



Ita. J. Sports Reh. Po.

Italian Journal of
Sports Rehabilitation and Posturology

Performance funzionale e pivot rotazionali dopo chirurgia del LCA: asimmetrie di compensazione. Report Tecnico

D'Onofrio Rosario¹, Civitillo Claudio², Tamburrino Pasquale³, Bhatt H. Jaymin⁵.

¹ Exercise Science in Sport Rehabilitation, Sapienza University of Rome – Roma - Italia

² Physical Therapist, Osteopath m(ROI). Studio Civitillo - Piedimonte Matese (CE) – Italia

³ Specialista In Ortopedia e Traumatologia e in Medicina dello Sport – Head of the Secretariat, Libera Associazione Italiana Medici del calcio – Roma - Italia

⁴ Musculoskeletal Physiotherapist, Aash Arthroscopy Center, Ahmedabad, Gujarat – India.



Abstract

Background. Sebbene la stabilità chirurgica, dopo lesione del Legamento Crociato Anteriore (LCA), sia facilmente riproducibile, la soddisfazione del paziente a lungo termine è difficile da garantire visti anche i deficit di forza dell'apparato estensore e flessore e le complicanze riscontrabili durante il ritorno all'attività agonistica.

Metodo. Lo scopo di questo report tecnico è sintetizzare dati chiari e aggiornati sulle asimmetrie di forza che si presentano dopo chirurgia ricostruttiva del LCA correlandole con i protocolli riabilitativi e ove possibile con le tecniche ricostruttive. Sono stati, inoltre analizzati gli studi sulle asimmetrie di forza evidenziate prima e dopo chirurgia ricostruttiva del LCA.

Risultati. I tendini del Semitendinoso e Gracile (STG), utilizzati per la chirurgia ricostruttiva causano un deficit della rotazione tibiale interna. La rivisitazione ci porta a sottolineare come le ricostruzioni con Tendine Rotuleo (TR) hanno la tendenza a indurre maggiori deficit di forza, del quadricipite, rispetto ai tipi di innesto. La riabilitazione pre - operatoria deve essere considerata un processo riabilitativo interessante per massimizzare i risultati funzionali dopo chirurgia ricostruttiva. Simile ai dati riportati dalla maggior parte degli studi le asimmetrie side to side sono state riscontrate fino a 12 mesi così come sono evidenziati deficit del controllo neuromuscolare relativo ai movimenti pivot gestuali del ginocchio.

Conclusioni. I soggetti che sono sottoposti a ricostruzione del legamento con STG mostrano una debolezza nella rotazione tibiale interna rispetto alle ginocchia controlaterali con evidenti decrementi della qualità del movimento durante movimenti gestuali sport -relativi in particolar modo i movimenti pivot. Le asimmetrie di forza spesso persistono dopo il ritorno allo sport. Una riabilitazione pre-operatoria indirizzata ad attenuare i deficit di forza valorizzano il processo funzionale post chirurgia ricostruttiva.

Key word : *Bone-Patellar-Tendon-Bone (BPTB), Semitendinosus and Gracilis Tendons (STG), ACL Return to Sport , ACL rehabilitation, ACL reconstruction, ACL Post - op rehab , ACL Pre - op rehab.*

Citation: D'Onofrio Rosario, Civitillo Claudio, Tamburrino Pasquale, Bhatt H. Jaymin - Performance funzionale e pivot rotazionali dopo chirurgia del LCA : asimmetrie di compensazione. Ita. J. Sports Reh. Po. 2023; 10 (23); 2; 1; 2320 – 2334; ISSN 2385-1988 [online]; IBSN 007- 11119-55; CGI J OAJI 0.201). Published Online. Open Access (OA) publishing. **Authorship Credit:** "Criteria authorship scientific article" has been used "Equal Contribution" (EC). **Type of study:** Rehabilitation technical report. **In Appendice:** Elenco di acronimi e di abbreviazioni e Core messages.

Correspondence to: Dr. Rosario D'Onofrio via Garibaldi 3, 04024 Gaeta (LT) - Italy - mail: r.donofrio@alice.it

Premessa

La ripresa dell'attività agonistica dopo ricostruzione del Legamento Crociato Anteriore (LCA) percorre un cammino riabilitativo, di tipo individualizzato, che possa tutelare il processo di guarigione biologica del neo legamento^{2,3,30}. Il ripristino della forza muscolare dell'arto inferiore dopo una ricostruzione del LCA rimane un dibattito aperto, impegnativo e complesso vista la pato - biomeccanica del ginocchio. Il miglioramento della specificità del programma di riabilitazione, richiede ulteriori conoscenze sulle asimmetrie di forza dei muscoli dell'arto inferiore associati agli innesti del Tendine Rotuleo (TR) o Semitendinoso e Gracile (STG).

Introduzione

Normali valori di forza tra agonisti ed antagonisti sono essenziali per modulare la funzionalità e la biomeccanica articolare del ginocchio durante il movimento sport-relativo. Questo perfetto meccanismo è descritto, come "muscle balance" ovvero "knee joint Biomechanical Balance"¹.

D'altra parte, in contrapposizione è possibile evidenziare come un "muscle imbalance" esprime anomalie tensionali relative alla debolezza e/o all'accorciamento della funzione muscolare¹.

Quando un muscolo perde la sua lunghezza fisiologica l'articolazione perde l'armonicità, l'espressività del suo movimento tanto da limitare la funzionalità gestuale, la stabilizzazione, l'ampiezza del suo range articolare elevando così i fattori di rischio di lesioni capsulo legamentose e muscolari¹.

Il quadricipite e gli ischio crurali gestiscono la funzionalità analitica dell'articolazione del ginocchio. Questa preferenza associata ad una ripetitività gestuale è associata a asimmetriche destrutturazioni posturali che sono accentuate¹ dopo chirurgia ricostruttiva del LCA.

Decrementi dei livelli di forza, a carico dell'arto inferiore patologico sono stati notati prima e dopo la chirurgia ricostruttiva. Rientra nel final outcomes del processo riabilitativo che la risoluzione delle asimmetrie di forza side- to -side debbano essere risolte prima del ritorno alla piena attività agonistica senza nessuna restrizione.

La probabilità di lesioni ossee subcorticali aumenta significativamente con la frequenza degli allenamenti e l'età sportiva^{2,3,4}. Nei calciatori, ad esempio, è riscontrabile un incremento del degrado dell'ambiente articolare del ginocchio^{2,3,4}. Eventi lesivi del ginocchio accelerano il processo degenerativo articolare presente all'imaging, correlato al quadro sintomatologico di OA^{2,3,4}. (*Core messages del paragrafo in appendice: Tabella 1*)

Aspetti biomeccanici: funzione e pivot rotazionali

La stabilizzazione del ginocchio viene rappresentata didatticamente da linee di difesa anatomiche passive (costruite dalle strutture capsulo legamentose) ed attive (costituite dai muscoli) (*Tabella 2*)

Rotazione esterna	Quadricipite sartorio, gracile, semitendinoso, semimembranoso, popliteo rappresentano le linee di difesa attiva contro il movimento di rotazione esterna.
Rotazione interna	Bicipite femorale, tensore della fascia lata rappresentano le linee di difesa attiva contro il movimento di rotazione interna.

