello stesso. [32]

4 Scopo del lavoro

4.1 Successo riabilitativo vs ritorno allo sport

Molte review, tra cui quella di Sylvia Czuppon, Brad A. Racette et. al del 2014 [33] sottolineano come vi sia un alto tasso di abbandono dello sport negli atleti operati di crociato e come soprattutto, le evidenze a supporto dei criteri clinici utilizzati per consentire il ritorno all'attività da parte dei pazienti non siano sufficientemente studiate. Inoltre, questa ed altre review mettono in evidenza il fatto che spesso quello che condiziona la scelta degli atleti nel non tornare all'attività è la paura di una nuova lesione a prescindere da parametri fisici o funzionali di outcome riabilitativo [23] [19] [33]. Lentz e collaboratori hanno recentemente osservato come il 45% dei pazienti non torni al livello sportivo espresso prima della lesione del LCA e di questi il 45% riferisce sensazioni di kinesiofobia e il 68% di sentire il ginocchio instabile [34]. Ardern et al nella loro review del 2011 [35] riportano un indice di successo riabilitativo pari all'85% tenendo in considerazione outcome funzionali e del 90% considerando invece quelli fisiologici (forza del quadricipite, lassità...). Di contro solo il 63% dei soggetti è tornato a praticare ad un livello paragonabile a quello pre-lesione. Questi dati offrono spunti di riflessione su come la riabilitazione, specialmente in atleti con alte richieste prestate, debba essere affrontata in ottica multidisciplinare e trasversale e sia un campo di studio che merita ulteriori e necessari approfondimenti. Molti studi recenti hanno identificato problemi nella cinematica del cammino, nella forza e nelle funzionalità neuromuscolari in persone con esiti di lesione del LCA, seppure in ambito non specificatamente sportivo.

Studi recenti hanno parzialmente confutato quello che si sosteneva fino a non molti anni fa, ovvero che vi fosse un deficit marcato di propiocezione a seguito della ricostruzione del LCA; alcune recenti review [24] [36] ipotizzano che questi dati potrebbero essere legati al miglioramento delle tecniche chirurgiche e degli approcci riabilitativi che permetterebbero di eliminare i grossolani deficit che esistevano in passato

attualmente sono disponibili strumenti e metodologie che permettono di indagare un controllo propriocettivo in modo ben più preciso rispetto al passato consentendo di individuare, trattare e verificare i risultati in presenza di deficit non rilevabili con test non strumentali.

5 Ricerca bibliografica

Prima di andare a sviluppare il protocollo di lavoro è stata effettuata una ricerca in bibliografia per valutare l'attuale stato dell'arte.

Sono stati esclusi gli studi che, per titolo o abstract, non sono stati ritenuti coerenti ai fini del presente lavoro, gli articoli in lingue diverse dall'inglese o dall'italiano e gli articoli a pagamento/non scaricabili tramite Proxy Universitario UNIPD.

Per la ricerca ci si è concentrati sulle seguenti stringe/termini di ricerca di *PubMed* e *PEDro*: *Anterior Cruciate Ligament (MESH) AND Proprioception, ACL reconstruction AND (Outcomes or Return to Sport), ACL reconstruction AND (Proprioception or Joint Position Sense or Postural Stability), Neuromuscular Fatigue, "Effect of Fatigue on ACL", ACL reconstruction AND Neuromuscular Fatigue, Legs AND Fatigue AND Protocol, Fatigue AND (Proprioception or Joint Position Sense or Postural Stability)*

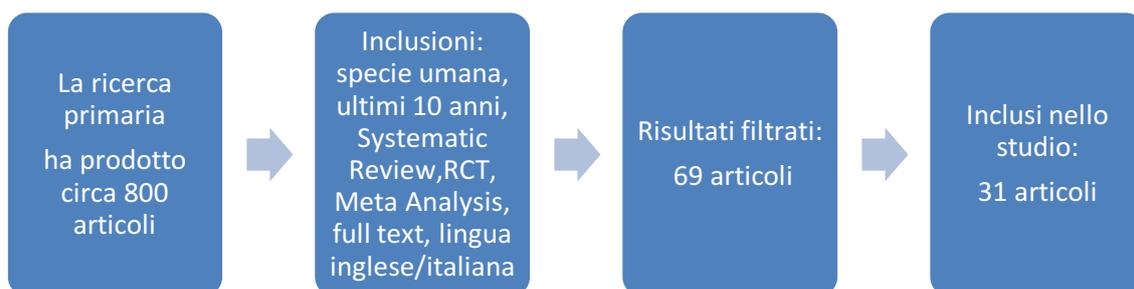


Figura 3 – Schema riassuntivo della ricerca bibliografica

6 Materiali e metodi

6.1 Parametri testati

Nello scegliere i parametri da testare ci si è rifatti ad alcuni parametri presenti in letteratura come outcome riabilitativo e quindi si è andati a testare la forza dei soggetti e la loro stabilità posturale (test di forza all'isocinetica e controllo posturale mediante l'uso di un test statico capace di misurare le oscillazioni del paziente)

6.1.1 Isocinetica

Per valutare la forza dei soggetti testati è stato usato un macchinario isocinetico che ha permesso di misurare la forza degli arti inferiori in maniera oggettiva ed estremamente precisa. Ai soggetti in posizione seduta con anca flessa a 90° è stato chiesto di eseguire una serie di flessione estensioni di ginocchio in modo da poter rilevare sia la forza del quadricipite che dei flessori (*Allegato 1*). Il macchinario ha permesso di testare una serie di parametri di coppia tra cui picco di coppia, lavoro per ripetizione, potenza media per ripetizione sia in valore assoluto che normalizzati al peso del soggetto. Sono stati inoltre rilevati anche parametri temporali come il tempo del picco di coppia, la durata del picco ed il tempo di decadimento.

Queste misurazioni sono state eseguite ad una resistenza di 60°/sec, 120°/sec, 180°/sec e 240°/sec (Figura3) per valutare vari aspetti di espressione della forza (forza potente o forza rapida). Gli arti inferiori sono stati testati individualmente e durante l'esecuzione delle prove ai soggetti è stato chiesto un impegno massimale anche tramite incitazioni verbali da parte dell'operatore

