



# Università degli Studi di Padova

CORSO DI LAUREA IN FISIOTERAPIA  
PRESIDENTE: *Ch.ma Prof.ssa Veronica Macchi*

## TESI DI LAUREA

RUOLO DELLA FORZA DEL QUADRICIPITE NEL SALTO DOPO RICOSTRUZIONE DEL  
LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE (ACL)

ROLE OF THE QUADRICEPS STRENGTH DURING JUMP TASK AFTER ANTERIOR  
CRUCIATE LIGAMENT RECONSTRUCTION: A SYSTEMATIC REVIEW

RELATORE: Prof. Riccardo Verza

Correlatore: Dott. Carlo Ramponi

Dott.ssa Marta Battaglia

LAUREANDO: Facco Massimiliano

Anno Accademico 2021/2022

# INDICE

<b>RIASSUNTO</b>	<b>3</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUZIONE</b>	<b>5</b>
<b>CAPITOLO 1 - IL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE</b>	<b>7</b>
Il legamento crociato anteriore (ACL)	7
Classificazione delle lesioni legamentose	7
Classificazione delle lesioni di ACL	8
Meccanismi di lesione del legamento crociato anteriore	8
Epidemiologia	9
<b>CAPITOLO 2 - IL MUSCOLO QUADRICIPITE DELLE LESIONI DI ACL</b>	<b>11</b>
Epidemiologia della debolezza del quadricipite	11
Il rinforzo muscolare nelle lesioni di acl	12
Return to Sport: come valutare correttamente la forza del quadricipite	13
<b>CAPITOLO 3 - MATERIALI E METODI</b>	<b>15</b>
Disegno dello studio	15
Strategia di ricerca	15
Selezione degli studi	15
Valutazione della qualità metodologica	16
Raccolta dei dati	17
Estrazione dei dati e analisi	17
<b>CAPITOLO 4 – RISULTATI</b>	<b>19</b>
Ricerca della letteratura	19
Tipologia di studi trovati	19
Valutazione della qualità metodologica	19
Partecipanti e altri dettagli degli studi inclusi	24
Misure di outcome per la biomeccanica	24
Misure di outcome per la forza muscolare	26
Misure di outcome dei dati elettromiografici	28
Misure di outcome nei test di salto	29
Misure di outcome per la funzione del ginocchio	32
<b>CAPITOLO 5 – DISCUSSIONE</b>	<b>32</b>
<b>CAPITOLO 6 - CONCLUSIONE</b>	<b>32</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>33</b>
<b>APPENDICE</b>	<b>38</b>

## RIASSUNTO

Premessa: La biomeccanica e la performance del salto possono non venire recuperate completamente dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore

Obiettivo e ipotesi di lavoro: lo scopo di questa revisione sistematica è verificare la presenza di evidenze scientifiche sul ruolo attribuibile alla forza del quadricipite nell'esecuzione corretta e performante del salto dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore (ACLR). In seguito il materiale trovato verrà inserito in un progetto di ricerca che prevede nello step successivo lo svolgimento di una scoping review.

La prima ipotesi è che in letteratura esistano evidenze supportive della stretta relazione tra la forza del quadricipite e la qualità del salto dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore (ACLR).

Metodo: è stata condotta una revisione sistematica della letteratura utilizzando cinque database elettronici, per verificare che ruolo giochi la forza del quadricipite nel ripristino della biomeccanica del ginocchio e dell'arto inferiore e nel ripristino della performance durante il salto dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore. Dalla ricerca effettuata, condotta tenendo conto dei criteri di inclusione ed esclusione, sono emersi 25 lavori che sono successivamente sottoposti a una valutazione della qualità metodologica utilizzando le scale: Down e Black modificata e la Rob 2.0 tool.

Risultati: dall'analisi degli studi inclusi in questa revisione sistematica è emerso come il deficit di forza del muscolo quadricipite giochi un ruolo fondamentale a seguito della rottura del legamento crociato anteriore (ACL). In particolare, deficit di forza del quadricipite erano correlati ai risultati riguardanti la biomeccanica, che hanno riportato errati schemi di movimento con picchi di flessione e di estensione di ginocchio ridotti durante il salto e una reazione verticale al suolo inferiori rispetto all'arto controlaterale e rispetto ai soggetti sani. Oltre a ciò, deficit di forza sono stati riscontrati bilateralmente sia nell'arto coinvolto che nell'arto sano a distanza di mesi, se non anni, a seguito dell'infortunio evidenziando deficit di attivazione e timing di pre attivazione del muscolo superiori rispetto ad altezze maggiori nel salto; questo portava ad uno squilibrio muscolare rispetto ai muscoli flessori di ginocchio aumentando considerevolmente il rischio di re-infortunio nei soggetti con ACLR rispetto alla popolazione di riferimento. In ultima analisi soggetti che erano stati sottoposti a intervento di ricostruzione con tendine rotuleo evidenziano deficit di forza maggiori rispetto all'utilizzo dei tendini semitendinoso e gracile.

Conclusioni: da questa revisione si evince che una corretta valutazione della forza del muscolo quadricipite è indispensabile per una riabilitazione ottimale dopo l'infortunio di ACL. In primo luogo la mancata attivazione del quadricipite è stata riscontrata nei pazienti con lesioni di ACL, ACLR ed è spesso osservata bilateralmente. Una maggiore forza muscolare dell'arto lesso ma anche dell'arto sano può fornire una migliore attenuazione dell'energia di carico ed una migliore qualità del movimento dell'arto inferiore durante i compiti dinamici nel salto. Rispetto ai test di salto, i partecipanti con ACLR hanno mostrato più errori durante l'atterraggio rispetto alla popolazione di riferimento. Il verificarsi di errori di atterraggio era correlato negativamente con la forza di estensione del ginocchio, suggerendo che i partecipanti più deboli avevano più errori di atterraggio. La debolezza persistente del quadricipite, comunemente associata all'ACLR, può essere correlata a una ridotta qualità del movimento dell'arto inferiore durante i compiti dinamici. Studi futuri dovrebbero indagare i deficit di forza rispetto ad ogni singolo intervento chirurgico, ma allo stesso tempo tener conto delle componenti neurocognitive ed emotive comportamentali che non sono state considerate in questa ricerca.

## ABSTRACT

Background: The jump landing biomechanics and the jump performance may not be restored after anterior cruciate ligament reconstruction.

Objective and working hypothesis: the aim of this bibliographic review is to verify the presence of scientific evidence about the role of quadriceps strength during jump landing task after anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR). Thereafter, the found material will be included in a research project, which includes in the next step the conduct of a scoping review.

The first hypothesis is that supportive evidence exists in the literature of the close relationship between quadriceps strength and jumping quality after anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR).

Methods: A systematic literature review was conducted using five electronic databases, to ascertain what role quadriceps strength plays in restoring knee and lower extremity biomechanics and performance during jumping after ACLR reconstruction. The search conducted taking into account the inclusion and exclusion criteria yielded 25 papers, which will subsequently undergo methodological quality assessment by using the scales: modified Downs and Black and the Rob 2.0 tool.

Results: analysis of the studies included in this literature review revealed that quadriceps muscle strength deficit plays a key role following anterior cruciate ligament (ACL) rupture. Specifically, quadriceps strength deficits were correlated with findings regarding biomechanics, which reported erroneous movement patterns with reduced peak knee flexion and extension during jumping and lower vertical ground reaction force compared with the contralateral limb and compared with healthy subjects. In addition to this, strength deficits were found bilaterally in both the involved and healthy limb months, if not years, following the injury evidencing higher muscle activation deficits and preactivation timing compared to higher heights in jumping; this led to muscle imbalance with respect to the knee flexor muscles and increasing the risk of re-injury in subjects with ACLR compared to the reference population. Ultimately subjects who had undergone patellar tendon reconstruction surgery show greater strength deficits compared to using the semitendinosus and gracilis tendons.

Conclusion: this review shows that proper assessment of quadriceps muscle strength is essential for optimal rehabilitation after ACL injury. First of all, failure of quadriceps activation has been found

in patients with ACL, ACLR injury and is often observed bilaterally. Increased muscle strength of the injured limb but also of the healthy limb may provide better attenuation of load energy and better quality of movement of the lower limb during dynamic tasks in jumping. Compared with jumping tests, participants with ACLR showed more errors during landing than the reference population. The occurrence of landing errors was negatively correlated with knee extension strength, suggesting that weaker participants had more landing errors. Persistent quadriceps weakness, commonly associated with ACLR, may be related to reduced quality of lower limb motion during dynamic tasks. Future studies should investigate strength deficits with respect to each individual surgery, but at the same time take into account neurocognitive and emotional behavioral components that were not considered in this research.

## INTRODUZIONE

La lesione al legamento crociato anteriore (ACL) è un infortunio disabilitante molto comune soprattutto tra la popolazione sportiva giovanile.

La lesione del legamento crociato anteriore è una dei principali infortuni che interessano il ginocchio, con un'incidenza di 68,6 casi ogni 100.000 soggetti l'anno. È osservata soprattutto negli atleti e nei soggetti che praticano specifici sport che prevedono salti, torsioni e frequenti cambi di direzione, come calcio, basket, pallamano, pallavolo e sci.

Ogni anno solo negli Stati Uniti si verificano circa 80.000 lesioni del legamento crociato anteriore, di cui circa 50.000 richiedono una ricostruzione chirurgica, per un costo di quasi un miliardo di dollari (1).

Uno studio ha riportato dati interessanti circa le differenze di incidenza di tale condizione, durante l'allenamento e durante le competizioni. È stato evidenziato come ci siano maggiori infortuni durante le partite piuttosto che durante l'allenamento. Nello specifico, nella serie A di calcio, è stata osservata un'incidenza di 0,4 casi ogni 1000 ore di partite e 0,03 casi ogni 1000 ore di allenamento. Circa il 70% delle lesioni al crociato anteriore si verifica in seguito a un episodio di non contatto, tipicamente durante l'esecuzione di movimenti caratterizzati da un'improvvisa decelerazione o da un cambio di direzione, come il taglio laterale (2). Particolarmente preoccupante è l'incidenza sproporzionata delle lesioni del legamento crociato anteriore senza contatto in base al sesso, con le femmine che subiscono queste lesioni con una frequenza da 5 a 7 volte superiore rispetto ai maschi. Il trattamento gold-standard dopo una lesione al legamento crociato anteriore soprattutto all'interno della popolazione sportiva che necessita di una ripresa di attività ad alta domanda prestazionale risulta essere la chirurgia anche se, recenti dati in letteratura dimostrano una possibile gestione conservativa in quei pazienti che presentano un profilo coper dopo 6-8 settimane post lesione (3).