Tabella 2. Linee di difesa anatomiche attive.

È noto come il LCA sia costituito da due fasci differenti, quello Antero-Mediale (AM) e quello Postero-Laterale (PL), con funzioni specifiche differenti, ma che lavorano sinergicamente in modo da non poter essere considerati come strutture separate⁵.

Questi fasci, insieme al legamento crociato posteriore, formano il pivot centrale modulandosi funzionalmente sui tre piani dello spazio (trasversale, frontale, sagittale) contro i movimenti patologici del ginocchio legati alla gestualità tecnico atletica.

Il LCA è la guida del meccanismo di avvitemento. Si tratta di un “automatismo” di rotazione assiale che è inevitabilmente e involontariamente collegato a movimenti di flessione ed estensione.

Quando il ginocchio è flesso, la tibia viene ruotata internamente. Quando il ginocchio è esteso, i condili femorali rotolano e scivolano sui piatti tibiali, la tibia viene gradualmente ruotata esternamente. Alla massima estensione l'articolazione del ginocchio si “blocca” presentando la massima stabilità nella posizione eretta.

Questo meccanismo di avvitemento è molto importante per la sincronizzazione dell'articolazione del ginocchio con le altre articolazioni pivot adiacenti dell'anca e della caviglia. Sebbene il movimento principale del ginocchio sia la flessione - estensione, la rotazione interna - esterna gioca un ruolo molto significativo soprattutto in tutte queste attività che includono un momento pivot articolare del ginocchio. Da una prospettiva biomeccanica, il LCA non è sottoposto solamente a stress tensionale dalla traslazione anteriore femoro- tibiale, ma anche da movimenti rotazionali in varo e valgo. La traslazione anteriore femoro - tibiale, lineare, di per se non è sufficiente, per esempio nel calcio, a lesionare LCA. Per questo evento lesivo è necessario una combinazione di overstress tensionale sui tre piani di movimento in associazione a movimento pivot rotazionali. Così, possiamo affermare come la combinazione dell'inclinazione laterale del tronco, durante i cambi di direzione, i dribbling è associata ad un aumento dei momenti di abduzione del ginocchio e una maggiore rotazione interna dell'anca con rotazione esterna (RE) della tibia espone il LCA (Valgo + RE) ad alto rischio di lesione. I muscoli semimembranoso, semitendinoso e gracile hanno lo stesso ruolo funzionale nella flessione del ginocchio e nella rotazione interna della tibia. Il loro utilizzo per la ricostruzione del LCA, può comportare cambiamenti di compensazione funzionale e biomeccanici in particolar modo nei suoi movimenti pivot rotazionali⁶ durante momenti gestuali tipo pivoting e cutting.

Aspetti sulla forza: deficit di forza dopo chirurgia ricostruttiva del LCA

Una delle principali priorità della riabilitazione dopo la chirurgia ricostruttiva del LCA è il ripristino della forza muscolare dell'arto inferiore. La ricerca di una simmetria di forza side to side del quadricipite deve essere uno degli obiettivi primari del processo riabilitativo. Deficit di forza omolaterale dopo la ricostruzione del LCA è predittiva dei pazienti che non supereranno i criteri di ritorno allo sport. D'altro canto questo è correlabile a un livello elevato di complicanze durante la ripresa dell'attività agonistica.

Una revisione sistematica⁸ sottolinea come i deficit di forza del quadricipite possono superare il 20% a 6 mesi dopo la ricostruzione, con gli stessi che persistono fino a 2 anni dopo la ricostruzione³⁰. Secondo Buckthorpe⁹ (2019) esistono due strategie per normalizzare la forza del quadricipite dopo l'intervento chirurgico; 1) limitare la perdita di forza dopo l'infortunio e prima della chirurgia e 2) massimizzare il recupero della forza dopo l'intervento chirurgico. Ad esempio, secondo Buckthorpe⁹ coloro che hanno riportato un indice LSI, (Limb Symmetry Index) < 90% presentavano un rischio quasi tre volte maggiore di incorrere ad un successivo infortunio al ginocchio rispetto a chi aveva raggiunto più del 90% di indice LSI. Il ritorno precoce allo sport è associato a cambiamenti articolari precoci del ginocchio solo un anno dopo l'intervento^{2,3,4}. Questo degrado dell'ambiente articolare è anche correlabile con una errata riabilitazione ed un inappropriato ricondizionamento allo sport^{2,3,4,30}.

Maggiore è il grado di atrofia muscolare e deficit di forza, più lungo e problematico sarà l'iter riabilitativo e il processo strutturale del ritorno allo sport. (*Core messages del paragrafo in appendice: Tabella. 3*).

Discussione

Approfondimenti

Il terzo centrale del TR e i tendini del STG sono gli innesti più comunemente usati nella chirurgia ricostruttiva dopo lesione del LCA. Entrambe le tecniche ricostruttive hanno vantaggi e svantaggi influenzando il processo riabilitativo in quanto esse concorrono, tra l'altro, in maniera diversificata, al deficit di forza dell'apparto estensore e flessori del ginocchio.

Pivot rotazionali e deficit funzionali

La rotazione interna ed esterna del ginocchio è essenziale per la normale biomeccanica dell'articolazione; tuttavia, poco è stato pubblicato sulla sequenzialità gestuale. I muscoli semitendinoso e gracile contribuiscono alla rotazione tibiale interna ed è stato suggerito che la "raccolta" di questi tendini finalizzata alla ricostruzione del LCA contribuisca alla debolezza della rotazione tibiale interna. Studi^{42,43} che hanno sottoposto ginocchia sane a un picco di rotazione interna hanno mostrato un aumento della deformazione del LCA, sia in vitro che in vivo. Una alterazione della normale meccanica della rotazione interna post chirurgia ricostruttiva con innesti del STG è identificata come propedeutica ad una alterazione strutturale dei movimenti pivot.

Per Viola⁴⁴ i soggetti che sono sottoposti a ricostruzione del LCA con semitendinoso e gracile mostrano una "debolezza" nella rotazione tibiale interna, a tutte le velocità angolari isocinetiche testate, nelle ginocchia ricostruite rispetto alle ginocchia controlaterali. Inoltre, è stato osservato che l'atrofia o la debolezza del quadricipite sono correlate a una scarsa funzionalità articolare^{3,8,12,14}. L'abilità di "proteggere" il ginocchio da un evento lesivo dipende in primis dall'attività dei flessori del ginocchio e dal suo ruolo strategico nel controllare la traslazione anteriore tibio - femorale. E' pur vero come, una alterazione rapporto "Quadricipite/Ischio crurali " (H/Q ratio) è suggerito come un fattore di rischio di lesioni traumatiche a carico dell'arto inferiore^{1,4,49}. I protocolli funzionali di intervento di prevenzione, si concentrano sulla normalizzazione della tecnica di atterraggio, il controllo dei momenti in valgo di rotazione interna / esterna durante le manovre di cutting e movimenti pivot. Ma spesso queste esercitazioni sono proposte, all'interno dei processi riabilitativi/preventivi con timing errati.