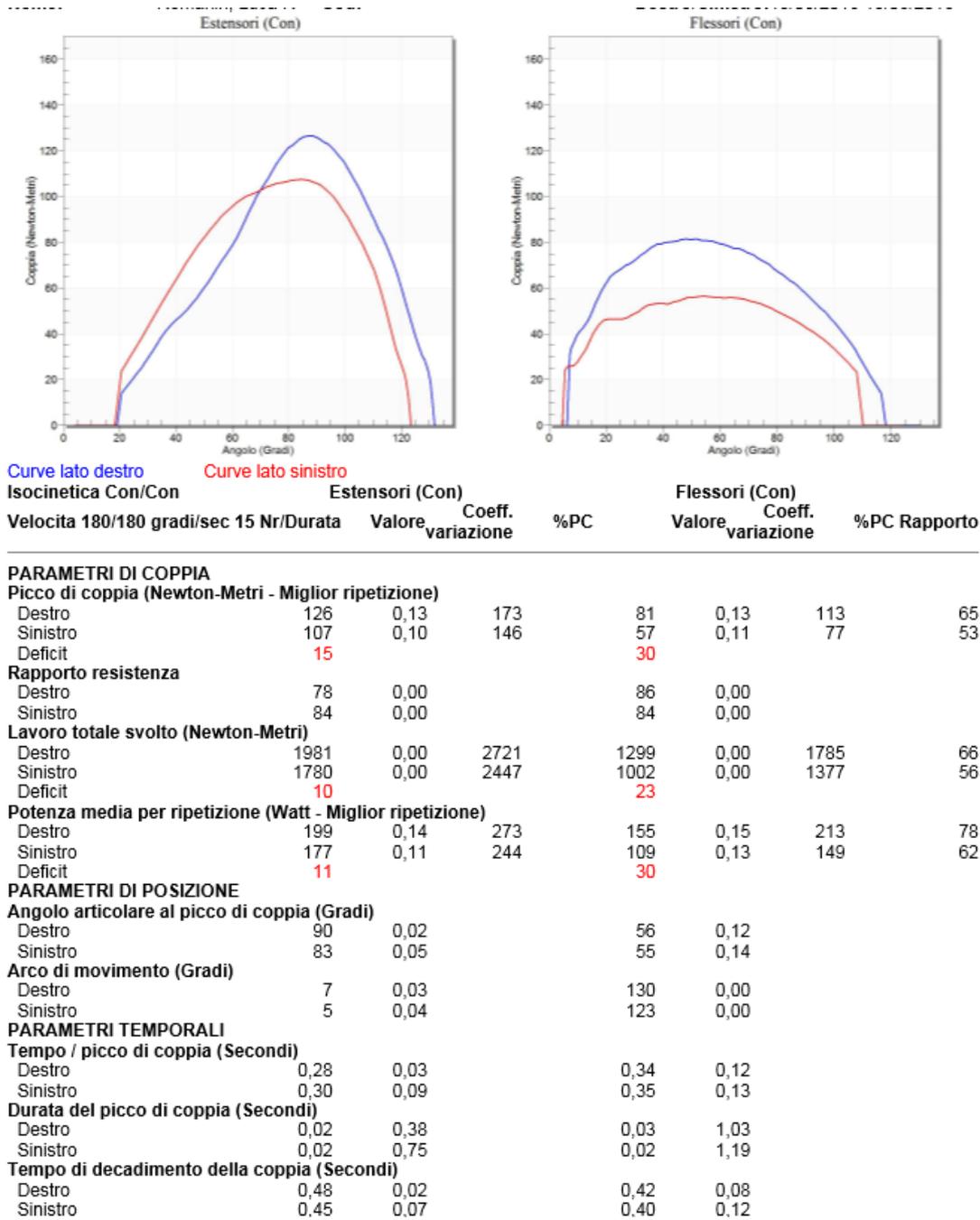


Figura 4 – Grafico di un test isocinetico di flesso-estensione di ginocchio a 180°/sec

6.1.2.1 Delos

Per la valutazione del livello propriocettivo dei soggetti testati è stato utilizzato il “test Riva statico propriocettivo monopodalico” che si avvale della strumentazione Delos (Figura 4). Il test consiste in una prova di equilibrio monopodalico con un arto in appoggio e l’altro flesso al ginocchio. Di fronte al soggetto è posta una barra munita di

senso ad infrarossi alla quale ci si può appoggiare durante il test in caso di perdita di equilibrio ma che rileva il contatto in modo da tenerne conto poi nel calcolo dell'indice di stabilità. Il soggetto viene valutato prima durante l'esecuzione di una prova per arto ad occhi aperti di 20" e successivamente gli vengono proposte due prove per arto, sempre di 20", ad occhi chiusi alternando gli arti in appoggio (*Allegato 2*). Le oscillazioni del baricentro sono misurate dal DVC (Delos Vertical Controller) un lettore posturale che rileva i livelli di stabilità del soggetto e che registra e visualizza in tempo reale i movimenti sul piano frontale e sagittale rispetto alla verticale.



Figura 5 – Macchinario Delos® per la rilevazione della stabilità propriocettiva

Un soggetto in appoggio monopodalico statico gestisce le situazioni di instabilità (ad occhi aperti e ad occhi chiusi) utilizzando differenti strategie: precauzionale, visiva, propriocettiva e vestibolare. Dal confronto dei risultati di un semplice test statico eseguito

in appoggio monopodalico a terra in due differenti condizioni sensoriali (Occhi Aperti ed Occhi Chiusi) è possibile valutare:

- la strategia precauzionale, che entra in gioco nel momento in cui il soggetto (normalmente con bassi livelli di motricità o con livelli di stabilità funzionale altamente compromessi) non è in grado di gestire autonomamente l'appoggio monopodalico statico senza l'aiuto di un supporto esterno (barra-sensore);
- la strategia visiva che consente una quantificazione del guadagno visivo (o dipendenza visiva) cioè quanto la stabilità del soggetto dipenda dall'informazione visiva;
- l'intervento della strategia propriocettiva che è la base del controllo posturale
- l'intervento della strategia vestibolare (capacità di gestire le situazioni di emergenza/attivazione del sistema vestibolare di emergenza).

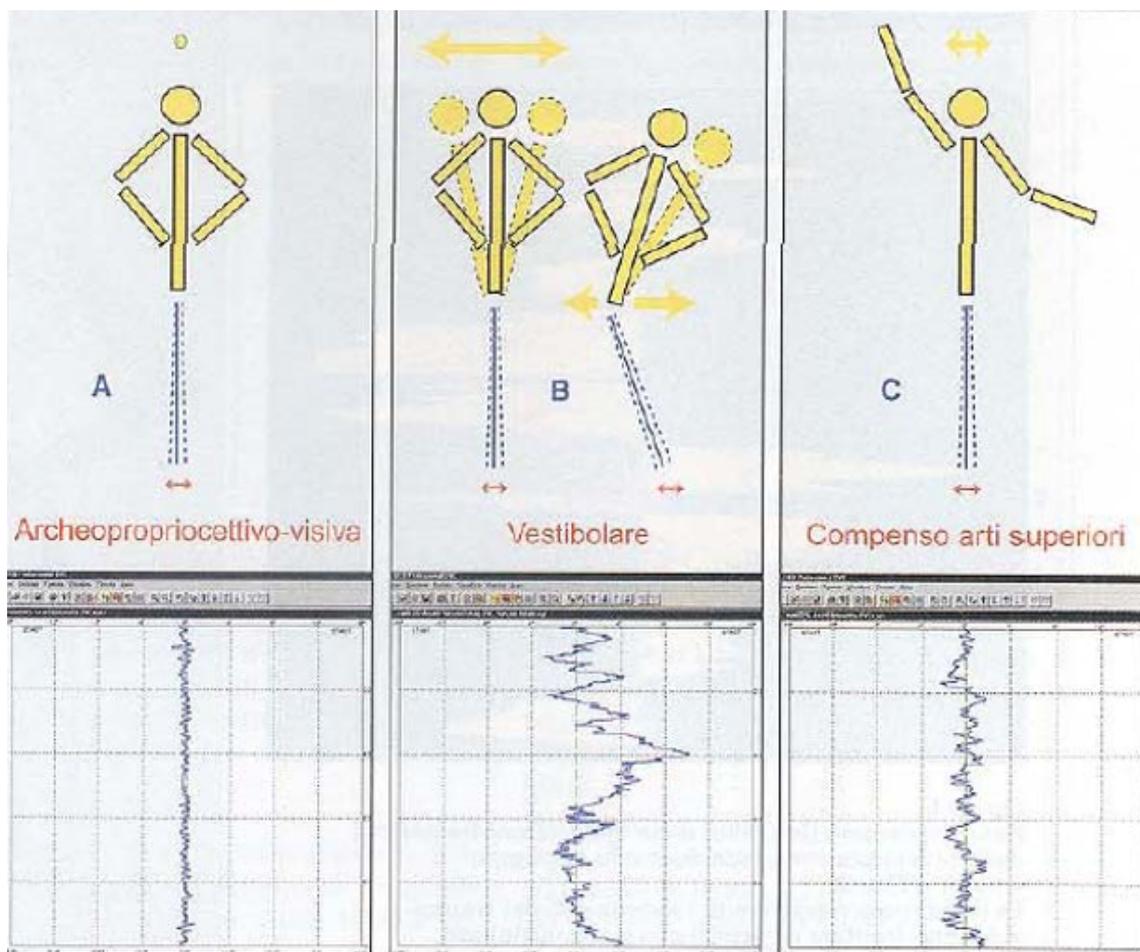
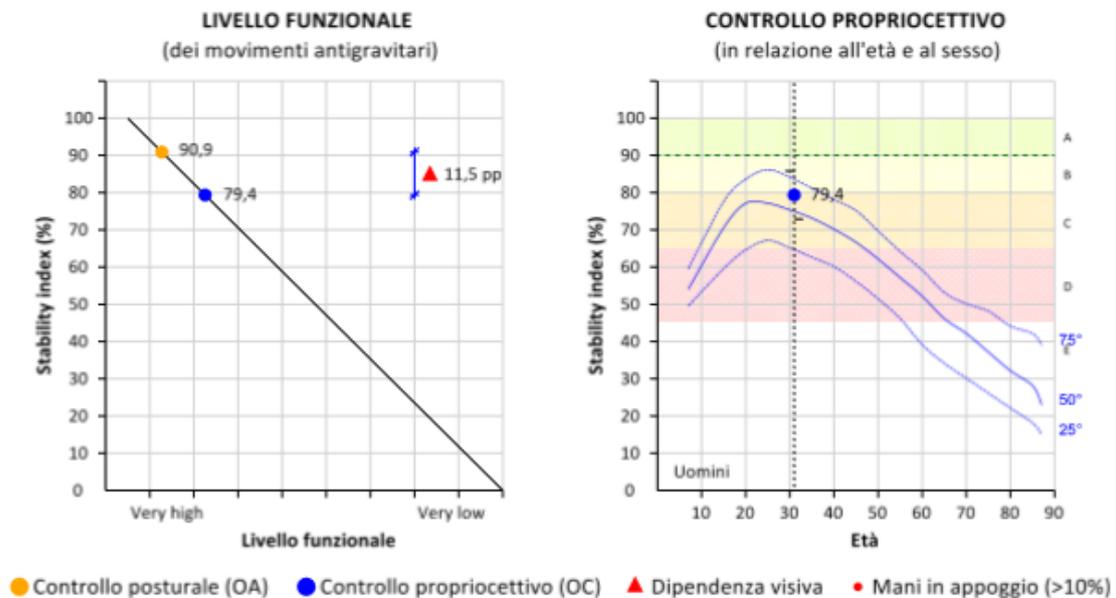