In generale, la ricostruzione del legamento crociato anteriore è considerata una procedura chirurgica di successo; tuttavia, i tassi di recidiva sono molto elevati. Una recente metanalisi ha dimostrato che solo il 60% circa dei pazienti ritornano a livelli di partecipazione sportiva pre-infortunio (4).

Una metanalisi ha dimostrato inoltre, il basso tasso di ritorno allo sport dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore, con appena il 55% dei pazienti che ritornano allo sport agonistico (5). Questi autori hanno suggerito di porre maggiore enfasi sull'uso dei risultati basati sulla partecipazione per valutare l'efficacia della ricostruzione del legamento crociato anteriore, piuttosto che sui risultati basati sulla menomazione. Sebbene le tecniche chirurgiche siano continuamente

migliorate, dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore si notano costantemente asimmetrie nelle strategie di carico durante il salto e l'atterraggio.

Spesso i modelli di atterraggio anomali durante i salti vengono attribuiti alla debolezza del quadricipite che è un segno clinico comune dopo una lesione del legamento crociato anteriore e a seguito della ricostruzione del legamento crociato anteriore (ACLR).

La riabilitazione della muscolatura del quadricipite dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore è stata oggetto di molti dibattiti. Infatti, alla fine degli anni '70 e all'inizio degli anni '80, il rafforzamento dei quadricipiti veniva minimizzato per il timore che l'esercizio esercitasse uno sforzo eccessivo sull'innesto del legamento crociato, mentre oggi si raccomanda un rafforzamento precoce e aggressivo di questo gruppo muscolare, poiché la maggior parte degli esercizi per i quadricipiti si è dimostrata sicura (6) e necessaria per massimizzare la funzione dell'articolazione del ginocchio (7-8). Sebbene clinici e ricercatori continuino a fare progressi rispetto alle attuali tecniche di riabilitazione attraverso lo sviluppo di nuovi interventi per massimizzare la forza del quadricipite dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore, l'obiettivo di un recupero completo di tale muscolatura spesso non è raggiunto, Una revisione della letteratura attuale suggerisce che i deficit di forza del quadricipite possono superare il 20% a 6 mesi dalla ricostruzione del legamento crociato, un momento in cui molti atleti possono tornare all'attività (9-17). L'entità della debolezza del quadricipite sembra diminuire con il passare del tempo, ma la maggior parte delle ricerche suggeriscono che i deficit tra l'arto lesa e quello non lesa sono evidenti anni dopo la ricostruzione, suggerendo la natura a lungo termine di questo problema. Altrettanto preoccupante è l'evidenza crescente che suggerisce la presenza di una debolezza bilaterale del quadricipite in seguito a una lesione unilaterale del legamento crociato anteriore (11-12). Poiché il quadricipite è fondamentale per la stabilità dinamica dell'articolazione del ginocchio e la debolezza di questo gruppo muscolare è correlata a scarsi risultati funzionali e può contribuire all'insorgenza precoce dell'osteoartrite (10), l'identificazione di strategie per ridurre al minimo la debolezza del quadricipite dopo la lesione e la ricostruzione del legamento crociato anteriore è di grande interesse clinico.

L'idea di questa tesi origina proprio dalla presa di coscienza e dall'accostamento a questa problematica clinica e riabilitativa: l'obiettivo primario di questa revisione bibliografica è verificare la presenza di evidenze scientifiche sul ruolo attribuibile alla forza del quadricipite nell'esecuzione corretta e performante del salto dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore (ACLR),



analizzando le differenze nella forza del quadricipite nelle strategie di carico, di movimento e di performance durante il salto (si intende sia la fase di spinta e che quella di atterraggio) tra l'arto con ACLR e l'arto controlaterale, confrontando tali valori con quelli di riferimento, in modo tale da individuare i fattori da considerare per ridurre il rischio di re-infortunio.

# CAPITOLO 1 - IL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE

## Il legamento crociato anteriore (ACL)

Il legamento crociato anteriore è una struttura connettivale con un decorso obliquo dall'alto verso il basso ed una lunghezza variabile tra 1.8 cm e 3.30cm. Il terzo centrale presenta un'ampiezza di spessore ridotto rispetto le estremità rendendolo più vulnerabile a sollecitazioni meccaniche.

È formato da due fasci, uno antero-mediale e uno postero-laterale che presentano un pattern lunghezza-strain differente in base alla posizione del ginocchio.

Le due principali funzioni del legamento sono meccaniche, limita la traslazione anteriore della tibia e la rotazione interna e neurosensoriali, invia tonicamente informazioni propriocettive alla corteccia somato-sensoriale. Una lesione dello stesso comprometterebbe entrambe le funzioni creando alterazioni biomeccaniche periferiche e una dead-zone informativa corticale inducendo meccanismi di neuroplasticità centrale maladattiva (3).

## Classificazione delle lesioni legamentose

Le lesioni legamentose possono essere classificate in:

- Stiramento o distrazione legamentosa:
  - assenza di lesioni strutturali
  - dolore locale
  - nessuna instabilità
- Lesione parziale:
  - sintomatologia clinica variabile in relazione al tono muscolare del paziente
  - lassità legamentosa di modesta entità. L'instabilità determinata dalla lesione ha un'escursione compresa tra i 3 mm e i 5 mm
- Lesione totale:
  - instabilità articolare obiettivabile, con significativa perdita di funzionalità
  - sensazione di insicurezza e cedevolezza del ginocchio, in particolare in caso di stop improvviso durante la deambulazione o in caso di bruschi cambi di direzione.

In maniera più specifica, una lesione di terzo livello può essere ulteriormente distinta in:

- I grado: lassità con escursione anomala di circa 5 mm;
- II grado: lassità con escursione anomala compresa tra 5 mm e 10 mm;

- III grado: lassità con escursione anomala di oltre 10 mm.

### **Classificazione delle lesioni di ACL**

Il legamento crociato anteriore risulta esser il legamento più frequentemente lesionato. Le lesioni di ACL si verificano soprattutto in sport specifici che prevedono salti, torsioni e frequenti cambi di direzione, come il basket, il calcio, lo sci e il rugby.

A seconda del trauma, le lesioni del ACL si distinguono in due principali categorie:

- Lesioni da contatto: dove il trauma interessa la parte laterale del ginocchio con uno sviluppo di una forza esterna in valgo sul ginocchio (triade infelice con lesione ACL + lesione LCM + lesione Menisco mediale)
- Lesioni da meccanismi indiretti: trauma che si verifica a seguito di un movimento rotatorio (tibia che ruota esternamente con piede fisso) 78% delle cause di lesione, oppure per un'iperestensione forzata del ginocchio

Inoltre, gli aumenti che si verificano nei momenti di varo e valgo sono fattori determinanti nella lesione della LCA.

Un'ulteriore classificazione può essere fatta per i pazienti che vanno incontro a lesione di ACL.

Possiamo infatti avere dei pazienti:

- Coper potenziale (stabilità dinamica sufficiente del ginocchio, capacità di compensare post lesione e un buon potenziale per ritornare all'attività di alto livello precedenti alla lesione dopo un ciclo di trattamento non chirurgico)
- Noncoper potenziale (necessità di intervento chirurgico)
- Paziente anziano e sedentario noncoper dove il trattamento chirurgico non è indicato (Il trattamento conservativo può essere indicato nelle persone anziane e sedentarie, sebbene un ginocchio senza LCA sia altamente instabile, porti spesso a lesioni meniscali e articolari e successive modificazioni degenerative).

### **Meccanismi di lesione del legamento crociato anteriore**

Valutiamo nello specifico pattern di lesione più frequenti:

- **Valgismo-Rotazione Esterna:** in questo tipo di traumi la tibia viene portata in valgismo (abduzione) ed in rotazione esterna. L'aspetto più importante di questo meccanismo è il susseguirsi delle lesioni, che si producono in due tempi; dapprima è interessato il compartimento interno, cioè il fascio superficiale del legamento collaterale mediale, il fascio profondo del collaterale interno e il legamento posteriore obliquo di Hughston. Se il trauma

non si esaurisce possiamo avere una sub-lussazione verso l'avanti del piatto tibiale mediale che può causare la rottura del legamento crociato anteriore.

- **Varismo-Rotazione Interna:** è il secondo meccanismo traumatico in ordine di frequenza. A volte durante la ricaduta in seguito ad un salto o ad un cambio di direzione, il piede rimane fisso al suolo ed il ginocchio si porta in varismo (adduzione) con la tibia in rotazione interna rispetto al femore. Così si verifica una sub-lussazione del piatto tibiale laterale che causa la rottura del legamento crociato anteriore.

Anche questa lesione si verifica in due tempi, con la differenza che adesso è il legamento crociato anteriore a rompersi per primo e, se il trauma non si esaurisce con la rottura di questo, è anche secondariamente interessato il compartimento capsulo-ligamentoso periferico laterale che si interrompe nel suo contesto (lesione interstiziale), oppure causando una piccola avulsione del bordo tibiale esterno, chiamata frattura di Segond, che rappresenta la migliore “spia” radiografica di una rottura del LCA in varismo-rotazione interna.

- **Iperestensione:** è il terzo meccanismo traumatico in ordine di frequenza che può provocare una rottura del Legamento Crociato Anteriore. Una iperestensione del ginocchio è frequente e può verificarsi in molti sport, ad esempio nello sferrare un calcio a vuoto, nel ricadere da un salto con il ginocchio esteso o anche nel semplice appoggio durante il cambio di marcia. Nell'iperestensione del ginocchio, il legamento crociato anteriore viene ghigliottinato dal tetto della gola intercondiloidea. Il legamento crociato anteriore, infatti, possiede anche la funzione di limitare l'estensione del ginocchio facendo da “battuta” sulla gola intercondiloidea. I pazienti con una lesione del LCA, riferiscono che il loro ginocchio “fugge all'indietro”; questo è determinato dal fatto che il ginocchio sotto carico tende a recurvare (iperestendere) rispetto a quello sano, perché i mecano-recettori del crociato anteriore lesionato non trasmettono alcuna informazione al cervello sulla posizione nello spazio del ginocchio, cosicché il paziente lamenta un cedimento.
- **Iperflessione con brusca contrazione del quadricipite:** Questo tipo di meccanismo di rottura del legamento crociato anteriore è meno frequente dal punto di vista statistico. Avviene soprattutto quando si sposta il peso all'indietro e per evitare di cadere si contrae massimamente il quadricipite provocando così la lesione.