Sembra⁷ che gli autotrapianti con TR siano ideali per mantenere una stabilità rotazionale dell'articolazione del ginocchio e consentire ai pazienti di tornare a livelli di attività sportiva più performanti rispetto agli autoinnesti del STG. Tuttavia, non ci sono prove sufficienti⁷ per identificare quale dei due tipi di innesti è significativamente migliore per la ricostruzione del LCA o destrutturano il controllo neuromuscolare dei movimenti pivot rotazionali. Altri studi randomizzati controllati di alta qualità con criteri di inclusione strettamente specifici sono richiesti prima di trarre conclusioni affidabili. (*Core messages del paragrafo in appendice : Tabella. 4*)

Deficit di forza Pre - operatoria

La riabilitazione prima dell'intervento chirurgico, denominata nella letteratura internazionale^{38,39,40} anche "pre- operative rehabilitation" o "prehabilitation", è proposta per un periodo di inabilità e ridotta attività dovuta alla chirurgia³⁸. Nel 1999 riportavamo¹¹ come una riabilitazione pre - operatoria, nei calciatori, doveva essere proposta non solo per migliorare il range articolare e i livelli di forza ma anche per : a) eliminare o minimizzare le complicanze post-operatorie¹⁰ legate alla allora chirurgia ricostruttiva b) creare un graduale adattamento psicologico del paziente al percorso fisioterapico successivo. Successivamente Shelbourne^{12,13} (2004, 2006) ha riportato che la forza muscolare del quadricipite, nella fase post-operatoria è significativamente più alta nei pazienti che hanno eseguito un iter riabilitativo prima della chirurgia ricostruttiva. Lo stesso autore, ha confrontato due gruppi di pazienti; uno operato in fase acuta dopo 11 giorni mediamente dal trauma ed un gruppo operato dopo 40 giorni sempre post - lesione; ebbene la forza muscolare testata con

follow up a 2, 4, 6 mesi dalla ricostruzione, ha evidenziato risultati soddisfacenti per gli atleti che avevano posticipato l'intervento chirurgico. I pazienti con forza pre - operatoria $> 90\%$ avevano una forza superiore, statisticamente significativa, rispetto ai pazienti con forza pre - operatoria $< 75\%$ ($P < .01$). La riabilitazione pre - operatoria sembra essere efficace per migliorare la Limb Symmetry Indices (LSI) ai follow up post - operatori^{15,16}. L'analisi dell'albero decisionale ha dimostrato, secondo Shibata¹⁷, che i pazienti potevano raggiungere un Quadriceps Strength Index (QSI) $\geq 85\%$ a 6 mesi dopo l'intervento se soddisfacevano una delle seguenti condizioni:

- (1) età ≥ 29 anni con QSI pre - operatorio $\geq 98,0\%$,
- (2) età < 23 anni con QSI pre - operatorio $\geq 78,8\%$,
- (3) età < 16 anni con QSI preoperatorio $< 58,5\%$ e scala di attività Tegner pre-infortunio ≥ 9 .

Al contrario, i pazienti di età ≥ 29 anni con un QSI pre - operatorio $< 98,0\%$ potevano raggiungere un indice di forza del quadricipite $< 70\%$ a 6 mesi dopo l'intervento¹⁷. Il valore di cut-off pre - operatorio dell'indice di forza del quadricipite era del $70,2\%$ questo per ottenere almeno l' 85% dell'indice di forza del quadricipite a 6 mesi dopo l'intervento¹⁸. Un QSI pre - operatorio $< 66\%$ era associato ad un ritardato ritorno allo sport.

Il QSI pre -operatorio dovrebbe essere valutato come predittore del tempo di ritorno alla piena attività sportiva senza restrizioni^{19,20}.

Culvenor²¹ sottolinea come per ogni aumento dell' 1% in punti nella simmetria del quadricipite c'è una 3% di riduzione del tasso di re - injury. Inoltre, il 63% di coloro che hanno aumentato la forza del quadricipite nella fase pre - operatoria superava i criteri di valutazione stabiliti per il ritorno allo sport. Ricerche recenti^{23,24} mostrano che i pazienti con una migliore forza pre - operatoria hanno evidenziato una migliore forza post-operatoria^{23,24}. Eitzen¹⁴ suggerisce che la ricostruzione del LCA non dovrebbe essere eseguita prima che i deficit di forza dell'apparato estensore dell'arto patologico siano inferiori 20% dell'arto sano^{14,25}. Questi studi forniscono una forte evidenza scientifica^{8,10,11,14,16,17,18,19,20} in merito alle caratteristiche della forza muscolare del quadricipite pre - operatoria capace di influire positivamente sulla forza e sulla funzione muscolare post - operatoria e su un più rapido ritorno allo sport. Kim DK²⁶, sottolinea come l'esercizio pre - operatorio, di quattro settimane, può produrre effetti positivi dopo l'intervento chirurgico di ricostruzione del LCA, sulla normalizzazione dei valori side to side al Single-Leg Hop test.

Shaarani³⁹ in uno studio controllato randomizzato, ha evidenziato come un programma di riabilitazione pre - operatoria di 6 settimane ha portato a un miglioramento delle prestazioni funzionali e della funzione auto-riferita fino a 12 settimane dopo la chirurgia ricostruttiva³⁹. Uno short program fisioterapico prima dell'intervento chirurgico svolge un ruolo importante nel miglioramento della forza muscolare post-operatoria^{27,41}. La riabilitazione pre-operatoria dovrebbe essere considerata come una integrazione allo standard clinici per massimizzare i risultati funzionali dopo una ricostruzione del LCA^{40,50}. In questa ipotetica discussione bisogna, però sottolineare, come non c'è un "consensus" sulla strutturazione ottimale del programma riabilitativo²⁷. (*Core messages di questo paragrafo in appendice : Tabella.5*)

Deficit di forza post - operatoria

L'eziologia del deficit muscolare riferito all'apparato estensore e flessore del ginocchio, dopo chirurgia ricostruttiva del LCA non è stata completamente chiarita. Questi deficit potrebbero essere di origine neurale, biomeccanici o secondari al decondizionamento⁴⁶. Il ripristino della forza muscolare dell'apparato estensore del ginocchio rappresenta un marker primario della riabilitazione. I dati correnti, discussi in questo lavoro, sottolineano che gli atleti possono ritornare alla piena attività sportiva quando superano le attuali raccomandazioni cliniche cioè livelli di forza, dell'arto patologico, sono ancorati intorno al 10% rispetto all'arto controlaterale. Asimmetrie residue di forza side to side sono ritenute come un fattore di rischio di una nuova lesione o di complicanze muscolari durante l'attività sportiva.

Sebbene questi deficit di forza vengono appianati, spesso, con il tempo, la maggior parte dei pazienti mostra ancora asimmetrie evidenziabili a 12 mesi dopo la ricostruzione del LCA. I pazienti con deficit di forza del quadricipite hanno mostrato³⁵ come la forza del quadricipite è correlata alle asimmetrie gestuali e alle performance funzionali.