Figura 6 – Schematizzazione delle strategie antigravitatarie

Il referto identifica quindi:

- la strategia posturale statica prevalente;
- i livelli di intervento della strategia propriocettiva (nella norma, superiori/inferiori alla norma, etc.);
- la dipendenza visiva (assente, bassa, media, elevata, etc.);
- la strategia vestibolare (capacità di attivazione del sistema vestibolare) (presente, assente).

TEST DI RIVA STATICO (PROPRIOCETTIVO) (monopodalico)



	Sinistro			Destro			Average		
	OA	OC migliore	VG	OA	OC migliore	VG	OA	OC migliore	VG
Stability Index (%)	91	85.8	5,2	90,9	72,9	18	90,9	79,4	11,6
Autonomy (%)	100	100	0	100	85,2	14,8	100	92,6	7,4
Max. time without hand support (s)	20	20	-	20	8,2	-	20	14,1	-
Plx - Postural instability x (°)	0,6	1,1	-0,5	0,6	1,4	-0,8	0,6	1,3	-0,6
Ply - Postural instability y (°)	0,8	1,1	0,3	0,7	1	0,2	0,7	1	0,3
Plxy - Postural instability xy (°)	1	1,7	0,7	1,1	1,9	0,8	1	1,8	0,7
Average axis x (°)	2	1,5	-	-0,2	-1,5	-	-	-	-
Average axis y (°)	-0,6	1,7	-	-0,3	2,8	-	-	-	-
Average axis xy (°)	2,3	2,6	-	1,1	3,6	-	-	-	-
Plxy without hand support (°)	1	1,7	-0,7	1,1	1,8	-0,7	1	1,7	-0,7
SD Acceleration x	0,28	0,32	-	0,3	0,33	-	0,29	0,33	-
SD Acceleration x (without hand support)	0,28	0,32	-	0,3	0,33	-	0,29	0,32	-

EO = Eyes open; EC = Eyes closed; VG = Visual Gain (Visual Dependence)

Figura 7 – Prima parte del referto di un test Riva statico monopodalico

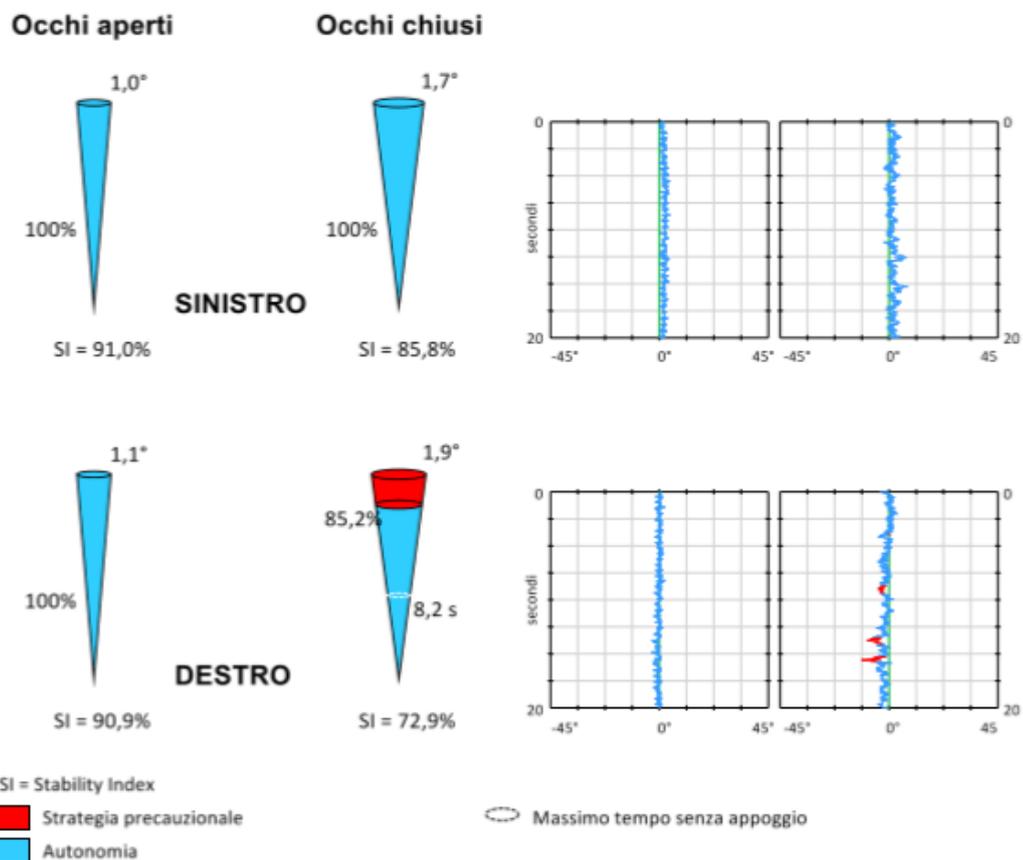


Figura 8 – Seconda parte del referto di un test Riva statico monopodalico

6.2 Protocollo fatica

Si è cercato in letteratura un protocollo di affaticamento ma non ne sono stati trovati di universalmente riconosciuti né di attuabili nella struttura in cui sono stati svolti gli altri test. E dunque, visto lo scopo della tesi di andare a ricercare differenze nel livello propriocettivo prima e dopo la comparsa di fatica ai partecipanti del test, dopo aver svolto le prove all'isocinetica è stato chiesto di eseguire per tre minuti la salita e la discesa da una pedana di altezza regolabile in base alla statura del soggetto in modo da far compiere all'anca una flessione di circa 90°. Ogni 30" l'operatore invitava il soggetto a cambiare l'arto di salita in modo da avere un interessamento il più uniforme possibile di entrambi gli arti e incitava il soggetto ad andare alla massima velocità possibile. Si è scelto di eseguire questa forma di affaticamento per gli arti inferiori per i seguenti motivi: praticità