## **Epidemiologia**

La lesione del legamento crociato anteriore è una delle condizioni più comuni che interessano il ginocchio, con un'incidenza di 68,6 casi ogni 100.000 soggetti l'anno. Uno studio ha riportato dati interessanti circa le differenze di incidenza di tale condizione, durante l'allenamento e durante le

competizioni. È stato evidenziato come ci siano maggiori infortuni durante le partite piuttosto che durante l'allenamento. I rischi di lesioni al legamento crociato anteriore in partite e allenamenti per le femmine erano pari a 0,191 (95% CI, 0,168-0,216) e 0,022 (95% CI, 0,017-0,029), rispettivamente, corrispondenti a un RR complessivo di 8,54 (95% CI, 6,46-11,30). Nei maschi, i tassi comparabili erano pari a 0,174 (95% CI, 0,154-0,196) per le partite e 0,025 (95% CI, 0,021-0,030) per gli allenamenti, con un RR complessivo di 6,85 (95% CI, 5,52-8,49); ipotizzando che tali differenze sono probabilmente dovute ad una maggiore intensità del gioco durante le competizioni e ad altri fattori sia fisici che psicologici (60). Le femmine, inoltre, risultano essere maggiormente predisposte rispetto agli uomini a questo tipo di infortunio in alcuni sport, probabilmente a causa di diverse caratteristiche anatomiche e a fattori neuromuscolari. A supporto di questa affermazione una revisione sistematica ci indica che il tasso di lesioni al legamento crociato è stato significativamente più alto nelle ragazze, con un RR (Risk ratio) calcolato per le lesioni al legamento crociato complessivo tra femmine e maschi di 1,40 (95% CI, 1,25-1,57) (60). Nello specifico viene riportata una **tabella 1** che esplica in modo esaustivo la differenziazione tra i diversi sport, la cui spiegazione è chiaramente esplicitata nello studio di Bram et al. (60).

#### IR E RISCHIO DI LESIONE DI ACL NEL PRESTAGIONE PER SESSO E SPORT

SPORT	Femmine		Maschi		Totale Rapporto del rischio (95% CI)
	IR (95% CI)	Rischio Pre-season, %	IR (95% CI)	Rischio Pre-season, %	
<b>BASKETBALL</b>	0.110 (0.094-0.128)	1.03	0.027 (0.019-0.035)	0.25	4.14 (2.98-5.76)
<b>CHEERLEADING</b>	0.014 (0.005-0.030)	NO	NP	NP	NP
<b>HOCKEY SU PRATO</b>	0.035 (0.019-0.058)	0.25	NP	NP	NP
<b>FOOTBALL AMERICANO</b>	NP	NP	0.101 (0.092-0.111)	0.82	NP
<b>GINNASTICA ARTISTICA</b>	0.114 (0.046-0.235)	1.01	NP	NP	NP
<b>HOCKEY SU GHIACCIO</b>	NP	NP	0.009 (0.001-0.033)	NP	NP
<b>LACROSSE</b>	0.112 (0.092-0.135)	0.81	0.088 (0.066-0.114)	0.64	1.28 (0.92-1.76)
<b>CALCIO</b>	0.166 (0.146-0.189)	1.21	0.054 (0.042-0.068)	0.39	3.10 (2.36-4.07)
<b>SOFTBALL</b>	0.028 (0.017-0.042)	0.21	0.010 (0.005-0.018)	0.08	2.68 (1.30-5.52)
<b>ATLETICA/MARATONA</b>	0.016 (0.008-0.029)	0.11	0.005 (0.001-0.013)	0.03	3.20 (1.00-10.31)
<b>PALLAVOLO</b>	0.023 (0.014-0.036)	0.17	NP	NP	NP
<b>TOTALE</b>	0.084 (0.077-0.091)	NP	0.034 (0.023-0.049)	0.32	1.40 (1.25-1.57)

**ACL, LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE; IR, TASSO DI INCIDENZA; RR, RAPPORTO DI RISCHIO.**

## **CAPITOLO 2 - IL MUSCOLO QUADRICIPITE NELLE LESIONI DI ACL**

### **Epidemiologia della debolezza del quadricipite**

La debolezza del quadricipite è una dei segni distintivi della presentazione clinica in individui dopo un intervento chirurgico di ricostruzione del legamento crociato anteriore (ACLR). Le evidenze attuali ci dicono che la forza del quadricipite difficilmente può tornare ai livelli stimati prima dell'infortunio, anche dopo la riabilitazione post-operatoria e il ritorno allo sport (13-14).

Prima di iniziare i programmi di riabilitazione del crociato anteriore, i clinici spesso si pongono l'obiettivo di migliorare/massimizzare la forza dei quadricipiti dei loro pazienti. Sebbene questo obiettivo sia appropriato e utile, la capacità di raggiungerlo dipende direttamente dai fattori che sono responsabili della debolezza muscolare risultante. L'incapacità di comprendere appieno i potenziali fattori che contribuiscono alla debolezza dei quadricipiti probabilmente può portare allo sviluppo di strategie riabilitative inefficaci e, in ultima analisi, al mancato raggiungimento di questo obiettivo. Sebbene l'eziologia della debolezza del quadricipite associata alla lesione e alla ricostruzione del legamento crociato anteriore sia ancora poco conosciuta, esistono prove che suggeriscono che l'inibizione muscolare artrogenica (AMI) e forse l'atrofia muscolare siano i principali responsabili della diminuzione della forza del quadricipite. Si ipotizza che l'inibizione muscolare artrogenica (ad esempio, la mancata attivazione volontaria) derivi da un'attività riflessa in cui un'afferenza alterata proveniente dall'articolazione lesionata porta a una diminuzione dell'impulso motorio efferente ai muscoli (15). In particolare, si ritiene che la perdita di meccanorecettori dal legamento crociato anteriore interrompa il riflesso muscolare-legamentoso tra il legamento crociato e il quadricipite, portando all'incapacità di reclutare attivamente le unità motorie ad alta soglia durante le contrazioni volontarie del quadricipite (16). L'AMI è stata identificata quasi universalmente in tutti gli studi che hanno esaminato l'attivazione del quadricipite in pazienti dopo la rottura e la ricostruzione del legamento crociato anteriore. Forse ancora più importante, è stato dimostrato che contribuisce ai deficit di forza del quadricipite post-traumatici. È inoltre importante notare che l'AMI si presenta bilateralmente in seguito alla rottura unilaterale del legamento crociato e sorprendentemente, in alcuni casi, il deficit di attivazione del quadricipite nell'arto controlaterale è riportato come equivalente a quello dell'arto lesa (16). Una ridotta capacità di attivare volontariamente il quadricipite (ad esempio, l'AMI) può spiegare la debolezza persistente

del quadricipite dopo la rottura del legamento crociato anteriore e la successiva riparazione e riabilitazione.

### **Il rinforzo muscolare nelle lesioni di acl**

L'atrofia muscolare del quadricipite, che consiste in una riduzione del numero di fibre muscolari oppure ad una riduzione di volume delle singole fibre muscolari, è spesso evidente dopo la rottura e la ricostruzione del crociato anteriore (ACLR), ma la sua origine è sconosciuta e il suo contributo alla debolezza del quadricipite rimane discutibile. La maggior parte delle ricerche ha stabilito una scarsa relazione tra l'atrofia muscolare e l'entità della debolezza del quadricipite associata alla lesione del crociato anteriore (18-19). Contrariamente a questi risultati, Williams e colleghi (20) hanno recentemente dimostrato che l'atrofia del quadricipite e il fallimento dell'attivazione rappresentano insieme circa il 62% della varianza della debolezza del quadricipite nei noncopers con deficit del legamento crociato, suggerendo che l'atrofia svolge un ruolo significativo nella riduzione della forza del quadricipite. Non è stato esaminato se l'atrofia persista dopo la ricostruzione e la riabilitazione del legamento crociato anteriore e se contribuisca alla debolezza del quadricipite a lungo termine, e questo richiede studi futuri. In genere, l'atrofia da disuso che si verifica con la lesione del legamento crociato anteriore è considerata il risultato della diminuzione dell'intensità/volume dell'esercizio fisico dovuta alla mancata partecipazione allo sport e/o all'immobilizzazione dell'articolazione del ginocchio. In questo caso, l'utilizzo dell'esercizio volontario per favorire il ripristino dell'ipertrofia muscolare appare giustificato. Bisogna però considerare che l'atrofia del quadricipite associata alla lesione del crociato anteriore è probabilmente, almeno in parte, causata dalla presenza di AMI. Ricordiamo che l'AMI previene la completa attivazione del quadricipite e quindi può generare un disuso indotto dal corpo, per cui la mancanza di tensione prodotta nelle fibre muscolari inibite porta all'atrofia del tessuto interessato. Pertanto, se si potesse prevenire l'AMI, probabilmente si potrebbe ridurre l'entità dell'atrofia del quadricipite.

Spesso le proposte terapeutiche di rinforzo nella riabilitazione del legamento crociato sono incentrate solo su esercizi che richiedono ai pazienti di attivare volontariamente i muscoli senza curarsi della componente neuromotoria e di quella neurocognitiva. Poiché l'AMI impedisce la completa attivazione volontaria, focalizzare la riabilitazione con il solo scopo di ripristinare la forza, è troppo riduttivo. In virtù di quanto detto è poco interessante lavorare su parametri di forza nella prima fase post-chirurgica ma è molto più indicato normalizzare quelle alterazioni che dis-regolano l'output neuro-motorio.

Recenti evidenze scientifiche hanno messo in luce alcune strategie terapeutiche che minimizzerebbero questa tendenza inibitoria post lesionale: la contrazione eccentrica riduce i meccanismi inibitori e mantiene alta l'eccitabilità del fuso (28); la vibrazione a livello degli hamstrings induce fatigue indotta e sfrutta i meccanismi di inibizione reciproca facilitando il reclutamento del quadricipite (29); la TENS (30).

Oltre a queste appena descritte, alcune strategie neuro-cognitive, come l'utilizzo di un focus attentivo esterno che faciliterebbe l'eccitabilità cortico-spinale, potrebbero essere utili già in prima fase. Clausen e colleghi (27) hanno dimostrato un netto e superiore miglioramento della forza in tutti quei soggetti che associavano un training neuro-motorio con un gaming approach che fungeva da bio-feedback enfatizzando divertimento e quindi adesione al trattamento (19).

In sintesi, tutte le fonti della debolezza muscolare del quadricipite devono essere prese in considerazione quando si progettano i protocolli di riabilitazione. L'utilizzo di una sola strategia (per esempio, l'esercizio mediante attivazione volontaria) per recuperare la forza completa del quadricipite può portare a un recupero muscolare incompleto e deve essere evitato. E' necessario quindi considerare tutti gli aspetti che possono influire nel recupero della forza del quadricipite; dall'AMI, alle componenti neuromotorie e neurocognitive senza dimenticare la sfera emotiva-affettiva e comportamentale del soggetto potrebbero giocare un ruolo cardine nella riduzione le recidive.