La riabilitazione dopo la ricostruzione del LCA deve concentrarsi sulla massimizzazione della forza dell'apparato estensore del ginocchio³⁵, in quanto, i pazienti con un deficit di forza del quadricipite hanno mostrato maggiori asimmetrie della qualità del movimento del ginocchio sul piano sagittale³⁵. Nonostante l'attenzione dei processi fisioterapici, per superare questa asimmetria muscolare, i deficit di forza spesso persistono dopo la cessazione del trattamento riabilitativo e rimangono una importante preoccupazione quando i pazienti vengono clinicamente dimessi per tornare allo sport. Forse una preoccupazione ancora maggiore è che le asimmetrie post-chirurgia ricostruttiva sono correlate all'osteoartrite post-traumatica ad esordio precoce^{2,3,4}. Seguendo queste stesse linee, è importante per i ricercatori e clinici quantificare l'entità del deficit di forza del quadricipite che porta a una alterata meccanica gestuale e al potenziale nuovo o re - infortunio. Stabilire questi criteri aiuterà a definire meglio gli standard clinici riguardo al livello di asimmetria di forza dell'arto inferiore accettabile per un ritorno all'attività^{1,3,29,30}. La forza, la funzione auto-riferita e le performance fisiche possono migliorare da 6 a 12 mesi dopo la ricostruzione, suggerendo la logica secondo cui programmi di riabilitazione più lunghi e un ritorno all'attività ritardato sarebbero probabilmente benefici per i pazienti dopo la ricostruzione del LCA^{28,29,30}. Recentemente, D'Onofrio R. et al (2020)²⁹ ha evidenziato come a 6 mesi, i decrementi dei livelli di forza dell'apparato estensore, erano correlati a un deficit omolaterale del medio gluteo²⁹. Così quadri radiologici degenerativi sono presenti precocemente, in una popolazione di sportivi a 5 anni dopo la ricostruzione del LCA³. Uno studio recente di Huber³¹ (2019) ha valutato la forza concentrica isocinetica di 464 pazienti che sono stati sottoposti a ricostruzione artroscopica del LCA con innesti del STG e TR del ginocchio. La forza del quadricipite è stata valutata prima dell'intervento chirurgico e successivamente con follow-up dopo chirurgia a 5 e 9 mesi. Questa risultava essere inferiore nei pazienti operati con l'innesto del TR a 5 mesi ($p < 0,05$) ma non al follow-up di 9 mesi. La prevalenza della "debolezza" del quadricipite era alta (66-91%) nei gruppi di pazienti in entrambi i follow-up. Lo studio nella sua sintesi evidenziava come il recupero post - operatorio della funzione muscolare della "coscia" risulta essere migliore con l'innesto del TR che con il STG, poiché sia la forza del quadricipite che quella degli ischio crurali era maggiormente compromessa dopo la ricostruzione del LCA con il STG.

I valori side - to - side di forza del muscolo quadricipite, sono secondo Fischer³² significativamente ($p < 0,001$) maggiori nei pazienti con innesto STG, mentre i pazienti con tendine del quadricipite - QT (Quadriceps tendon - QT) mostravano valori significativamente ($p < 0,001$) maggiori per la forza degli ischio crurali del ginocchio. Con l'innesto del TR è evidenziabile un aumento del deficit di forza del quadricipite rispetto al gruppo del STG. Il gruppo STG ha avuto un incremento del deficit di forza dei flessori del ginocchio durante i test post - operatori. Per ciò che attiene il genere, il deficit post - operatorio della forza dei flessori del ginocchio è incrementato significativamente nelle pazienti di sesso femminile³³. Ci sono prove che la disfunzione del rapporto quadricipite / ischio crurali è un fattore predittivo di incremento di lesioni muscolari^{1,30,36}. Valori alterati del rapporto di forza H / Q ($< 0,6$ per 60° s-1) possono aumentare i fattori di rischio anche di lesioni a carico del LCA¹.

Il quadricipite e gli ischio crurali gestiscono, tra gli altri, la funzionalità analitica dell'articolazione del ginocchio; uno squilibrio tra apparato estensore/flessore potrebbe creare un overstress articolare con pattern di movimenti compensativi, che possono sfociare in sindromi posturali (Janda's Crossed Syndromes), in patologie da overuse e lesioni acute dell'apparato muscolo scheletrico. Una alterazione dello status di forza e di flessibilità, dei muscoli che controllano la biomeccanica funzionale del ginocchio, determina, attraverso il gioco muscolare, compensi sia statici che dinamici all'interno delle catene cinetiche funzionali. Le differenze nei rapporti di H/Q ratio, tra atleti, dipendono, dalla disciplina scelta, dal livello della competizione o da entrambi. Bisogna quindi sempre ricercare, se ragioniamo in maniera analitica, una eccellente fisiologia degli ischio crurali al fine di ottimizzare la performance muscolare ed evitare squilibri muscolari omolaterali che possono compromettere nell'arco della stagione sportiva l'integrità fisica dell'atleta. Questo è confermato da uno studio, in pubblicazione, di D'Onofrio R. et al.³, che registra nella coorte di soggetti un