di esecuzione nello studio di fisioterapia, brevità di esecuzione e soprattutto perché già noto a tutti i partecipanti allo studio in quanto è ciò che viene richiesto durante la visita medica per la pratica sportiva ed essendo tutti i partecipanti allo studio sportivi in varie discipline lo avevano già svolto in altre occasioni come da loro confermato.

6.3 Selezione del campione

Per questo studio sono stati reclutati soggetti di entrambi i sessi che praticino sport almeno tre volte a settimana. I volontari sono stati divisi in due gruppi in base al fatto che abbiano o meno subito un intervento di ricostruzione del LCA di un solo ginocchio (*Allegati 3 e 4*). Si è scelto di includere partecipanti che abbiano subito l'intervento ad un solo ginocchio in modo da poter avere anche una comparazione intra personale e non solo interpersonale. Inoltre nel definire i parametri di inclusione ed esclusione di questo studio si è deciso di non tenere conto del tipo di intervento utilizzato per riparare la lesione in quanto, a prescindere dal tipo di intervento scelto, l'abilitazione allo sport viene data a tutti i soggetti operati e dunque il livello di controllo neuromotorio e stabilità dovrebbero essere ottimali. Inoltre la numerosità campionaria non avrebbe consentito di indagare eventuali correlazioni tra i risultati rilevati e la tipologia di intervento

6.3.1. Criteri di inclusione ed esclusione

Criteri di inclusione:

<ul style="list-style-type: none"> • età compresa tra i 17 ed i 40 anni • pratica di uno sport con almeno due/tre allenamenti a settimana 	
<p>Per il gruppo di controllo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • nessuna storia di interventi agli arti inferiori 	<p>Per il gruppo osservazionale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ricostruzione del LCA di un solo ginocchio • ritorno all'attività sportiva incondizionata

Tabella 1- Criteri di inclusione

Criteri di esclusione:

<ul style="list-style-type: none">• Presenza di dolore agli arti inferiori	
Per il gruppo di controllo: <ul style="list-style-type: none">• Storia di lesioni o di interventi alle ginocchia	Per il gruppo osservazionale: <ul style="list-style-type: none">• Interventi diversi dalla ricostruzione del LCA di un solo ginocchio

Tabella 2 - Criteri di esclusione

6.4 Analisi statistica

Ai dati ottenuti con l'isocinetica e con il Delos prima e dopo l'affaticamento è stato applicato da uno statistico il t-test [37] che consente di determinare se il valore medio di una distribuzione si discosta significativamente da un determinato valore di riferimento.

La numerosità ideale del campione calcolata dall'addetto alla statistica sarebbe stata di minimo 18 elementi per gruppo.

7 Risultati

7.1 Evidenza statistica

Dai calcoli effettuati dallo statistico sono emersi i seguenti risultati per quanto riguarda le rilevazioni della forza con l'isocinetica:

Statistica analizzata	Il test segnala che	P-value
scarto assoluto PDC flessori	Significativamente maggiore per i soggetti operati	0,095793
scarto quadratico PDC flessori	Significativamente maggiore per i soggetti operati	0,06503
scarto quadratico PDC flessori normalizzato al peso	Significativamente maggiore per i soggetti operati	0,087288
Scarto assoluto della durata del PDC degli estensori	Significativamente maggiore per i soggetti operati	0,056031
scarto quadratico della durata del PDC degli estensori	Significativamente maggiore per i soggetti operati	0,033357

PDC= picco di coppia

Tabella 3 – Analisi statistica dei test di forza.

Per quanto riguarda gli indici di stabilità propriocettiva ottenuti con il sistema Delos i risultati che hanno mostrato un'evidenza statistica sono i seguenti:

Statistica analizzata	Il test segnala che	P-value
Scarto quadratico post affaticamento OC migliore	Significativamente maggiore per i soggetti operati	0,073322
Scarto quadratico post affaticamento autonomia VG	Significativamente maggiore per i soggetti operati	0,073322
Scarto assoluto post affaticamento angoli	Significativamente maggiore per i soggetti sani	0,06071

OC= occhi chiusi VG= visual gain

Tabella 4 – Analisi statistica dei test propriocettivi.

Da questi risultati si può notare come, in contrasto con quanto si dovrebbe avere al termine di una riabilitazione post intervento di ricostruzione del LCA, perdurino deficit significativi nei picchi di forza dei muscoli flessori di ginocchio testati a 180°/sec e nella durata del PDC degli estensori anche andando a considerare i risultati normalizzati al peso dei soggetti.

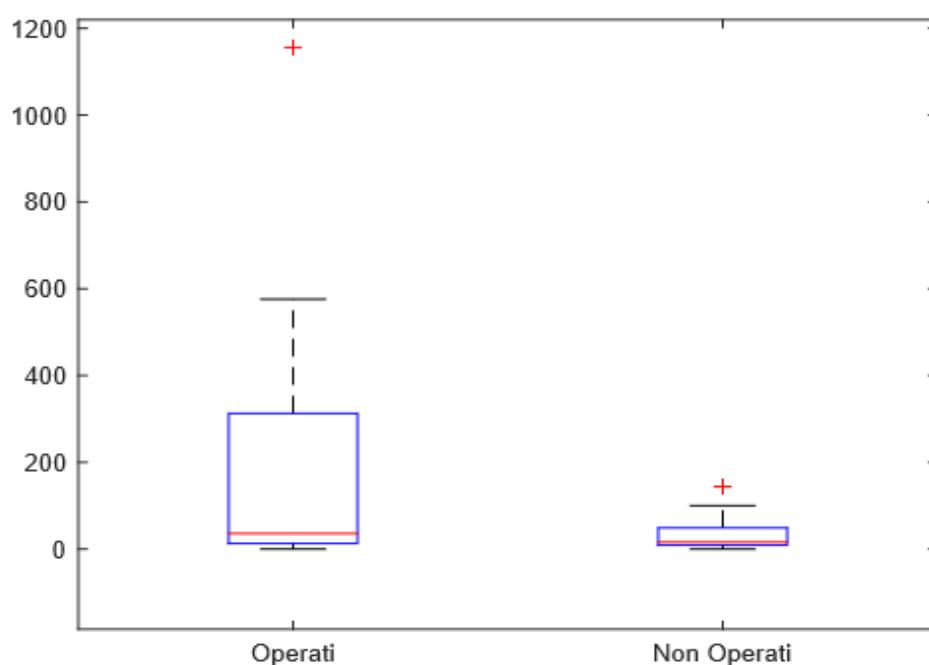


Grafico 1 – Rappresentazione dello scarto quadratico del picco di coppia dei flessori a 180°/sec al test isocinetico