### **Return to Sport: come valutare correttamente la forza del quadricipite**

L'attuale "gold standard" per i test di forza muscolare del quadricipite dopo l'ACLR è la dinamometria isocinetica eseguita a bassa velocità (60 gradi/secondo) (21). Durante il test isocinetico, la forza del quadricipite viene riportata come coppia concentrica in estensione del ginocchio (21). Inoltre, l'indice di simmetria dell'arto (LSI) viene calcolato come il rapporto tra il picco di forza in estensione del ginocchio nell'arto coinvolto e il picco di forza in estensione del ginocchio nell'arto non coinvolto. Queste variabili isocinetiche sono comunemente utilizzate nella letteratura di medicina sportiva per determinare i criteri di ritorno allo sport dopo ACLR (21). Tuttavia, il test di forza del quadricipite con la dinamometria isocinetica presenta delle limitazioni, tra cui la posizione del test (catena cinetica aperta rispetto a quella portante o chiusa presente nei meccanismi di lesione) e fattori di fattibilità (costo e personale addestrato per operare). Per queste ragioni, sono stati sviluppati altri test facili da usare sul campo e clinici. I test a salto singolo (SH) o a triplo salto (TH) per distanza sono due test comuni e sono stati validati per l'uso clinico in soggetti dopo ACLR (22). Recentemente, è stato dimostrato che i pazienti dopo la ricostruzione del



legamento crociato anteriore con un quadiceps strenght index ( $[(\text{MVIC arto lesionato o ricostruito}/\text{MVIC arto controlaterale}) * 100]$  dove MVIC indica la massima contrazione isometrica volontaria a seconda di come viene effettuato il test)

dell'85 % presentavano una riduzione della funzione, mentre quelli con valori QSI superiori al 90% mostravano prestazioni funzionali simili a quelle dei soggetti non lesionati (23). Il problema è che, nonostante la significatività statistica, le correlazioni sono spesso deboli o moderate. Inoltre, i clinici tendono ad interpretare i risultati della letteratura come se i test di salto potessero essere utilizzati come test surrogati della forza del quadricipite. Si tratta di un errore, come recentemente pubblicato da Nagai et al. (24). Gli autori hanno infatti dimostrato che i valori di QSI e test isocinetici mediante dinamometro erano positivamente correlati alla distanza di salto (buoni valori corrispondevano ad una maggiore distanza di salto) e alla potenza delle gambe durante il test leg press. Lo stesso è stato dimostrato per i valori LSI (Limb symmetry index). Tuttavia, i valori LSI devono essere interpretati con cautela, poiché i test di salto hanno fornito valori LSI significativamente più elevati (quindi maggiormente positivi) rispetto ai test isocinetici e isometrici. Questo ci indica che un test di salto valutato mediante LSI potrebbe non essere adeguatamente sensibile come criterio per il return to sport come invece lo sono i test isocinetici (24).

## CAPITOLO 3 - MATERIALI E METODI

### Disegno dello studio

La revisione della letteratura è stata condotta consultando i database di PubMed, CINAHL, EMBASE, Cochrane Library, Web of Science, SPORTDiscus e PEDro e si è protratta fino al 31 agosto 2022.

### Strategia di ricerca

Sono state individuate singole parole di testo relative all'argomento principale della revisione e sono state combinate in diversi campi di classificazione, come si può vedere nell'**allegato 1**.

Per ogni termine in ogni campo sono stati identificati tutti i possibili termini [Mesh] e di conseguenza sono stati raccolti i termini nella tabella. Per ogni termine [Mesh] sono stati trovati quanti articoli erano correlati a ciascuno di esso.

L'insieme dei termini selezionati, sono stati raggruppati in base alla regione anatomica di interesse, il tipo di lesione, i soggetti inclusi negli studi e il movimento funzionale.

Successivamente è stata creata la corretta struttura della stringa di ricerca per prove di errori, dopo aver combinato tutti i termini [Mesh] utilizzando gli operatori booleani AND/OR.

In totale, dalla ricerca, sono emersi 1154 record da tutti i software di database.

### Selezione degli studi

La prima fase del processo di selezione è stata la valutazione dei titoli dei records trovati con la ricerca sistematica. Gli articoli sono stati inclusi se i titoli identificavano argomenti che riguardavano ACLR e lesioni ACL, analisi del salto e l'articolazione del ginocchio. Se il titolo non era chiaro, è stato analizzato l'abstract per scegliere se l'articolo poteva essere incluso nella ricerca.

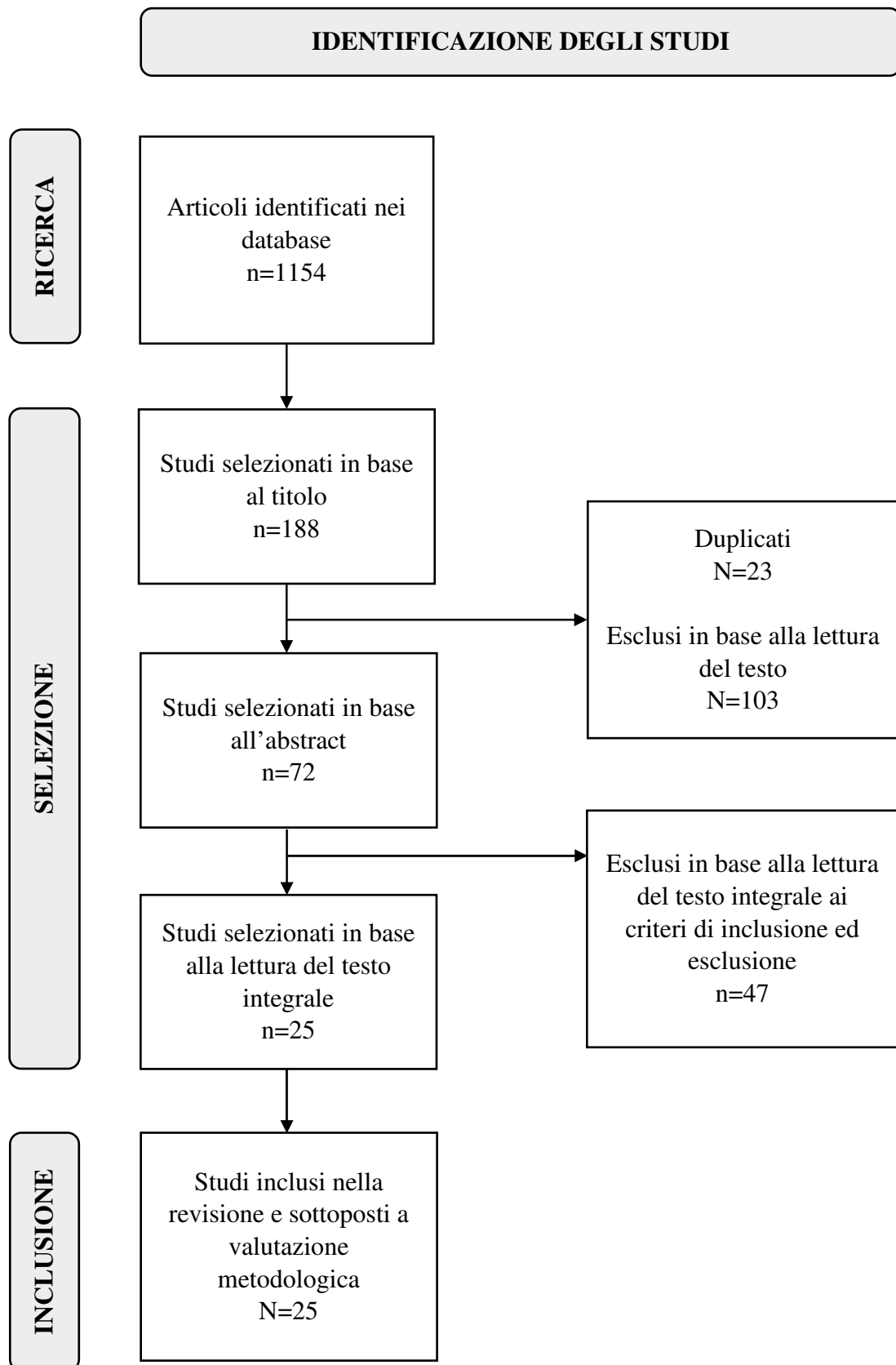
Non sono state applicate restrizioni ai record per quanto riguarda l'anno di pubblicazione e il tipo di articolo, ma sono state incluse solo le pubblicazioni full text in inglese.

Dopo questo processo di selezione sono stati trovati 188 documenti.

Dopo la ricerca, tutti i record identificati sono stati raccolti e importati in Mendeley reference e i duplicati; sono stati rimossi manualmente (23 record rimossi).

Sono stati consecutivamente esaminati gli abstract di tutti gli articoli identificati come rispondenti ai criteri di ricerca.

Dopo questo processo sono stati selezionati 72 records.



**Figura 1.** Diagramma di selezione degli studi

Successivamente, è stato analizzato il testo integrale di ogni articolo secondo i criteri di inclusione ed esclusione descritti in **tabella2**, trovando 25 articoli corrispondenti.

TABELLA 2. Criteri di inclusione ed esclusione degli articoli

CRITERI DI INCLUSIONE	CRITERI DI ESCLUSIONE
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Studio di tutti i tempi</li> <li>▪ Tutti i tipi di articoli</li> <li>▪ Lingua inglese</li> <li>▪ Testo completo della ricerca originale</li> <li>▪ Specie: umana</li> <li>▪ Età: 17++</li> <li>▪ Sesso: maschio, femmina</li> <li>▪ Pazienti sportivi</li> <li>▪ Pazienti sottoposti a lesione del legamento crociato anteriore e ACLR</li> <li>▪ Lesione ACLR o ACLR unilaterale</li> <li>▪ Tempo dopo la lesione o la ricostruzione del legamento crociato anteriore</li> <li>▪ Studi che includono il salto: a due gambe, a una gamba, con test di esito riferiti</li> <li>▪ Dati sulla forza isometrica e isocinetica</li> <li>▪ Dati biomeccanici dell'articolazione del ginocchio: angolo di flessione del ginocchio, momento interno del ginocchio, momento sul piano sagittale, momento di adduzione del ginocchio, angolo di valgismo del ginocchio.</li> <li>▪ Studi che hanno confrontato l'arto ACL con l'arto controlaterale e/o con un gruppo di controllo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pazienti con osteoartrite del ginocchio</li> <li>▪ Lesioni di più legamenti</li> <li>▪ Precedente intervento chirurgico all'anca o al ginocchio che possa influire sulla funzionalità dell'anca o del ginocchio.</li> <li>▪ Lesione o intervento chirurgico all'arto inferiore nell'anno precedente che abbia richiesto cure mediche o che abbia influito sulla funzionalità dell'anca o del ginocchio</li> </ul>

### Valutazione della qualità metodologica

La qualità metodologica degli articoli selezionati è stata valutata utilizzando due diverse scale per la qualità metodologica degli studi randomizzati e non randomizzati controllati. La prima è la checklist di Downs and Black. La scala originale si compone di 27 quesiti, divisi in 4 gruppi: Presentazione, Validità esterna, Validità interna, e Potenza. Il punteggio massimo possibile è 32, a cui corrisponde la più alta qualità metodologica.