peggioramento, al follow-up a 5 anni, del quadro radiologico del ginocchio alla Kellgren e Lawrence Scale con limitazioni, alla KOOS, (Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score) e alle espressività gestuali quotidiane e sportive. La coorte, esaminata, ha evidenziato, al follow-up a 5 anni dalla chirurgia ricostruttiva, una classificazione radiologica dell'osteoartrite post traumatica da 1-3 della Kellgren e Lawrence Scale: a) Grado¹= 39,3% (n°13), b) Grado²= 42,4 % (n°14), c) Grado³=18,1% (n°6). Dall'analisi dei dati emerge come il ritorno allo sport si verificava in media in 4,5 mesi con un picco del 39,3 % (13) a 3 mesi dalla chirurgia ricostruttiva. Le complicanze totali, erano l'84,8% (28). Le lesioni muscolari con il 48,4% rappresentavano le patologie di maggior riscontro durante il periodo riabilitativo/ritorno allo sport. Al momento del follow-up il 60,3% (20/33) non praticava più attività agonistica o la svolgeva saltuariamente. Questi dati sono correlabili con l'analisi della KOOS Score che evidenziava: a) come il 12,1% (4) presentavano lievi difficoltà nello svolgere attività specifiche gestuali come corsa, jumping e squatting e movimenti di cutting, b) il 30,1% (10) evidenziavano limitazioni tra moderato e severo nello svolgere corsa, jumping, movimenti di pivoting³. Un altro studio²⁹, di D'Onofrio R. et al.(2020), sottolinea come esiste, nei 38 pazienti, esaminati, una correlazione associativa tra decremento del controllo posturale del cingolo pelvico e valgo adattativo dinamico del ginocchio a 6 mesi della ricostruzione del legamento crociato anteriore. La mancanza di omogeneità del processo riabilitativo ci ha permesso, sostiene l'autore, di effettuare solo uno studio osservazionale e quindi non poter identificare le reali cause disfunzionali. Dal gennaio 2014 al giugno 2018 sono stati valutati, con un follow – up a 6 mesi (24 settimane) dalla chirurgia ricostruttiva del LCA, 181 pazienti. Di questi furono ritenuti idonei, ai criteri di inclusione, allo studio 100 pazienti (82 pazienti hanno avuto una ricostruzione con la tecnica “ Bone-Patellar Tendon-Bone (BPTB) mentre 18 pazienti hanno utilizzato il semitendinoso e gracile quadruplicato. Furono abilitati per lo studio 86 uomini (età media 28±06 anni e altezza media di 178±05 cm) e 14 donne (età media 24±02 anni, altezza media di 172±03 cm). L'analisi, del Single Leg Squat test, è stata eseguita esclusivamente solo sul piano frontale. Sono rientrati nei criteri di inclusione per lo screening valutativo, 100 pazienti operati di LCA. Di questi 38/100 presentavano risultavano positivi al Single Leg Squat Test (SLST). I 38 atleti (38%) valutati a 6 mesi dalla chirurgia ricostruttiva presentavano, rispetto ai valori baseline iniziali (arto sano, valori angolo Q ≤ 10 gradi, parallelismo SIAS) un decremento associato del controllo posturale del cingolo pelvico (pelvic drop controlaterale sul piano frontale) e del ginocchio (valgo dinamico adattativo, osservabile sul piano frontale, durante l'esecuzione del test). Il test eseguito sull'arto sano dimostrava, al contrario, una eccellente performance mantenendo i valori di riferimento baseline. Lo screening valutativo effettuato sui 100 pazienti operati di LCA (follow-up a 6 mesi dalla chirurgia ricostruttiva) ha evidenziato in 38 soggetti un quadro posturo – disfunzionale. Questi, presentavano, rispetto ai valori baseline iniziali (arto sano, valori angolo Q ≤ 10 gradi, parallelismo SIAS) un decremento associato e correlativo del controllo posturale del cingolo pelvico (pelvic drop controlaterale) e del ginocchio (valgo dinamico adattativo) (Grafico 1). La media dell'inclinazione pelvica totale, riferita ai 38 pazienti era di 11.6 ±5.7° mentre quella riferita al valgo adattativo dinamico era di 16.3± 6.8° (valori medi baseline angolo-Q, arto sano in appoggio monopodalico di 4.6±3.1°). Si notava come 12/38 pazienti evidenziavano un valgo adattativo superiore ai 20 gradi. Mentre 8/38 evidenziavano una inclinazione pelvica superiore ai 15 gradi. Il valore correlativo di picco disfunzionale evidenziava solo su un paziente che presentava una inclinazione pelvica pari a 28 gradi ed un valgo adattativo dinamico di pari valore ovvero di 28 gradi. Veniva riscontrato, un picco di valgo adattativo, durante il test di 29 gradi (angolo-Q valore baseline di 6°). Altresì, si evidenziava un picco di pelvic drop, controlaterale, durante l'esecuzione del test di 28 gradi (valore baseline 180° parallelismo SIAS –valore di decremento 152°). Non era possibile dimostrare, tuttavia, una correlazione tra le diversificate tecniche ricostruttive e valgo adattativo dinamico del ginocchio evidenziato durante il SLST²⁹.

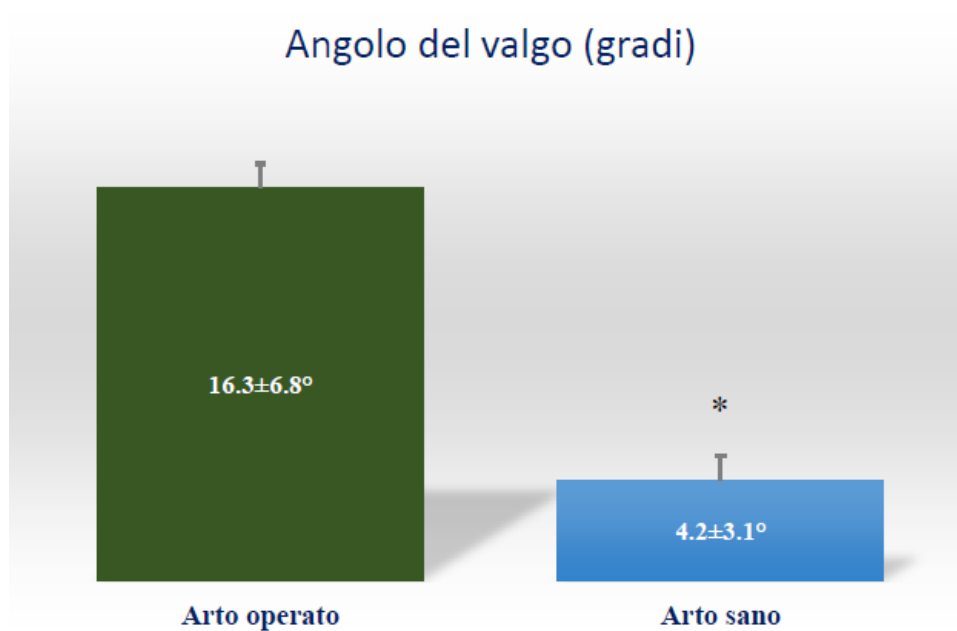


Grafico 1. Differenza tra arto sano e patologico. Valori espressi in gradi del valgo adattativo dinamico. * <0.0001 . (D'Onofrio R. et al. 2020)²⁹

Machado⁴⁷ ha evidenziato come i pazienti nel gruppo TR presentavano un deficit maggiore a carico del quadricipite rispetto a quelli del gruppo STG. I pazienti nel gruppo degli ischio crurali rappresentavano un deficit muscolare maggiore rispetto al ginocchio controlaterale. È stato osservata una asimmetria nel un rapporto H/Q . Questo squilibrio era più evidente nel gruppo TR. Molti pazienti hanno rappresentato un grado di debolezza muscolare dopo la ricostruzione del LCA, in particolare la debolezza dei muscoli quadricipiti che a 6 mesi dalla ricostruzione oscilla tra il 24% e il 40,5% di deficit¹. La debolezza del quadricipite e il suo potenziale a lungo termine si riflette negativamente sulla funzione del ginocchio. La risoluzione di questa dovrebbe essere una delle principali preoccupazioni dopo il trauma e la ricostruzione²². Precedenti indagini¹⁵ hanno trovato un legame tra la forza e la funzione del quadricipite pre e post-operatorio, dimostrando che una maggiore forza e funzione pre - operatoria si correla a migliori risultati performanti post-operatori. (Core messages del paragrafo in appendice : Tabella.6)

CONCLUSIONI

Da una prospettiva clinica, dovremmo tener presente come la forza pre - operatoria è correlata all'attivazione muscolare post-operatoria e ad un ottimale ritorno all'attività agonistica. Asimmetrie di forza side to side, indipendentemente dalla tecnica chirurgica, sono presenti fino a 12 mesi dalla chirurgia ricostruttiva. Il controllo dei movimenti pivot, rotazionali, esitano dopo ricostruzione del LCA. Diventa fondamentale ristabilire questi processi fisiologici onde decrementare i fattori di rischio di ri- lesioni allo stesso arto o nuove lesioni all'arto controlaterale. Una alterazione del rapporto quadricipite / ischio crurali può essere presente nelle fasi post operatorie la non risoluzione può condizionare e ritardare il processo di ritorno alla piena attività sportiva.