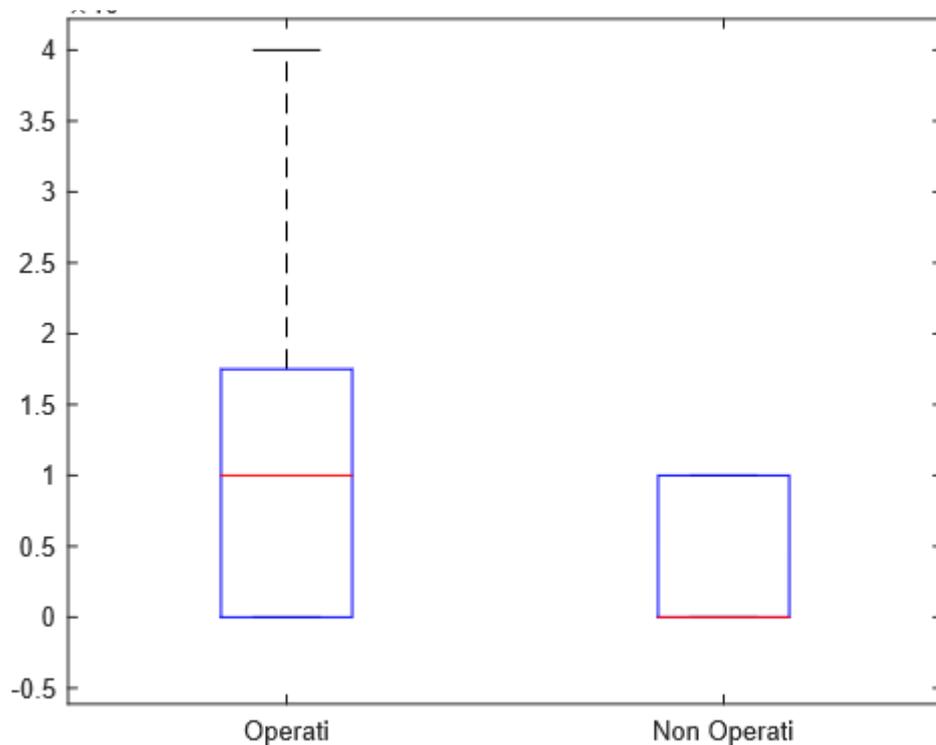


Grafico 2 – Rappresentazione dello scarto quadratico della durata del picco di coppia degli estensori a 180°/sec al test isocinetico

Per quanto riguarda i dati relativi alla propriocezione non si hanno differenze statisticamente significative tra i due gruppi testati nelle prove pre affaticamento mentre compare una differenza statisticamente rilevante nei dati post-affaticamento in quanto nei soggetti operati compare una maggior differenza per quanto riguarda il valore di autonomia migliore ad occhi chiusi e una maggior differenza sul valore di dipendenza visiva rispetto ai soggetti sani.

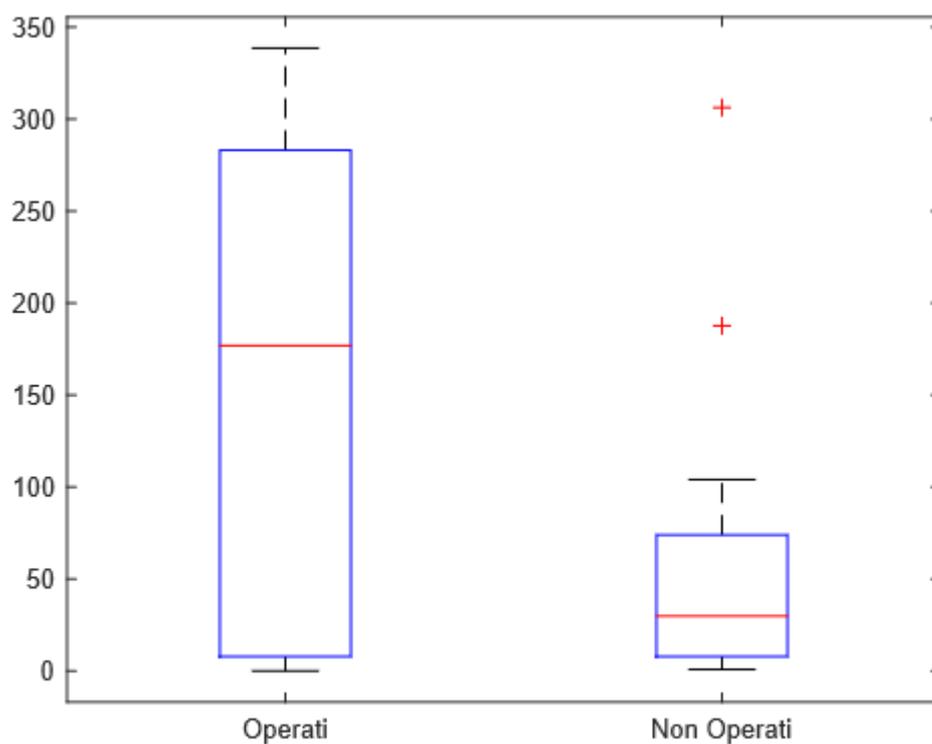


Grafico 3- rappresentazione dello scarto quadratico dell'indice di autonomia post affaticamento

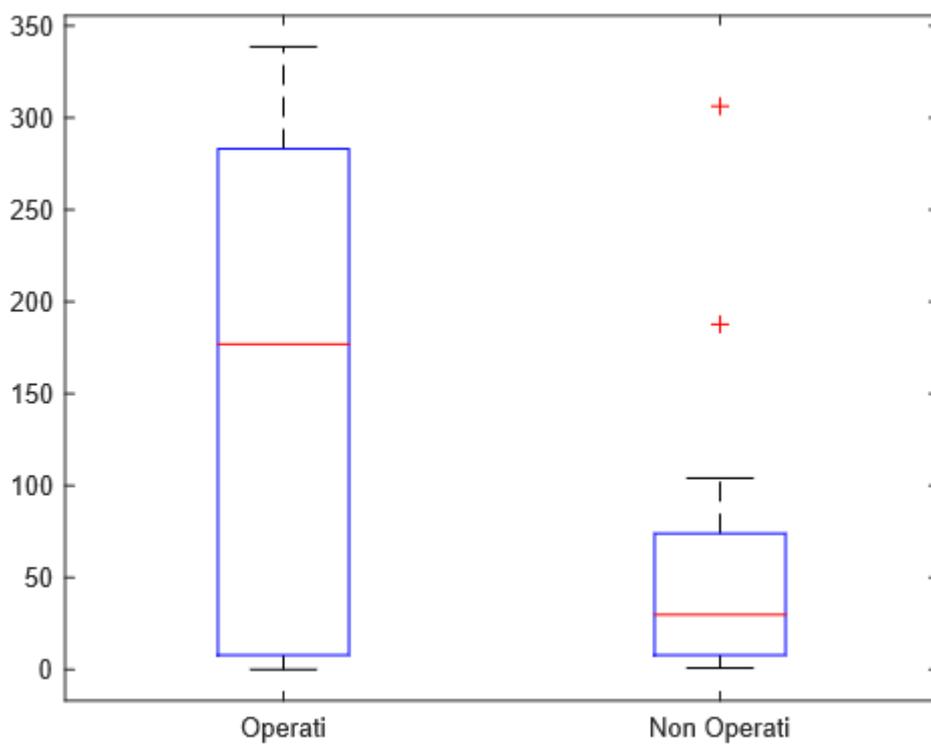


Grafico 4 – Rappresentazione dello scarto quadratico della dipendenza visiva (VG) post affaticamento

Di contro nel gruppo dei non operati si è potuto notare un aumento maggiore, rispetto al gruppo di chi ha subito l'operazione di ricostruzione, negli angoli di oscillazione ad occhi chiusi. Probabilmente dato dal fatto che la fatica ha comunque inciso sulla gestione antigravitaria ma non in modo così marcato da necessitare l'uso degli arti superiori in appoggio.