Nella scala originale, il quesito 27 può assumere i valori da 0 a 5, tuttavia dato che quest'ultimo risulta ambiguo, in linea con quanto affermato in altri studi (58-59) si è deciso di modificarlo in una scala da 0 a 1. Viene dato 1 se vi è un calcolo del campione necessario, qualora ciò non fosse stato

fatto o se non è dichiarato se la numerosità del campione è adeguata si attribuisce il punteggio 0 (25).

La seconda scala è la Risk of bias 2.0 (RoB 2.0 tool). La versione 2 del Cochrane risk-of-bias tool for randomized trials è lo strumento raccomandato per valutare il rischio di bias negli studi randomizzati inclusi nelle revisioni Cochrane. La RoB 2 è strutturata in una serie fissa di domini di parzialità, che si concentrano su diversi aspetti della progettazione, della conduzione e del reporting degli studi. All'interno di ciascun dominio, una serie di domande ("domande di segnalazione") mira a raccogliere informazioni sulle caratteristiche dello studio che sono rilevanti per il rischio di bias. Un algoritmo genera una proposta di giudizio sul rischio di bias derivante da ciascun ambito, sulla base delle risposte alle domande di segnalazione. Il giudizio può essere "Basso" o "Alto" rischio di bias, oppure può esprimere "Alcune preoccupazioni". Oltre a ciò, sono state selezionate due revisioni sistematiche (valutate con buona qualità) all'interno della Cochrane Library, che è l'unico database dove vengono raccolte solamente revisioni delle quali è stata valutata la qualità. Raccolta dei dati

I dati sono stati estratti utilizzando un modulo di estrazione dei dati standardizzato specificamente progettato, e successivamente i revisori hanno confrontato i dati estratti per verificarne la coerenza. Qualsiasi disaccordo tra gli estrattori di dati doveva essere risolto mediante un confronto. Dagli studi inclusi sono stati ricavati dati relativi a: informazioni generali sullo studio, caratteristiche dei partecipanti (numero di partecipanti, tipologia, livello di sport praticato) e dell'intervento, eventi avversi, ritiri e misure di esito. Laddove i dati non erano disponibili nelle tabelle o nella sezione dei risultati, gli autori dello studio, sono stati contattati via e-mail, con un sollecito dopo 2 settimane, nel caso in cui non avessero risposto alla prima e-mail.

### **Estrazione dei dati e analisi**

I dati sono stati estratti da ogni studio utilizzando un modello per registrare le informazioni demografiche dei partecipanti, l'attività specifica di atterraggio su una sola gamba eseguita e gli esiti biomeccanici riportati (**Allegato 2**). Inoltre, qualsiasi tipo di innesto ACL utilizzato durante l'intervento di ACLR è stato ammesso in questa revisione, e i dati sono stati analizzati come un'unica coorte, con medie generali e la deviazione standard (SD) calcolate per i singoli studi per consentire il confronto tra lesione di ACL, ACLR e gruppo controllo (arto controlaterale e/o sano).

## Outcome principali

I principali outcome rintracciati in questa revisione vengono riportati nella seguente tabella.

TABELLA 4. Outcome principali

OUTCOME PRINCIPALI
<p>Biomeccanica:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>-cinetica: angolo di flessione del ginocchio al contatto iniziale (30-34-39-45), picco dell'angolo di flessione del ginocchio, escursione della flessione del ginocchio e le rotazioni articolari dell'arto inferiore (30-32-34-35-39-44-45).</li><li>-cinetica: picco della forza di reazione verticale al suolo(vGF) e picco del momento di estensione interna del ginocchio (30-32-34-35-39-44-45).</li></ul>
<p>Forza Muscolare:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>-leg press power test</li><li>-isocinetica: mediante dinamometro</li><li>-attivazione del quadricipite: mediante QSI (Quadriceps Index)</li></ul> <p><math>QSI = (MVIC \text{ arto lesionato o ricostruito} / MVIC \text{ arto controlaterale}) * 100</math></p> <ul style="list-style-type: none"><li>-MVIC (contrazione isometrica volontaria massima)</li><li>-LSI (limb symmetry index)</li></ul>
<p>Dati elettromiografici:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>-EMG (elettromiografia)</li><li>-riflesso di Hoffmann per il quadricipite</li></ul>
<p>Test di salto e atterraggio:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>-hop test: single leg hop for distance, triple hop, 4-hop test battery</li><li>-drop jump test, vertical jump test</li><li>-LESS (landing error scoring system)</li><li>-LSI (limb symmetry index)</li></ul>
<p>Qualità della funzione del ginocchio:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>-Lysholm score</li><li>-IKCD (international knee documentnation committee)</li><li>-Cincinnati knee score</li></ul>

## CAPITOLO 4 – RISULTATI

### Ricerca della letteratura

La ricerca nella letteratura si è articolata in quattro fasi, come si può osservare in **figura 1**. Inizialmente sono stati trovati 1154 articoli in totale. A seguito di una revisione dei titoli degli studi, sono stati selezionati solo i records con un titolo inerente all'argomento di ricerca. Quando il titolo non era chiaro, è stato visionato l'abstract e di conseguenza si è deciso o meno di includere il rispettivo studio. Alla fine di questa prima selezione sono residuati 188 articoli. La totalità degli articoli è stata collezionata nel software Mendeley; un software che viene utilizzato per gestire e condividere documenti di ricerca. In base al titolo il software ha eliminato eventuali doppioni (23 articoli) e sono rimasti 175 articoli, di cui si è proceduto all'analisi dell'abstract; l'analisi di quest'ultimo ha portato ad una ulteriore selezione, dove sono stati individuati 72 articoli rispondenti in prima analisi all'argomento di ricerca. La fase finale della ricerca ha previsto il reperimento degli articoli in forma integrale e la lettura dettagliata secondo i criteri di inclusione ed esclusione adottati. Tale processo ha portato alla selezione finale di 25 articoli, che sono stati sottoposti ad una successiva valutazione della qualità metodologica.

### Tipologia di studi trovati

I 25 studi trovati in questa revisione sono: due revisioni sistematiche (27) (28), 16 studi controllati non randomizzati (29-37) (40) (42) (44-46) (49) (51), sette studi randomizzati controllati (38) (39) (41) (43) (47) (48) (50). L'eterogeneità di questi studi è giustificata dal tipo di quesito clinico volto ad indagare uno specifico aspetto (la forza del quadricipite) legato al gesto del salto a seguito di lesione di ACL o ACLR, per la quale non esistono un insieme di studi omogenei in letteratura essendo un argomento ancora non ampiamente approfondito.

### Valutazione della qualità metodologica

La qualità metodologica degli studi secondo la scala Downs and Black è compresa tra 11 e 24, a fronte di un punteggio massimo di 27, con una media ( $\pm$  deviazione standard) di 16,48 (-5.48, +7.52). La valutazione qualitativa completa è riportata alla **tabella 5**. La qualità metodologica degli studi randomizzati secondo la scala RoB 2.0 viene riportata nella **tabella 6**.

TABELLA 5. Valutazione degli studi secondo la scala Downs and Black

AUTORE		<i>OLEKSY ET AL. 2021</i>	<i>LEPLEY ET AL. 2015</i>	<i>EBERT ET AL. 2018 LEPLEY ET AL. 2015</i>	<i>BRITTO ET AL. 2014</i>	<i>KUENZE ET AL. 2015</i>	<i>WARD ET AL. 2018 XERGIA ET AL. 2013</i>	<i>XERGIA ET AL. 2013</i>	<i>LEPLEY ET AL. N.D.</i>	<i>JORDAN ET AL. 2017</i>	<i>AGEBERG ET AL. 2008</i>	<i>JEAN ET AL. 2021</i>	<i>BARNETT ET AL. 2020</i>
<b>REPORTING</b>	<b>1</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	<b>2</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	<b>3</b>	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	<b>4</b>	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	<b>5</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
	<b>6</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	<b>7</b>	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
	<b>8</b>	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0
	<b>9</b>	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1
	<b>10</b>	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1
<b>EXTERNAL VALIDITY</b>	<b>11</b>	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	<b>12</b>	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
	<b>13</b>	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
<b>INTERNAL VALIDITY-BIAS</b>	<b>14</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<b>15</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<b>16</b>	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0
	<b>17</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	<b>18</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	<b>19</b>	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
	<b>20</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>INTERNAL VALIDITY-CONFOUNDING</b>	<b>21</b>	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	<b>22</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	<b>23</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
	<b>24</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<b>25</b>	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1
	<b>26</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>POWER</b>	<b>27</b>	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0
<b>TOTALE</b>		<b>16</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>11</b>	<b>14</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>12</b>	<b>20</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>15</b>
<b>PERCENTUALE</b>		<b>59%</b>	<b>67%</b>	<b>67%</b>	<b>41%</b>	<b>52%</b>	<b>70%</b>	<b>74%</b>	<b>44%</b>	<b>74%</b>	<b>67%</b>	<b>70%</b>	<b>56%</b>