Appendice

Elenco di acronimi e di abbreviazioni		Elenco Core Messages	
LCA	Legamento Crociato Anteriore	Tabella.1	Core Messages. Paragrafo : introduzione.
OA	Osteoartrite	Tabella.3	Core Messages. Paragrafo : deficit di forza dopo chirurgia ricostruttiva del LCA.
AM	Antero -Mediale	Tabella.4	Core Messages. Paragrafo : pivot rotazionali e deficit funzionali.
PM	Postero – Mediale	Tabella.5	Core Messages. Paragrafo: deficit di forza Pre operatoria.
LSI	Limb Symmetry Index	Tabella.6	Core messages. Paragrafo : deficit di forza Post operatoria.
RE	Rotazione Esterna		
H/Q	Hamstring/Quadriceps		
QSI	Quadriceps Strenght Index		
QT	Quadriceps Tendon		
KOOS	Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score		
BPTB	Bone-Patellar Tendon-Bone		
SLST	Single Leg Squat Test		
SIAS	Spina Iliaca Antero-Superiore		

1.	La Stabilizzazione passiva del ginocchio è il risultato di un'interrelazione complessa che esiste fra la geometria ossea, la struttura capsulo - legamentosa e apparato muscolare.
2.	La Stabilizzazione dinamica è invece appoggiata primariamente dal controllo neuromuscolare e in via primaria dall'attività del quadricipite e dagli ischio -crurali che si comportano come antagonisti al LCA offrendo stabilità rotatoria e controllo della traslazione femoro - tibiale durante gestualità semplici e complesse.
3.	Uno squilibrio tra apparato estensore/flessore può creare un overstress articolare, con pattern di movimenti compensativi che possono alterare i pivot rotazionali/torsionali ³ e sfociare in sindromi posturali (es. Janda's Crossed Syndromes) che si riflettono in patologie acute e croniche dell'apparato muscolo scheletrico.
4.	Asimmetrie di forza side to side dell'apparato estensore del ginocchio sono state evidenziate come esiti della chirurgia ricostruttiva del LCA ¹ .
5.	Lo sport, dopo chirurgia è associato a un aumentato rischio di OA del ginocchio.

Tabella 1 – Core Messages. Paragrafo Introduzione.

1.	La maggior parte degli studi indica che asimmetrie di forza side to side del quadricipite esitano anche quando l'atleta è tornato alla piena attività sportiva.
2.	Per ogni aumento dell'1% nella simmetria del quadricipite vi era un riduzione del 3% del tasso di recidiva.

Tabella 3. : Core Messages. Paragrafo deficit di forza dopo chirurgia ricostruttiva del LCA.

1.	L'instabilità rotatoria del ginocchio è stata riconosciuta come una importante evidenza clinico disfunzionale del ginocchio.
2.	Si sostiene ^{5,7,33,42,44,45} come vi è una correlazione tra ricostruzione con STG e debolezza della rotazione tibiale interna.

--	--

Tabella 4. Core Messages. Paragrafo pivot rotazionali e deficit funzionali.

1.	Nel lontano 1991 Shelbourne ¹⁰ evidenziava come pazienti che ritardavano la chirurgia ricostruttiva del LCA di almeno 3 settimane, per effettuare una riabilitazione pre - operatoria, avevano un precoce recupero dell'attività muscolare nella fase post - operatoria.
2.	Eitzen ¹⁴ sottolinea come la chirurgia ricostruttiva del LCA non dovrebbe essere eseguita prima che il deficit di forza muscolare del quadricipite risulti essere < 20% rispetto all'arto sano.
3.	I risultati di Ueda ¹⁸ indicano che la differenza nel QSI tra il pre - operatorio e il post - operatorio influisce non solo sul recupero funzionale ma anche sulle prestazioni del one-leg hop performance.
4.	Per Hartigan ²² concentrarsi sull'aumento della forza del quadricipite prima dell'intervento, specialmente nella nostra popolazione atletica più anziana può migliorare la loro capacità di superare i criteri di ritorno allo sport dopo la chirurgia ricostruttiva.
5.	Un programma riabilitativo adeguato, di almeno di tre settimane prima dell'intervento chirurgico ha un ruolo importante nel miglioramento della forza muscolare post-operatoria.

Tabella 5. Core Messages. Paragrafo : Deficit di forza pre operatoria.

1.	La simmetria side to side dovrebbe essere raggiunta in via prioritaria prima di ripristinare la gestualità specifica, la qualità del movimento nonché il successivo ritorno alla specificità tecnico atletica dello sport.
2.	L'espressività simmetrica dell'arto inferiore, definita come forza equivalente side to side dovrebbe essere un obiettivo della riabilitazione poiché una maggiore asimmetria degli arti dopo la ricostruzione del LCA è predittiva di un incremento dei fattori di rischio di nuove lesioni.
3.	De Jong ³³ afferma che il deficit di forza pre-operatoria del quadricipite è correlato alla lesione del LCA e incrementa dopo la chirurgia ricostruttiva. Al follow up ad 1 anno persiste un deficit di forza del quadricipite del $\leq 20\%$. Questi risultati sono influenzati dalla scelta dell'innesto, con un evidente maggiore deficit di forza del quadricipite per gli innesti BPTB. Gli innesti STG inducono ³³ un maggiore deficit di forza dei muscoli posteriori della coscia rispetto agli innesti BPTB.
4.	Un lavoro recente ³⁴ su 4093 pazienti (54.3% uomini) con età media 28.3 ± 10.7 anni ha evidenziato come solo il 19,6% dei pazienti ha raggiunto la perfetta simmetria del ginocchio 6 mesi dopo la chirurgia ricostruttiva primaria . Questo studio sottolinea che la maggior parte dei pazienti non raggiunge una simmetria side to side arto sano/patologico al follow up a 6 mesi ³⁴ .
5.	Atleti con squilibri di forza persistenti, indipendentemente dalla tecnica chirurgica ricostruttiva, hanno mostrato un incremento significativo delle lesioni muscolari pari a 4.66 volte.
6.	E' utile ricordare che eventi traumatologici ricollegabili all'arto inferiore, sono il primo fattore disfunzionale del normale rapporto funzionale tra quadricipite e ischio crurali e predispone l'atleta a notevoli rischi di lesione ¹ .
7.	Un precoce ritorno allo sport si correla, con un incremento in punti (%) delle complicanze muscolari e delle ri-lesioni del LCA.
8.	La chirurgia corregge il difetto strutturale. Decrementi della funzionalità articolare e della forza sono inevitabili corollari associati al processo di trasformazione del neo - legamento.
9.	Identificare i fattori predittivi per la funzionalità articolare del ginocchio dopo la ricostruzione del LCA è importante per ottimizzare i programmi riabilitativi pre e post operatori. ²³
10.	Un ripristino delle normali simmetrie, nella fase pre season, del sistema muscolare, è consigliabile prima del ritorno allo sport ^{1,30} .