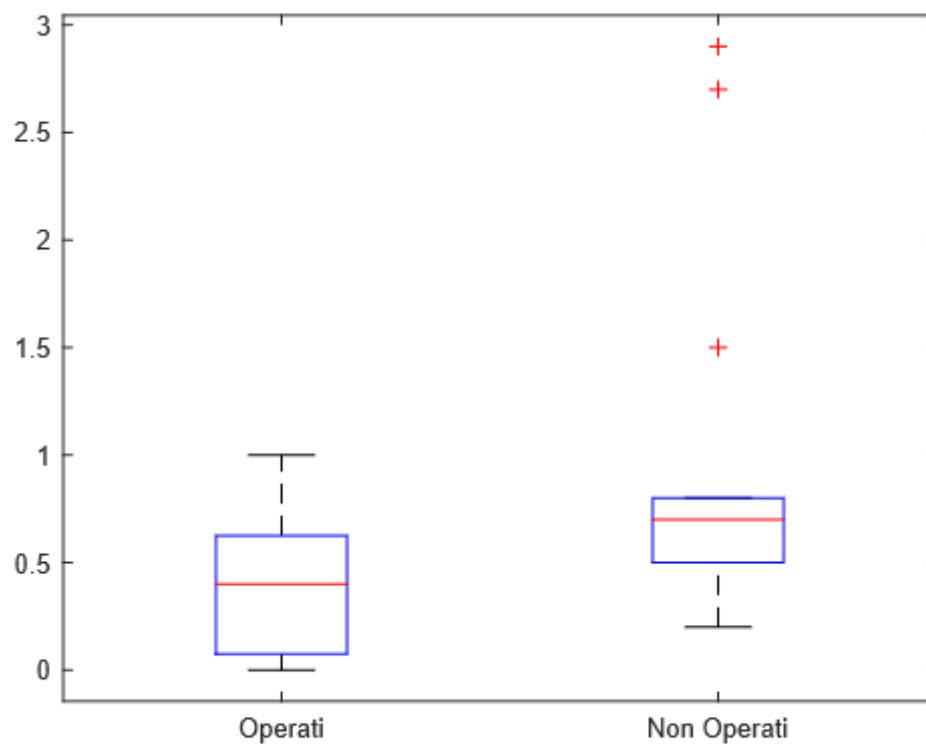


Grafico 5 – Rappresentazione dello scarto assoluto degli angoli di oscillazione post affaticamento

8 Discussione

8.1 Interpretazione dei risultati

Alla luce dei risultati emersi con l'analisi statistica possiamo notare come nei soggetti operati di LCA che siano anche tornati a praticare attività sportiva non vi sia comunque un recupero completo della forza dei flessori di ginocchio. Questo fatto è da tenere in seria considerazione in quanto il recupero di forza degli ischiocrurali al 100% rispetto all'arto non operato è uno dei pochi parametri di ritorno all'attività sportiva sui quali la letteratura sembra concordare. Inoltre il dato sulla maggior durata del picco di coppia degli estensori nei soggetti operati potrebbe essere dato dal fatto che non vi sia un'attivazione tempisticamente ottimale dei flessori.

I dati sulla propriocezione invece ci mostrano come effettivamente la fatica incida sui valori di stabilità in quanto in condizioni di riposo non vi sono state differenze tra i due gruppi mentre dopo l'affaticamento una differenza è comparsa.

Tale differenza riguarda il valore medio di mantenere la posizione monopodalica con gli occhi chiusi senza aver bisogno di utilizzare gli arti superiori in appoggio per stabilizzare la posizione e ciò ci può portare a pensare che il recupero propriocettivo degli arti inferiori non sia ottimale in quanto i soggetti hanno bisogno o della vista o dell'uso degli arti superiori per mantenere l'equilibrio. Inoltre il fatto che questo dato emerga solamente nelle prove post affaticamento può essere indice del fatto che la fatica (locale o centrale) giochi un ruolo che andrebbe considerato sia nel momento in cui si testa il soggetto sia durante il processo riabilitativo.

Il gruppo di controllo ha invece fatto segnare un aumento degli angoli di oscillazione post-affaticamento rispetto al gruppo di volontari operati e questo potrebbe essere dato dal fatto che la loro strategia antigravitaria è stata perturbata dalla fatica ma non al punto tale da costringerli ad utilizzare gli arti superiori per recuperare la posizione.

Il fatto che in altri studi siano comparsi risultati contrastanti per quanto riguarda la cinematica dell'arto inferiore post fatica in chi ha subito un intervento di ricostruzione di LCA può essere, tra le altre cose, determinato dal fatto che non siano state indagate a sufficienza le varie sfaccettature del meccanismo di controllo propriocettivo ma ci si sia fermati ad aspetti più "muscolari" [36] [24].

8.2 Criticità

Durante la stesura del progetto e successivamente durante lo svolgimento del lavoro sono emerse varie criticità a cui si è almeno in parte cercato di porre rimedio in corso d'opera. Innanzitutto il problema principale è dato dalla scarsa numerosità del campione testato, questo perché i parametri di inclusione, in particolar modo per il sottogruppo di soggetti operati, sono particolarmente restrittivi in modo da ridurre le interferenze che sarebbero potute emergere includendo nello studio soggetti operati ad altro oltre che ad una prima lesione di LCA. La scarsa numerosità del campione ha quindi comportato l'impossibilità di differenziare le analisi statistiche in base al genere o al tipo di sport praticato. Inoltre non sono state differenziate nemmeno in base al tipo di intervento anche se a rigore di logica una volta che sia stata data l'abilitazione all'attività fisica incondizionata la funzionalità del ginocchio dovrebbe considerarsi ottimale a prescindere dall'intervento subito.

Un'altra criticità emersa durante lo studio è stata che per alcuni soggetti particolarmente allenati i tre minuti di salita e discesa dal cubo non andavano a far registrare un affaticamento significativo a livello muscolare agli arti inferiori (fatica riferita 5 in una scala dove 1 è la condizione di riposo e 10 il massimo livello di fatica immaginabile) mentre per alcuni soggetti scarsamente allenati era predominante l'impegno cardio-respiratorio rispetto alla fatica muscolare.

9 Conclusioni

Anche se con una numerosità campionaria ridotta sono comparsi alcuni fattori critici per quanto riguarda gli aspetti riabilitativi post intervento di ricostruzione di LCA, in particolar modo considerando quelli che sono, o dovrebbero essere, gli outcome riabilitativi per pazienti che abbiano nel ritorno allo sport (anche di alto livello) una loro priorità.

In primis il deficit di forza degli ischiocrurali si può andare a collegare direttamente con il rischio di una seconda lesione in quanto sappiamo che l'efficacia dei flessori di ginocchio è un meccanismo di assistenza fondamentale per il LCA perché contrasta lo scivolamento anteriore della tibia sul femore attuato dalla contrazione del quadricipite.

Oltre al deficit degli ischiocrurali, il fatto che pur con un protocollo di affaticamento così limitato e non sicuramente massimale, siano comparsi dei dati statisticamente significativi di deficit di controllo propriocettivo può far pensare al fatto che nel percorso valutativo prima e riabilitativo poi, la gestione della fatica vada seriamente tenuta in considerazione.