TABELLA 5bis. Valutazione degli studi secondo la scala Downs and Black

AUTORE		<i>PIGOZZI ET AL. 2004</i>	<i>AGEBERG ET AL. 2009</i>	<i>ERICSSON ET AL. 2013</i>	<i>MCLEAN ET AL. 2004</i>	<i>DOORENBOSCH ET AL. N.D.</i>	<i>EITZEN ET AL. 2009</i>	<i>KAYA ET AL. 2019</i>	<i>CHMIELEWSKI ET AL. 2016</i>	<i>NAGAI ET AL. 2020</i>	<i>ANDERSSON ET AL. N.D.</i>	<i>ZHANG ET AL. 2002</i>
<b>REPORTING</b>	<b>1</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	<b>2</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	<b>3</b>	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0
	<b>4</b>	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1
	<b>5</b>	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0
	<b>6</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	<b>7</b>	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0
	<b>8</b>	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
	<b>9</b>	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1
	<b>10</b>	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
<b>EXTERNAL VALIDITY</b>	<b>11</b>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	<b>12</b>	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0
	<b>13</b>	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
<b>INTERNAL VALIDITY-BIAS</b>	<b>14</b>	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
	<b>15</b>	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	<b>16</b>	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	<b>17</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	<b>18</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	<b>19</b>	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1
	<b>20</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>INTERNAL VALIDITY-CONFOUNDING</b>	<b>21</b>	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0
	<b>22</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	<b>23</b>	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0
	<b>24</b>	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	<b>25</b>	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	<b>26</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>POWER</b>	<b>27</b>	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1
<b>TOTALE</b>		<b>15</b>	<b>16</b>	<b>21</b>	<b>18</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>15</b>
<b>PERCENTUALE</b>		<b>56%</b>	<b>59%</b>	<b>78%</b>	<b>67%</b>	<b>56%</b>	<b>59%</b>	<b>89%</b>	<b>89%</b>	<b>70%</b>	<b>67%</b>	<b>56%</b>

TABELLA 6. Valutazione degli studi randomizzati secondo la scala RoB 2.0

<i>DOMAIN</i>	<i>Ageberg et al. 2008</i>	<i>Jean et al. 2021</i>	<i>Pigozzi et al. 2004</i>	<i>Ericsson et al. 2013</i>	<i>Kaya et al. 2019.</i>	<i>Chmielewski et al. 2016</i>	<i>Andersson et al. n.d.</i>
<b><i>Risk of bias arising from the randomization process</i></b>	low risk	low risk	low risk	low risk	low risk	low risk	low risk
<b><i>Risk of bias due to deviations from the intended interventions</i></b>	some concern	some concern	some concern	some concern	low risk	some concern	some concern
<b><i>Risk of bias due to missing outcome data</i></b>	low risk	low risk	low risk	low risk	low risk	low risk	low risk
<b><i>Risk of bias in measurement of the outcome</i></b>	low risk	low risk	some concern	low risk	low risk	low risk	low risk
<b><i>Risk of bias in selection of the reported result</i></b>	some concern	some concern	low risk	low risk	low risk	low risk	some concern

## **Partecipanti e altri dettagli degli studi inclusi**

Il campione complessivo di partecipanti è di 1066 di entrambi i sessi che svolgono sport diversi sia a livello amatoriale che professionistico. L'età della totalità dei partecipanti è compresa tra 17 e 59 anni, maggiori dettagli sulla popolazione e sulle caratteristiche dello studio sono riportate nella **tabella 7**. La maggior parte degli studi (n=19) ha reclutato atleti di entrambi i sessi con un'età compresa tra i 17 e i 40 anni, solo lo studio Jean et al. (39) ha reclutato una popolazione di età compresa tra i 17 e i 59 anni. In ultima analisi, lo studio Xergia et al. (35) ha reclutato una popolazione di soli atleti di sesso maschile. Per quanto riguarda il timing post ACLR, i partecipanti sono stati esaminati tra le 8 settimane e i 10 anni dopo l'intervento di ACLR. Nonostante le differenze nella misurazione degli esiti, tutti gli studi hanno dichiarato che i partecipanti erano impegnati nella riabilitazione, o avevano l'autorizzazione del chirurgo prima di effettuare le sessioni di test.

## **Misure di outcome per la biomeccanica**

Dagli studi selezionati, emerge una disomogeneità per quanto riguarda la tipologia delle misure di esito cinematiche e cinetiche, oltre al fatto che le misurazioni venivano effettuate secondo diverse modalità. Inoltre, alcuni studi non contenevano risultati per quanto riguarda la biomeccanica. I dati cinematici più frequentemente riportati sono stati: l'angolo di flessione del ginocchio al contatto iniziale, il picco dell'angolo di flessione del ginocchio ed escursione della flessione del ginocchio durante la fase di carico di un compito di salto-atterraggio e le rotazioni articolari dell'arto inferiore. I dati cinetici maggiormente riportati invece sono stati il picco della forza di reazione verticale al suolo (vGF) e il picco del momento di estensione interna del ginocchio sul piano sagittale. Di seguito, per ciascun autore vengono riportati i valori specifici utilizzati per valutare la biomeccanica.

- In Palmieri-Smith et al. 2008, Hart et al. 2010, Oleksy et al. 2021, Ebert et al. 2018, Kuenze et al. 2015, Lepley et al. 2013, Jordan et al. 2017, Ageberg et al. 2008, Barnett et al. 2020, Pigozzi et al. 2004, Ageberg et al. 2009, Ericsson et al. 2013, Eitzen et al. 2009, Kaya et al. 2019, Chmielewski et al. 2016, Nagai et al. 2020, Andersson et al. n.d., Zhang et al. 2002, non vengono riportati dati riguardanti la biomeccanica.
- In Lepley et al. 2015, le rotazioni articolari dell'arto inferiore sono state definite in base alle coordinate tridimensionali di 32 marcatori retroriflettenti posizionati con precisione (arto destro e arto sinistro; spine iliache superiori anteriori e posteriori, cresta iliaca, grande trocantere,

coscia distale, epicondili femorali mediali e laterali, tibio-tuberosità, stinco distale, stinco laterale, malleoli mediali e laterali, calca-neus, navicolare dorsale, testa del primo e quinto metatarso). È stato selezionato, mediante video, il contatto iniziale del piede fino a 250 msec dopo il contatto con il suolo, in quanto questo intervallo di tempo ha colto le fasi di carico primario del ginocchio (cioè il picco massimo di flessione ed estensione del ginocchio e il picco di forza di reazione verticale al suolo) durante il compito di salto con una sola gamba.

- In Britto et al. 2014, i dati cinematici sono stati raccolti con l'uso di otto telecamere Eagle (Motion Analysis Corp. Santa Rosa, CA) e sono stati posizionati dei marcatori riflettenti secondo il "sistema Helen Hayes" (52). Il software per la raccolta dei dati è stato EvaRT 4.0 (Motion Analysis Corp. Santa Rosa, CA). In questo progetto, i dati cinematici sono stati utilizzati per calcolare gli angoli di flessione dell'anca e del ginocchio al momento dell'atterraggio. Inoltre, i partecipanti sono atterrati su una piastra di forza (OR6-5, AMTI, Watertown, MA) incassata a filo del pavimento del laboratorio, utilizzata per determinare l'inizio del ciclo di atterraggio. I dati cinetici, cinematici ed EMG sono stati sincronizzati nel tempo e memorizzati su un personal computer.
- In Ward et al. 2018, I partecipanti sono stati dotati di 25 marcatori retroriflettenti sui seguenti punti di riferimento ossei: manubrio dello sterno, spine iliache antero-superiori, trocanteri maggiori, cosce anteriori, condili femorali mediali e laterali, fianchi anteriori, malleoli mediali e laterali, calcanei e teste del primo e quinto metatarso. I dati cinematici tridimensionali sono stati raccolti con un sistema di cattura del movimento a 7 telecamere (Vicon Motion Systems, Centennial, CO), campionati a 120 Hz e filtrati con un filtro Butterworth con una frequenza di taglio di 12 Hz. I dati cinetici sono stati raccolti a 1200 Hz utilizzando 2 piastre di forza da 40-360 cm. La biomeccanica dell'arto inferiore è stata valutata durante la fase di carico, definita come l'intervallo tra il contatto iniziale (vGRF10 N) e il picco di flessione del ginocchio.
- In Xergia et al. 2013, i dati cinematici dei test di salto sono stati acquisiti con un sistema a 8 telecamere (Vicon; OMG plc, Oxford, Regno Unito) a 100 Hz, tracciando le coordinate di 16 marcatori riflettenti posizionati su punti di riferimento ossei specifici degli arti inferiori e del bacino.
- In Jean et al. 2021, i dati cinematici sono stati raccolti utilizzando marker riflettenti registrati con 7 telecamere a infrarossi (ProReflex MCU240; Qualisys, Göteborg, Svezia) con campionamento a 120 Hz. Le forze di reazione al suolo sono state campionate a 1.200 Hz da 2 piattaforme di forza AMTI OR6-6 (Watertown, MA).
- In McLean et al. 2004, Per ogni soggetto sono stati registrati dati cinematici e GRF tridimensionali (3D) in 10 prove di taglio laterale (side step). I dati cinematici sono stati ottenuti

dalle coordinate 3D di marcatori applicati sulla pelle e fissati in diversi punti anatomici, registrati tramite sei telecamere elettroniche ad alta velocità a 240 fps ed elaborati mediante il software di tracking Eva 6.0.

- In Doorenbosch et al. Durante il test di salto, le componenti verticali e antero-posteriori delle forze e dei momenti di reazione al suolo durante il salto verticale sono state registrate per mezzo di una piastra di forza (AMTI, Boston, MA, USA) e campionate a 100 Hz. Dai segnali sono stati calcolati l'entità, la direzione e il punto di applicazione del vettore forza. Contemporaneamente, la cinematica sul piano sagittale è stata ottenuta con una videocamera operante a 25 fotogrammi al secondo. Sono stati posizionati dei marcatori sulla pelle in corrispondenza della quinta articolazione metatarso-falangea, del tallone, del malleolo laterale, dell'articolazione del ginocchio (sul legamento collaterale laterale all'altezza della fessura articolare), del grande trocantere e della parte superiore del lato laterale della cresta pelvica.

### **Misure di outcome per la forza muscolare**

Per quanto riguarda la misura della forza muscolare, le principali misurazioni sono state effettuate attraverso diversi test: il leg press power test, la misurazione isocinetica: mediante dinamometro, l'aattivazione del quadricipite: mediante QSI (Quadriceps Index). La MVIC (contrazione isometrica volontaria massima) e il LSI (limb symmetry index). Di seguito, per ciascun autore vengono riportati i test specifici utilizzati.

- In Palmieri-Smith et al. 2008, Hart et al. 2010, Oleksy et al. 2021, Lepley et al. 2015, Britto et al. 2014, McLean et al. 2004, Chmielewski et al. 2016
- In Ebert et al. 2018, la forza isocinetica massima dei gruppi muscolari del quadricipite e del bicipite femorale è stata valutata mediante dinamometria isocinetica (Isosport International, Gepps Cross, South Australia). La forza concentrica di picco in estensione e flessione del ginocchio è stata misurata in un intervallo compreso tra 0° e 90° di flessione del ginocchio, a una velocità angolare isocinetica singola di 90°/s.
- In Kuenze et al. 2015, ai partecipanti è stato fissato un dinamometro multimodale Biodex (System 3; Biodex Medical Systems Inc, Shirley, NY) con le anche e le ginocchia a 90° di flessione. I dati sono stati digitalizzati a 125 Hz (modello MP150; BIOPAC Systems Inc, Santa Barbara, CA). Per accelerare la procedura di test, l'arto sinistro è stato testato per primo per tutti i partecipanti, indipendentemente dalla storia di lesioni. I partecipanti sono stati fissati al Biodexdinamometro con una cinghia in vita e l'arto da testare è stato fissato al braccio del dinamometro 2 cm sopra il calcagno.