Tabella 6. Core messages. Paragrafo : Deficit di forza Post operatoria.



Dichiarazione di conflitto di interessi

Gli autori non hanno dichiarato potenziali conflitti di interesse in relazione alla ricerca, alla paternità e / o alla pubblicazione di questo articolo.

Finanziamento

L'autore o gli autori non hanno ricevuto alcun sostegno finanziario per la ricerca, la paternità e / o la pubblicazione di questo articolo.

Tutti gli autori hanno letto e accettato la versione pubblicata del manoscritto.

Dichiarazione dell'Editore

Questo è un file PDF di un manoscritto non modificato che è stato accettato per la pubblicazione. Come servizio ai nostri clienti stiamo fornendo questa prima versione del manoscritto. Il manoscritto sarà sottoposto a copia, impaginazione e revisione della bozza prima di essere pubblicato nella sua forma finale. Si noti che durante il processo di produzione possono essere rilevati errori che potrebbero influire sul contenuto e tutte le esclusioni di responsabilità legali che si applicano alla rivista sono pertinenti.

Reference

1. D'Onofrio R., Apostolopoulos N., Bhatt J., Padasala M., Bjelica B., Joksimović M., Aiello P., Licciardi A. - Asimmetrie nel rapporto quadricipite/ischio crurali e sue correlazioni con le lesioni muscolari. Una analisi retroattiva della letteratura. Ita. J. Sports Reh. Po.; 2019 ; 6 ; 1 ; 1151 -1167
2. D'Onofrio R, Civitillo C. Articolazione del Ginocchio. Short Report per individuare i processi evolutivi dell'Osteoartrite nei Calciatori. GIOSBE Journal. Settembre 2020. Vol 6 (1): pag 1-8
3. D'Onofrio R., Fabbrini R., Polizzotti G., Civitillo C. and Tucciarone A. Analisi della Kellgren Lawrence Grading Scale e KOOS Score nella fase post -ricostruttiva del LCA in una coorte di 33 sportivi dilettanti. Follow-up a 5 anni. Ita. J. Sports Reh. Po 2022; 9 (20); 2;3; 2092 – 2106; ISSN 2385-1988 [online] [in print]
4. Tamburrino P., D'Onofrio R., Civitillo C., Padasala M. and Castellacci E.; Osteoartrite nel calciatore. Epidemiologia, Visco – supplementazione ed integrazione: una revisione narrativa della letteratura - Ita. J. Sports Reh. Po. 2021; 8 (18); 3; 4; 1935 – 1951 [in print]
5. Ferretti A, Monaco E, Vadalà A. Rotatory instability of the knee after ACL tear and reconstruction. J Orthop Traumatol. 2014;15(2):75-79. doi:10.1007/s10195-013-0254.
6. Fujiya H1, Goto K, Kohno T, Aoki H. Changes of SM muscles after STG harvest. Int J Sports Med. 2011 Jun;32(6):446-50. doi: 10.1055/s-0031-1271780. Epub 2011 May 12
7. Xie X, Liu X, Chen Z, Yu Y, Peng S, Li Q. A meta-analysis of bone-patellar tendon-bone autograft versus four-strand hamstring tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction. Knee. 2015 Mar;22(2):100-10
8. Palmieri-Smith RM, Thomas AC, Wojtys EM Maximizing quadriceps strength after ACL reconstruction. Clin Sports Med. 2008 Jul; 27(3):405-24, vii-ix.



9. Buckthorpe M, La Rosa G, Villa FD. Restoring Knee Extensor Strength After Anterior cruciate ligament Reconstruction : a clinical Commentary . *Int J Sports Phys Ther.* 2019 Feb;14(1):159-172.
10. Shelbourne KD, Wilckens JH, Mollabashy A, DeCarlo M. Athrofibrosis in Acute Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. The Effect of Timing of Reconstruction and Rehabilitation. *Am J Sports Med.* 1991;19:332-336.
11. D'Onofrio R, Pintus A, De Nicola A. Le lesioni del lca nel calciatore: alcuni concetti sul recupero funzionale dopo ricostruzione del lca con tendine rotuleo libero- notiziario del settore tecnico FIGC – 1999,6; Novembre Dicembre 11 -15.
12. Shelbourne KD, Johnson BC. Effects of patellar tendon width and preoperative quadriceps strength on strength return after anterior cruciate ligament reconstruction with ipsilateral bone-patellar tendon-bone autograft. *Am J Sports Med.* 2004 Sep; 32(6):1474-8.
13. Shelbourne KD, Klotz C. What I have learned about the ACL: utilizing a progressive rehabilitation scheme to achieve total knee symmetry after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sci.* 2006;11(3):318-325.
14. Eitzen I, Holm I, Risberg MA . Preoperative quadriceps strength is a significant predictor of knee function two years after anterior cruciate ligament reconstruction *British Journal of Sports Medicine* 2009;43:371-376.
15. Logerstedt D, Lynch A, Axe MJ, Snyder-Mackler L. Symmetry restoration and functional recovery before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013 Apr; 21(4):859-68.
16. Alshewaiher S.,Yeowell G. and Fatoye F. The effectiveness of preoperative exercise physiotherapy rehabilitation on the outcomes of treatment following anterior cruciate ligament injury: A systematic review *Clinical Rehabilitation* - February 2017; 1 -11
17. Shibata Y, Matsushita T, Araki D, Kida A, Takiguchi K, Ueda Y, Ono K, Matsumoto T, Niikura T, Sakai Y, Kuroda R. Prediction of quadriceps strength recovery after anterior cruciate ligament reconstruction with a hamstring autograft: Decision tree analysis. *J Orthop Sci.* 2019 Mar;24(2):301-305.
18. Ueda Y, Matsushita T, Shibata Y, Takiguchi K, Kida A, Araki D, Kanzaki N, Hoshino Y, Ono R, Sakai Y, Kuroda R. Longitudinal Quadriceps Strength Recovery After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With Hamstring Autograft: Patients Stratified by Preoperative Quadriceps Strength Deficit. *J Sport Rehabil.* 2019 May 16:1-20.
19. Kitaguchi T, Tanaka Y, Takeshita S, Akizaki K. Preoperative quadriceps strength as a predictor of return to sports after anterior cruciate ligament reconstruction in competitive athletes *Physical Therapy in Sport* Volume 45, September 2020, Pages 7-13
20. Cabilan CJ, Hines S, Munday J. The effectiveness of prehabilitation or preoperative exercise for surgical patients: a systematic review. *JBI Database System Rev Implement Rep.* 2015 Jan;13(1):146-87.
21. Culvenor AG, Patterson BE, Guermazi A, et al. Accelerated return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction and early knee osteoarthritis features at 1 year: An exploratory study. *Phys Med Rehabil.* 2017; 2018;10:349-56
22. Hartigan EH, Zeni J Jr, Di Stasi S, Axe MJ, Snyder-Mackler L . Preoperative predictors for noncopers to pass return to sports criteria after ACL reconstruction. *J Appl Biomech.* 2012 Aug; 28(4):366-73.
23. Lepley LK, Palmieri-Smith RM. Pre-operative quadriceps activation is related to post-operative activation, not strength, in patients post-ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24(1):236-246.