In particolare questo è un aspetto di fondamentale nel recupero di atleti perché come riportato in letteratura il meccanismo di lesione del LCA più frequente non è da contrasto diretto bensì in situazioni di gioco individuali a gioco già avviato e quindi il fattore fatica andrà studiato e considerato in modo da poter garantire la stabilità e la risposta corretta del ginocchio anche nelle fasi più avanzate di svolgimento dell'attività

9.1 Studi futuri

Vista la comparsa di risultati statisticamente significativi anche con un campione così ridotto ed eterogeneo, studi futuri potrebbero concentrarsi sull'isolare ulteriormente le variabili e ad ampliare il numero di soggetti coinvolti quindi ad esempio riproponendo il progetto ad atleti praticanti lo stesso sport o a soggetti dello stesso sesso in quanto in letteratura è riportato come le donne siano più soggette degli uomini a lesioni dinamiche senza contatto [38] [5]. Potrebbe essere inoltre interessante introdurre un protocollo di affaticamento più incisivo o addirittura differenziato in base alle varie componenti dell'attività motoria. Si potrebbe quindi andare a differenziare tra fatica di tipo centrale piuttosto che affaticamento muscolare lattacido o esaurimento di tipo resistente/aerobico. Inoltre viste le possibilità valutative a basso impatto del sistema Delos si potrebbero

pensare studi osservazionali per andare ad indagare ulteriormente il contributo del LCA sul sistema propriocettivo testando ad esempio soggetti che ne abbiano riportato la lesione ma che non siano ancora stati operati. E ancora sarebbe interessante poter differenziare i soggetti da testare in base al tipo di intervento di ricostruzione subito in modo da andare a capire se vi sono superiorità a breve o lungo termine di un tipo di impianto piuttosto di un altro

Un ulteriore ricerca potrebbe andare a confrontare i risultati ottenuti dai test Delos a quelli “da campo” presenti in letteratura ma che ancora non hanno una vera e propria validazione come ad esempio la batteria di hop-test.

Inoltre visto appunto l’alto tasso di abbandono dell’attività pur se da un punto di vista medico/funzionale il ginocchio si potrebbe considerare riabilitato perfettamente si potrebbe pensare di implementare nel processo di riabilitazione una figura professionale capace di far superare all’atleta le paure che lo limitano nella prestazione.

Concludendo quindi quello che è emerso da questo studio è il fatto che il controllo propriocettivo pare non essere ottimamente integrato nel percorso riabilitativo dei soggetti che abbiano subito una ricostruzione di LCA, che la fatica incida in modo negativo sulla capacità di controllo motorio andando quindi ad aumentare il rischio di una seconda lesione e che, come già noto dalla letteratura, anche a distanza di anni dall’intervento vi sia ancora uno squilibrio in alcuni aspetti della condizione muscolare nei soggetti operati.

Tutto questo ci fa pensare al fatto che, visto che le richieste prestantive degli atleti sono sempre più elevate, che i costi umani e sociali nel gestire un secondo intervento sono molto onerosi e che le attuali tecnologie e conoscenze lo permettono, il progetto riabilitativo post intervento di ricostruzione di LCA non dovrebbe limitarsi al recupero dell’articolazione e della forza ma dovrebbe implementare in maniera costruttiva la gestione degli aspetti propriocettivi e della fatica neuromuscolare al fine di intervenire positivamente sul recupero funzionale dell’atleta e sulla kinesiophobia.

Infine, visto che anche a distanza di anni sono ancora presenti deficit non solo rispetto ad un gruppo campione di individui sani ma anche tra i due arti dei soggetti operati, sembra doveroso concludere dicendo che, sebbene l’abilitazione allo sport possa essere concessa in tempi relativamente brevi, il processo riabilitativo, avvalendosi della

collaborazione con le idonee figure professionali, debba continuare ad accompagnare l'atleta nella sua quotidianità.

Bibliografia

- [1] W. P. F. H. F. Thore Zantop, «Anatomy of the Anterior Cruciate Ligament,» *Operative technique in Orthopaedics*, 2004.
- [2] D. A. Neumann, in *Kinesiology og the muscoloskeletal system 2nd Editionn*, United States of America, Mosby Elsevier, 2010, pp. 523-525.
- [3] D. A. Neumann, in *Kinesiology of the muscoloskeletal system 2nd Edition*, United States of America, Mosby Elsevier, 2010, pp. 532-536.
- [4] E. G. F. Noyes, « The strength of the anterior cruciate ligament in humans and rhesus monkeys. Age-related and species-related changes. J Bone Joint Surg Am.,» 1976.
- [5] S. J. H. J. Chandrashekar N, « Sex-based differences in the anthropometric characteristics of the anterior cruciate ligament and its relation to intercondylar notch geometry: a cadaveric study,» *Am J Sports Med.*, 2005.
- [6] P. T. R. M. N. V. M. C. R. Dario Riva, «Il controllo posturale statico e dinamico in appoggio monopodalico,» *Il Fisioterapista n.2*, 2001.
- [7] C. M. M. F. P. S. F. R. M. M. M. F. DarioRiva, «Single Stance Stability and Proprioceptive Control in Older Adults Living at Home: Gender and Age Differences,» *JournalofAgingResearch*, 2013.
- [8] D. Riva, «Archeopropriocezione,» *JournalofAgingResearch*, 2000.
- [9] P. T. Dario Riva, «LA qualità dei movimenti dipende dal controllo posturale, statico e dinamico, in appoggio monopodalico. Quali sistemi lo governano e com'è possibilir valutarne e migliorarne la funzionalità?,» *JournalofAgingResearch*, 2000.
- [10] C.-G. K. S. A. D. W. Piontek T., «Strategy Of Visual Proprioceptive Control In Patients With Injury To The Anterior Cruciate Ligament Of The Knee And Healthy Individuals,» *Biology of Sport*, 2012.
- [11] M. A. D. R. e. a. Angoules AG, «Knee proprioception following ACL reconstruction; a prospective trial comparing hamstrings with bone-patellar tendon-bone autograft,» 2011.
- [12] W. K. R. M. Hooks TR, «Comparison of proprioceptive deficits of the involved and noninvolved lower extremity following ACL injury and surgical reconstruction.,» *J Orthop Sports Phys Ther.*, 2003.
- [13] L. A. C. Carolyn Kisner, in *Esercizio terapeutico, fondamenti e tecniche 3a Ed Italiana*, Padova, Piccin editore, 2012, pp. 931-935.
- [14] S. N. R.-C. L. K. C. E. L. Liden M, «Osteoarthritic changes after anterior cruciate ligament reconstruction using bone-patellar tendon-bone or hamstring tendon autografts: a retrospective, 7-year radiographic and clinical follow-up study,» *Arthroscopy*, 2008.
- [15] L. J. S. L. R. V. R. J. L. J. Pinczewski LA, « A 10-year comparison of anterior cruciate ligament reconstructions with hamstring tendon and patellar tendon autograft: a controlled, prospective trial.,» *Am J Sports Med.* , 2007.