24. van Melick N, van Cingel RE, Brooijmans F, Neeter C, van Tienen T, Hullegie W, Nijhuis-van der Sanden MW Evidence-based clinical practice update: practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *Br J Sports Med.* 2016 Dec; 50(24):1506-1515
25. Silkman C, McKeon J The effect of preoperative quadriceps strength on strength and function after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sport Rehabil.* 2012 Feb; 21(1):89-93.
26. Kim DK, Hwang JH, Park WH. Effects of 4 weeks preoperative exercise on knee extensor strength after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Phys Ther Sci.* 2015;27(9):2693-2696.
27. Carter M. Littlewood C . Webster KE - The effectiveness of preoperative rehabilitation programmes on postoperative outcomes following anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction: a systematic review *BMC Musculoskeletal Disorders* (2020) 21:647
28. Leitgeb J, Köttstorfer J, Schuster R, Kovar FM, Platzer P, Aldrian S Primary anterior cruciate ligament reconstruction in athletes: a 5-year follow up comparing patellar tendon versus hamstring tendon autograft. *Wien Klin Wochenschr.* 2014 Jul; 126(13-14):397-402
29. D'Onofrio R, Pintus A., Vicario de Miguel A. and Manzi V ; Single Leg Squat dopo chirurgia Ricostruttiva del LCA. Follow up correlativo a 6 mesi - Ita. *J. Sports Reh. Po.*; 2020; 7; 2; 1504 – 1521; ISSN 2385-1988
30. D'Onofrio R. Tucciarone A. Godente L, Fabbrini R. ; Ritorno allo sport dopo ricostruzione del LCA : terminologie e definizioni delle funzioni. Ita. *J. Sports Reh. Po.*; 2019 ; 6 ; 3 ;1348 – 1375.
31. Huber R, Viecelli C, Bizzini M, Friesenbichler B, Dohm-Acker M, Rosenheck T, Harder L, Maffiuletti NA. Knee extensor and flexor strength before and after anterior cruciate ligament reconstruction in a large sample of patients: influence of graft type. *Phys Sportsmed.* 2019 Feb;47(1):85-90
32. Fischer F, Fink C, Herbst E, Hoser C, Hepperger C, Blank C, Gföller P. Higher hamstring-to-quadriceps isokinetic strength ratio during the first post-operative months in patients with quadriceps tendon compared to hamstring tendon graft following ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018 Feb;26(2):418-425.
33. De Jong SN, van Caspel DR, van Haeff MJ, et al. Functional assessment and muscle strength before and after reconstruction of chronic anterior cruciate ligament lesions. *Arthroscopy* 2007;23:21–8.
34. Cristiani R, Mikkelsen C, Forssblad M, Engström B, Stålmán A. Only one patient out of five achieves symmetrical knee function 6 months after primary anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019;27(11):3461-3470.
35. Palmieri-Smith RM, Lepley LK. Quadriceps Strength Asymmetry After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Alters Knee Joint Biomechanics and Functional Performance at Time of Return to Activity. *Am J Sports Med.* 2015 Jul;43(7):1662
36. D'Onofrio R., Indagine Epidemiologica delle Lesioni Muscolari nel Calcio. Analisi Retroattiva della Letteratura. Ita *J Sports Reh Po* 2015; 2; 4 ; 345 - 367 ; doi : 10.17385/ItaJSRP.015.3007
37. Alshewaier S, Yeowell G, Fatoye F. The effectiveness of pre-operative exercise physiotherapy rehabilitation on the outcomes of treatment following anterior cruciate ligament injury: a systematic review. *Clin Rehabil.* 2017 Jan;31(1):34-44.
38. Hägglund M, Waldén M, Thomeé R Should patients reach certain knee function benchmarks before anterior cruciate ligament reconstruction? Does intense 'prehabilitation' before anterior cruciate ligament reconstruction influence outcome and return to sports? *Br J Sports Med.* 2015 Nov; 49(22):1423-4.



39. Shaarani SR, O'Hare C, Quinn A, Moyna N, Moran R, O'Byrne JM Effect of prehabilitation on the outcome of anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2013 Sep; 41(9):2117-27.
40. Failla MJ, Logerstedt DS, Grindem H, et al. Does Extended Preoperative Rehabilitation Influence Outcomes 2 Years After ACL Reconstruction? A Comparative Effectiveness Study Between the MOON and Delaware-Oslo ACL Cohorts [published correction appears in *Am J Sports Med.* 2017 Apr;45(5):NP9]. *Am J Sports Med.* 2016;44(10):2608-2614.
41. McHugh MP, Tyler TF, Browne MG, Gleim GW, Nicholas SJ. Electromyographic predictors of residual quadriceps muscle weakness after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 2002;30(3):334–339
42. Hemmerich A, van der Merwe W, Batterham M, Vaughn C. L. 2011 Knee rotational laxity in a randomized comparison of single- versus double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *American Journal of Sports Medicine*, 39 1 (January 2011), 4856 , 0363-5465
43. Markolf K, L. Gorek J, F. Kabo J, M. Shapiro M, S. 1990 Direct measurement of resultant forces in the anterior cruciate ligament. An in vitro study performed with a new experimental technique. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 72A 4 (April 1990), 557567, 1535-1386
44. Viola RW, Sterett WI, Newfield D, Steadman JR, Torry MR. Internal and External Tibial Rotation Strength after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Ipsilateral Semitendinosus and Gracilis Tendon Autografts. *The American Journal of Sports Medicine.* 2000;28(4):552-555.
45. Brandenburg SR, Matelic TM. Loss of Internal Tibial Rotation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Orthopedics.* 2018 Jan 1;41(1):e22-e26. doi: 10.3928/01477447-20171106-03. Epub 2017 Nov 14. PMID: 29136255.
46. Hiemstra LA, Webber S, MacDonald PB, Kriellaars DJ. Knee strength deficits after hamstring tendon and patellar tendon anterior cruciate ligament reconstruction. *Med Sci Sports Exerc.* 2000 Aug;32(8):1472-9.
47. Machado F, Debieux P, Kaleka CC, Astur D, Peccin MS, Cohen M. Knee isokinetic performance following anterior cruciate ligament reconstruction: patellar tendon versus hamstrings graft. *Phys Sportsmed.* 2018 Feb;46(1):30-35.
48. Bhatt J., D'Onofrio R., Padasala M., Joksimovi M., Bruno C., Melino D. and Manzi V. - Muscle injuries in Athletes. The relationship between H / Q ratio (Hamstring / Quadriceps ratio) *Ita. J. Sports Reh. Po.*; 2020; 7; 1; 1479 -1498;
49. D'Onofrio R., Padasala M., Apostolopoulos N., Bhatt J., Febbrari L., Bjelica B., Sicignano A., Manzi V.; The return to sport after muscular injury of the "Hamstring". A Systemic Review.; *Ita. J. Sports Reh. Po.* 2021; 8 (17); 2; 2; 1784 - 1813;