- [16] K. L. K. M. e. a. Mather RC 3rd, «Societal and economic impact of anterior cruciate ligament tears.,» *J Bone Joint Surg American.*, 2013.
- [17] S. D. B.-W. Frank R. Noyes, in *Knee Disorders. Surgery, Rehabilitation, Clinical Outcomes 2nd Edition*, Philadelphia, Elsevier, 2016, pp. 200-201.
- [18] L. A. C. Carolyn Kisner, in *Esercizio terapeutico. Fondamenti e tecniche 3a Ed Italiana*, Padova, Piccin Editore, 2012, pp. 935-945.
- [19] N. F. Barber-Westin SD, « Factors used to determine return to unrestricted sports activities after anterior cruciate ligament reconstruction,» *Arthroscopy.*, 2011.
- [20] S. L. W. A. L. J. P. L. Leys T, «Clinical results and risk factors for reinjury 15 years after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective study of hamstring and patellar tendon grafts,» *Am J Sports Med.* , 2012.
- [21] S. L. D. S. e. a. Timothy E. Hewett, «Current Concepts for Injury Prevention in Athletes After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction,» *Am J Sports Med*, 2013.
- [22] S. D. B.-W. Frank R. Noyes, in *Knee Disorders. Surgery, Rehabilitation, Clinical Outcomes 2nd Edition*, Philadelphia, Elsevier, 2016, p. 282.
- [23] J. D. H. e. All., «Return to Sport After ACL Reconstruction,» *Orthopedics*, 2014.
- [24] S. D. B.-W. Frank R. Noyes, in *Knee Disorders. Surgery, Rehabilitation, Clinical Outcomes 2nd Edition*, Philadelphia, Elsevier, 2016, pp. 276-281.
- [25] D. J. Enoka RM, «Translating Fatigue to Human Performance.,» *Med Sci Sports Exerc.* , 2016.
- [26] A. G. S. Boyasa, «Neuromuscular fatigue in healthy muscle: Underlying factors and adaptation mechanisms,» *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 2011.
- [27] D. M. P. Bradly K. Springer, «The effects of localized muscle and whole body fatigue on single leg balance between healthy men and women,» *Gait and Posture*, 2009.
- [28] N. C. e. a. David Quammen, «Two Different Fatigue Protocols and Lower Extremity Motion Patterns During a Stop-Jump Task,» *Journal of Athletic Training*, 2012.
- [29] E. C. D. e. al, «Neuromuscular Changes After Aerobic Exercise in People with Anterior Cruciate Ligament– Reconstructed Knees,» *Journal of Athletic Training* , 2011.
- [30] J. E. S. SCOTT G. MCLEAN, «Fatigue-Induced ACL Injury Risk Stems from a Degradation in Central Control,» *MEDICINE & SCIENCE IN SPORTS & EXERCISE*, 2009.
- [31] K. E. W. e. al, «Effect of Fatigue on Landing Biomechanics after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Surgery,» *MEDICINE & SCIENCE IN SPORTS & EXERCISE*, 2012.
- [32] I. K. L. P. J. F. Laurie A. Hiemstra, «Effect of Fatigue on Knee Proprioception: Implications for Dynamic Stabilizatio,» *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* , 2001.
- [33] B. A. R. e. a. Sylvia Czuppon, «Variables Associated With Return to Sport Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review,» *Br Journal Sports Med*, 2014.

- [34] Z. G. e. a. Lentz TA, « Return to preinjury sports participation following anterior cruciate ligament reconstruction: contributions of demographic, knee impairment, and self-report measures.,» *J Orthop Sports Phys Ther*, 2012.
- [35] W. K. e. a. Arden CL., «Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a systematic review and meta-analysis of the state of play,» *Br J Sports Med*, 2011.
- [36] B. A. H. T. Gokeler A, « Proprioceptive deficits after ACL injury: are they clinically relevant?,» *Br J Sports Med*, 2012.
- [37] R. L. O. a. M. Longnecker, *An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis*, DUXBURY, 2001.
- [38] C. F. Toth AP, « Anterior cruciate ligament injuries in the female athlete,» *J Gender Spec Med* , 2000.

Allegati

Allegato 1 - Procedura di esecuzione Test di Forza Isocinetico:

Il soggetto siede sul sedile del macchinario con l'anca flessa a 90°. L'arto inferiore che deve eseguire il test viene fissato con una cinghia, posizionata circa a metà del femore, al sedile e il braccio mobile del macchinario viene fissato a livello del terzo distale della tibia. Il fulcro di rotazione del braccio mobile viene allineato con il ginocchio del soggetto. L'arto che non è direttamente impegnato nel test può essere stabilizzato dal volontario andando ad appoggiare la superficie dorsale del piede ad un cuscinetto che fa sì che l'arto sia bloccato in flessione. Il soggetto ha a disposizione delle maniglie con le quali stabilizzarsi e il busto è assicurato allo schienale mediante delle cinture. Dopo aver correttamente posizionato il soggetto il macchinario misura i limiti del ROM passivo ed attivo. A questo punto il soggetto inizia il test flettendo attivamente al massimo il ginocchio ed eseguendo poi 3 ripetizioni di flesso-estensione che la macchina non registrerà e che serviranno quindi a chi esegue il test per "prendere confidenza" con la procedura e con la resistenza. Dopo queste prime 3 ripetizioni il soggetto decide autonomamente quando eseguire le 5 che invece verranno registrate. Questa procedura si ripete identica per le resistenze di 120, 60 e 240 gradi/secondo mentre per la resistenza di 180°/sec dopo le prime 3 di prova ne vengono eseguite 15. Durante tutte le prove l'operatore incita verbalmente il soggetto ad esercitare una forza massimale. Il test si ripete poi sull'altro arto inferiore

Allegato 2 Procedura di esecuzione Test Riva Statico Propriocettivo Monopodalico:

Al soggetto viene fatta indossare una pettorina alla quale poi viene fissato il DVC (Delos Vertical Controller) un lettore posturale che rileva i livelli di stabilità del soggetto e che registra e visualizza in tempo reale i movimenti sui vari piani. Il soggetto si posiziona quindi scalzo sopra una superficie stabile di legno posta di fronte al sistema di rilevazione e l'operatore regola la posizione della sbarra metallica (munita di sensori ed alla quale il soggetto può appoggiarsi in caso di perdita di equilibrio eccessiva) in modo che possa essere comodamente raggiunta dal soggetto in caso di necessità. A questo punto si spiega al volontario la posizione da tenere durante il test che è di stazione eretta monopodalica con l'arto sollevato mantenuto ad anca estesa e ginocchio flesso per quanto è necessario affinché il piede non tocchi a terra. Lo si invita inoltre a non portare gli arti inferiori a contatto e gli si spiega che, piuttosto che eseguire movimenti esagerati con il busto o gli arti superiori o piuttosto che appoggiare a terra l'arto inferiore sollevato, si appoggi alla sbarra per recuperare l'equilibrio. Terminata la spiegazione viene eseguito un propedeutico al test vero e proprio consistente in una prova per gamba ad occhi aperti della durata di 10" e di una prova per gamba ad occhi chiusi sempre di 10". Terminato il propedeutico il soggetto inizia il test che consta di una prova per gamba ad occhi aperti della durata di 20", e di due prove per gamba, alternandole, ad occhi chiusi sempre di 20". Tra una prova e la successiva vi sono 15" di recupero.

Allegato 3 - Tabella riassuntiva del gruppo di controllo

GRUPPO DI CONTROLLO			
Codice	Sesso	Età	Sport
AC	F	17	Calcio
AC	M	21	Calcio
AC	M	19	Judo
AS	M	28	Judo
DA	M	36	Judo
RT	M	24	Kick Boxing
GD	F	25	Judo
RA	F	18	Atletica
NV	M	25	Judo
RL	F	28	Atletica
RA	M	39	Calcio
NS	M	29	Kick Boxing
VM	M	19	Atletica
SE	M	24	Nuoto
RG	F	19	Calcio
RF	F	19	Judo
SG	F	17	Calcio
SE	F	20	Judo

Allegato 4 - Tabella riassuntiva del gruppo osservazionale

GRUPPO OSSERVAZIONALE					
Codice	Sesso	Età	Sport	Arto dominante	Arto Operato
CM	M	33	Calcio	Destro	Destro
CD	M	19	Calcio	Destro	Destro
CF	M	34	Basket	Destro	Sinistro
CA	M	31	Calcio	Destro	Sinistro
MD	M	31	Judo	Destro	Destro
RL	M	24	Calcio	Destro	Sinistro
SL	M	31	Calcetto	Destro	Destro
VM	M	28	Atletica	Sinistro	Destro