- In Ward et al. 2018, i dati relativi alla forza e all'attivazione volontaria dei quadricipiti sono stati raccolti durante 2 prove di sforzo massimale, mentre i partecipanti erano posizionati sul dinamometro con le anche e le ginocchia rispettivamente a 85° e 90° di flessione e lo stinco fissato al braccio del dinamometro mediante una cinghia a strappo con due elettrodi stimolanti autoadesivi di 7\*13 cm posizionati prossimalmente sul vasto laterale e distalmente sul vasto mediale.
- In Xergia et al. 2013, tutti i partecipanti sono stati valutati su un dinamometro isocinetico (Biodex System 3; Biodex Medical Systems, Inc, Shirley, NY) dopo 5 minuti di riscaldamento pedalando a 40-50 rpm su un ciclo-ergometro. Il range di movimento è stato impostato da 90° di flessione alla completa estensione (0°). La valutazione isocinetica concentrica è stata eseguita a 120°/s, 180°/s e 300°/s.
- In Lepley et al. 2013, sono state valutate le MVIC dei quadricipiti e degli hamstring, eseguite da seduti con il ginocchio in flessione di 90°. L'esaminatore ha applicato una resistenza a livello della caviglia, mentre il soggetto eseguiva una MVIC in cui calciava in fuori (quadricipiti) o in dentro (bicipiti femorali) il più forte possibile per circa 15 secondi.
- In Jordan et al. 2017, i soggetti sono stati posizionati in un dinamometro isometrico costruito su misura (MARK IV, University of Alberta, Alberta, Canada) con l'angolo del ginocchio impostato a 70° di flessione del ginocchio. I soggetti hanno eseguito tre contrazioni volontarie massime (MVC) di estensione e flessione isometrica del ginocchio con 60 s di riposo tra i test.
- In Ageberg et al. 2008, per valutare la potenza in estensione del ginocchio è stata utilizzata una macchina per l'allenamento dell'estensione di ginocchio (Precor, Competition Line) dove il soggetto era seduto con l'arto controlaterale fissato con una cintura. Veniva richiesto di estendere da una posizione di 110° di flessione fino ad estensione completa con massima forza il più velocemente possibile. Lo stesso metodo è stato usato per valutare la potenza in flessione compiendo il movimento inverso. Infine, è stato utilizzato il leg press test dove il soggetto era posto sulla macchina leg press con una flessione di anca e ginocchio di 90°.
- In Jean et al. 2021, la forza degli estensori del ginocchio è stata misurata utilizzando contrazioni isometriche massime degli estensori del ginocchio eseguite a 4 angoli di flessione del ginocchio (15°, 30°, 45° e 75°) su un dinamometro costruito su misura.
- In Barnett et al. 2020, la forza isometrica dei muscoli hamstring, quadricipite e adduttore dell'anca è stata misurata con un dinamometro portatile (HHD) (Microfet 2; Hoggan Scientific, LLC, Salt Lake City, UT) che è stato specificamente convalidato come HHD affidabile in numerosi studi (53-54). La forza del quadricipite è stata misurata con il ginocchio a 90° di flessione e il dinamometro posizionato sulla tibia distale.

- In Pigozzi et al. 2004, sono state utilizzate la leg press e le macchine per la misurazione della potenza in estensione e flessione di ginocchio, ma non sono stati riportati dati più specifici in merito alle misurazioni.
- In Ageberg et al. 2009, le misurazioni sono le medesime dello studio Ageberg et al. 2008.
- In Ericsson et al. 2013, la forza muscolare del quadricipite è stata misurata usando un dispositivo per la misurazione isocinetica (BIODEX) e attraverso una leg extension machine svolgendo una ripetizione massima.
- In Doorenbosch et al. I soggetti erano posizionati su un dinamometro isocinetico (KinCom; ChatteX, Chattanooga, TN, USA), erano seduti con le anche flesse. Il tronco e la parte superiore della gamba del soggetto erano legati alla sedia e il braccio (mobile) del dinamometro era fissato alla tibia in posizione distale.
- In Eitzen et al. 2009, la forza muscolare in estensione e flessione del ginocchio è stata valutata con un dinamometro isocinetico Cybex 6000 (Cybex, Division of Lumex, Inc., Ronkonkoma, NY, USA). Per affrontare sia la forza massima che la resistenza, il protocollo del test comprendeva cinque ripetizioni a 60u/secondo seguite da 30 ripetizioni a 240u/secondo con un periodo di riposo standardizzato di un minuto tra le due.
- In Kaya et al. 2019, è stato utilizzato un dinamometro (Biodex System Pro3) con posizione di partenza a 90° di flessione e posizione di arrivo a 0° di flessione.
- In Nagai et al. 2020, per i test di forza isocinetici, i soggetti erano seduti sul dinamometro (Humac Isokinetic Dynamometer, CSMI USA, Stoughton, MA) con l'anca e il ginocchio flessi a 90°. La gamba controlaterale, non lesionata, è stata testata per prima.
- In Andersson et al. n.d., la forza isocinetica dei muscoli quadricipiti e bicipiti è stata misurata bilateralmente (Cybex II dynamometer, 30"/secondo) e il valore di picco è stato determinato.
- In Zhang et al. 2002, il soggetto era seduto su un dispositivo di guida articolare progettato su misura simile ad un dinamometro tradizionale, con la coscia fissata al sedile tramite una cinghia e dei morsetti e il tronco legato allo schienale. Il ginocchio e l'anca sono stati flessi rispettivamente a 60° e 85°.

### **Misure di outcome dei dati elettromiografici**

In alcuni studi sono stati raccolti dati relativi all'innervazione connessa alla muscolatura in esame attraverso l'elettromiografia (EMG) e in alcuni casi mediante il riflesso di Hoffmann per il quadricipite. Gli studi che hanno riportato i dati sopra citati sono i seguenti:

- In Britto et al. 2014, i dati EMG sono stati raccolti a una frequenza di campionamento di 1200 Hz con un Noraxon Myosystem 1400 (Noraxon USA, Inc., Scottsdale, AZ). Gli elettrodi erano monouso, di superficie e passivi.
- In Ward et al. 2018, l'eccitabilità del riflesso spinale del quadricipite è stata valutata bilateralmente attraverso il riflesso di Hoffmann (H-reflex) normalizzato alla risposta muscolare massima. I partecipanti sono stati posizionati supini su un basamento imbottito con gli arti superiori rilassati ai lati e le ginocchia di prova sostenute a 15° di flessione. I dati elettromiografici (EMG) sono stati raccolti utilizzando 2 elettrodi Ag/AgCl pregellati, posizionati a 1,75 mm di distanza l'uno dall'altro sul ventre distale del vasto mediale e l'elettrodo di riferimento posizionato sul malleolo mediale. I siti cutanei sono stati preparati per l'EMG mediante rasatura dove necessario, sbrigliamento e pulizia con alcol prima del posizionamento degli elettrodi.
- In Lепley et al. 2013, per registrare l'attività muscolare, la pelle di ciascun sito cutaneo è stata rasata e pulita con alcol isopropilico. Gli elettrodi EMG di superficie (DE-2.1, Delsys Inc, Boston, Mass), con una distanza interelettrodica di 10 mm, sono stati fissati sui ventri muscolari del vasto laterale e del bicipite femorale. Un elettrodo di massa è stato posizionato su un processo olecrano
- In Jordan et al. 2017, i segnali EMG di superficie sono stati registrati con un ricevitore EMG telemetrico.
- In Doorenbosch et al., gli elettrodi EMG di superficie (Ag-AgCl; area lead-off 1cm<sup>2</sup>; distanza centro-centro 2,5 cm) sono stati utilizzati per registrare l'attivazione di cinque muscoli della gamba dopo le preparazioni standard. Sono stati posizionati sui seguenti muscoli: m. retto femorale; m. vasto laterale; m. vasto mediale; m. semitendinoso; m. bicipite femorale capo lungo.
- In Zhang et al. 2002, i segnali EMG dei muscoli vasto mediale, vasto laterale, semitendinoso e bicipite femorale sono stati registrati durante le contrazioni volontarie massime (MVIC). Per registrare il segnale EMG di ciascun muscolo sono stati utilizzati due elettrodi d'argento e di cloruro d'argento, dopo aver pulito la pelle con tamponi di alcol.

### **Misure di outcome nei test di salto**

Il gesto funzionale del salto è stato valutato mediante diversi test di salto e atterraggio. Oltre a questi sono stati misurati parametri per la stabilità e la simmetria dell'arto inferiore a seguito del gesto funzionale. I test somministrati in tutti gli studi sono stati: hop test, tra i quali il single leg hop for distance, triple hop, 4-hop test battery, drop jump test, vertical jump test, squat test, LESS



(landing error scoring system) e LSI (limb symmetry index). In particolare, nei rispettivi studi sono stati utilizzati i seguenti test:

- In Oleksy et al. 2021, è stato utilizzato inoltre il Tuck jump assessment test (TJA). Ai soggetti è stato chiesto di iniziare il test con i piedi separati alla larghezza delle spalle, iniziando il salto con un leggero accovacciamento verso il basso. Poi è stato chiesto loro di saltare ripetutamente per 10 s, portando le ginocchia al petto durante ogni salto, con le cosce parallele al pavimento, atterrando dolcemente sulla stessa impronta e saltando immediatamente di nuovo. Gli sforzi di salto sono stati registrati con una frequenza di fotogrammi di 125 fps utilizzando la videocamera NiNOX 125 con vista sul piano sagittale e frontale. Le voci del TJA erano le seguenti: Estremità inferiore valgo all'atterraggio; Le cosce non raggiungono il parallelo; Le cosce non sono uguali da un lato all'altro; I piedi non sono posizionati alla larghezza delle spalle; Posizionamento dei piedi non parallelo; I tempi di contatto dei piedi non sono uguali; Rumore eccessivo al contatto con l'atterraggio; Pausa tra i salti; La tecnica diminuisce prima di 10 s; Non atterra sulla stessa impronta.
- Lepley et al. 2015, Tutti i pazienti sono stati sottoposti a test di analisi del movimento durante un single-legged landing task. Il compito di atterraggio richiedeva ai pazienti di eseguire un salto in avanti con una sola gamba su una piastra di forza con l'arto ricostruito con ACL o con l'arto controlaterale, che era stato predeterminato prima della prova. La distanza di salto è stata determinata misurando la lunghezza della gamba di ciascun partecipante, definita come la distanza tra la punta del trocantere maggiore e la punta del malleolo laterale. La distanza di salto è stata poi segnata visivamente sul terreno con un metro a nastro. I dati biomeccanici tridimensionali sono stati raccolti per il complesso articolare del ginocchio utilizzando un sistema Vicon (Vicon, Oxford Metrics, Londra, Inghilterra).
- McLean et al. 2004, Chmielewski et al. 2016,
- In Ebert et al. 2018, È stata eseguita una batteria di quattro hop-test: single hop for distance, 6-m timed hop, triple hop for distance, e il triple crossover hop for distance. Ai pazienti sono state inizialmente fornite descrizioni verbali di ciascun test e sono stati concessi da due a tre salti di riscaldamento su ciascun arto prima di iniziare la batteria di test di salto. Ognuno dei quattro test di salto è stato iniziato sull'arto non affetto e poi alternato tra l'arto non affetto e quello operato fino a raggiungere il numero richiesto di prove valide.
- In Britto et al. 2014, agli atleti sono stati concessi due salti di prova da ogni altezza e poi sono stati eseguiti tre salti di caduta a piedi pari da ogni altezza (piattaforma da 20 e 40 cm in ordine casuale). Gli atleti sono stati istruiti a scendere direttamente dal box e ad atterrare con entrambe

le gambe su una piastra di forza. L'effetto delle braccia è stato minimizzato chiedendo ai partecipanti di tenere le braccia incrociate contro il petto. Non sono state fornite ulteriori istruzioni sulla tecnica di atterraggio per evitare un effetto coaching. Le prove sono state ripetute quando sono state giudicate non accettabili (ad esempio quando i partecipanti hanno perso l'equilibrio). Sono stati presi in considerazione la flessione di ginocchio e di anca nel contatto iniziale oltre che all'attività mioelettrica del quadricipite e degli hamstring.

- In Kuenze et al. 2015, le procedure di atterraggio sono state valutate mediante il Landing Error Scoring System (LASS). I partecipanti hanno saltato da una scatola alta 30 cm su un bersaglio situato ad una distanza pari al 50% della loro altezza dalla scatola. Sono stati istruiti a saltare orizzontalmente verso la zona di atterraggio e, subito dopo l'atterraggio, a tentare un salto verticale massimo. Due videocamere portatili standard (HFR400 HD Flash Camcorder; Canon USA, Inc, Melville, NY) hanno ripreso l'atterraggio per valutarlo successivamente con il LESS.
- In Ward et al. 2018, la valutazione avviene con le stesse modalità dello studio di Kuenze et al. 2015, Ma ai partecipanti viene richiesto ripetere il gesto cinque volte.
- Xergia et al. 2013, i compiti utilizzati in questa indagine sono stati il single hop, il triple hop e il cross-over hop. Durante l'esecuzione delle 3 prove per ogni test di salto, i partecipanti sono stati istruiti a stare in piedi su un'estremità inferiore e a posizionare le dita dei piedi su un segno sul pavimento. La distanza (m) è stata misurata dalla punta del piede nella posizione di partenza al tallone dove il paziente è atterrato. La prova veniva considerata riuscita se il partecipante atterrava su un piede e manteneva la posizione di atterraggio senza perdere l'equilibrio per almeno 2 secondi (cioè, non sono stati consentiti salti extra per la correzione dell'equilibrio) e finché lo sperimentatore non ha segnato sul pavimento il punto in cui il partecipante era atterrato.
- In Lepley et al. 2013, il compito di atterraggio prevedeva che i soggetti eseguissero un salto in avanti a due gambe da una scatola alta 17 cm e che atterassero a una gamba sola su una piastra di forza (OR 6-7; Advanced MedicalTechnology, Inc, Watertown, MA) che campionava a 1200 Hz situata a un metro di distanza. Una volta atterrati, i soggetti dovevano saltare con forza massimale lateralmente verso il lato opposto. Subito dopo le prove di pre-affaticamento, i soggetti hanno iniziato il protocollo di affaticamento. Per indurre la fatica, i soggetti dovevano eseguire serie di otto squat a due gambe. Ai soggetti è stato chiesto di accovacciarsi fino a circa 90° di flessione del ginocchio, a un ritmo auto-selezionato e senza resistenza, mentre lo sperimentatore forniva un feedback verbale continuo sull'angolo di flessione dell'articolazione del ginocchio del soggetto durante l'esercizio di affaticamento. Dopo ogni serie di otto squat, ai soggetti è stato chiesto di eseguire tre atterraggi dinamici, simili alle prove di atterraggio pre-

fatica. I soggetti hanno continuato a eseguire le serie di squat seguite da atterraggi dinamici fino al raggiungimento dell'affaticamento massimo.

- In Jordan et al. 2017, è stato eseguito un test di salto, i soggetti si sono posizionati su due piastre di forza adiacenti e livellate, con ciascuna gamba posizionata su una piastra di forza separata, e sono scesi nella posizione di partenza dello squat a 90° di flessione del ginocchio. L'indice di asimmetria (AI) e l'altezza di salto del centro di massa del corpo (HBCM) sono stati calcolati dalla forza di reazione al suolo. I dati elettromiografici sono stati ottenuti al decollo, all'intervallo di 25 ms prima dell'atterraggio e dopo l'atterraggio per l'arto ACLR (arto affetto), l'arto controlaterale e gli arti dei soggetti di controllo (arto di controllo).
- In Ageberg et al. 2008, i partecipanti hanno eseguito una batteria di 3 hop-test; ovvero il vertical jump, il one-leg hop for distance e il side hop. I test sono stati registrati ed analizzati successivamente.
- In Ericsson et al. 2013, sono stati somministrati il one-leg hop for distance, lo square hop test, il vertical hop test per valutare la performance dell'arto inferiore.
- In Kaya et al. 2019, per valutare il livello di funzione è stato somministrato il one-legged hop test, sono state eseguite tre prove per ogni gamba, l'arto sano è stato testato per primo e l'arto malato per secondo.
- In Nagai et al. 2020, per il test Single-Hop test, ai soggetti è stato chiesto di saltare il più lontano possibile per tre volte sull'arto controlaterale. Sul pavimento c'era un metro a nastro e la distanza di salto veniva letta dalla linea di partenza alla punta anteriore delle scarpe in centimetri. Se i soggetti non riuscivano ad attaccare l'atterraggio (cioè la gamba che non atterrava toccava il pavimento), quei salti non venivano contati e le stesse procedure venivano ripetute fino a quando non venivano eseguiti tre salti riusciti. Allo stesso modo è stato eseguito il Tripple-Hop test. Per le analisi statistiche è stata utilizzata la media dei tre salti. L'LSI (Limb Symmetry Index) per i test è stato calcolato nello stesso modo.

### **Misure di outcome per la funzione del ginocchio**

In alcuni studi sono stati somministrati anche dei questionari per la valutazione della funzione del ginocchio. Di seguito vengono riassunti questi ultimi studi.

- In Xergia et al. 2013, Prima della valutazione isocinetica e dell'hop-test, i partecipanti hanno completato la scala di attività di Tegner e l'International Knee Documentation Committee Subjective Knee Evaluation Form 2000 (IKDC).

- In Barnett et al. 2020, Il punteggio soggettivo IKDC è stato utilizzato secondo le istruzioni pubblicate (55) (56) e raccolto a 3, 6, 12 e 24 mesi dopo l'intervento.
- In Eitzen et al. 2009, la raccolta dei dati prevedeva l'autovalutazione della funzionalità del ginocchio utilizzando il Cincinnati Knee Score (57). Gli argomenti trattati nel Cincinnati Knee Score sono il dolore, il gonfiore, gli episodi di cedimento, il livello di attività in generale e le attività specifiche di camminare, salire le scale, correre, saltare e torcersi.
- In Chmielewski et al. 2016, la funzionalità del ginocchio è stata valutata con il modulo soggettivo per il ginocchio del 2000 dell'International Knee Documentation Committee (IKDC), che comprende voci relative ai sintomi del ginocchio e alle attività funzionali. I punteggi variano da 0 a 100 e un punteggio più alto indica una migliore funzionalità del ginocchio.
- In Andersson et al. n.d, l'esame di follow-up è stato effettuato circa quattro anni (minimo 41 mesi) dopo l'infortunio ed è stato valutato con il punteggio del ginocchio (punteggio di Lysholm).

TABELLA 7. Caratteristiche degli studi

Studio	Tipo di studio	Caratteristiche dei partecipanti	Gruppo di Controllo	Misure di outcome
Palmieri-Smith et al. 2008	Rivista scientifica			
Hart et al. 2010	Revisione Sistemtica	pazienti con lesioni al ginocchio o interventi chirurgici come il deficit del legamento crociato anteriore (ACLd), la ricostruzione del legamento crociato anteriore (ACLR) e il dolore al ginocchio anteriore (AKP).	partecipanti umani	Medie, misure di variabilità e preva-lenza di fallimento dell'attivazione del quadricipite (AQ) (<95%)
Oleksy et al. 2021	Studio di laboratorio controllato	giocatori di calcio maschi (età 18-25 anni), reclutati da squadre regionali con rottura e ricostruzione dell'ACL (n = 24) e con lesioni lievi all'arto inferiore (n = 21)	giocatori di calcio maschi (età 18-25 anni), senza lesioni (n = 20).	Y-balance test, Functional Movement Screen (FMS) and Tuck Jump Assessment (TJA)
Lepley et al. 2015	Studio di laboratorio controllato	Atleti con lesione di ACL -NMES e Riabilitazione eccentrica -Riabilitazione con stimolazione elettrica neuromuscolare (NMES) -Riabilitazione in eccentrica	Soggetti sani	Quadriceps Index (QI), Single-legged landing task, dati sulla cinetica e cinematica, LSI
Ebert et al. 2018 Lepley et al. 2015	Studio di laboratorio controllato	111 Pazienti con ACLR a una mediana di 11 mesi post intervento (range 10-14)	NP	Esercizi di salto e atterraggio valutati a video, MIVC per flessori e estensori di ginocchio, LSI
Britto et al. 2014	Studio di laboratorio controllato	Trenta atleti amatoriali (15 maschi e 15 femmine)	NP	EMG dei muscoli vasto mediale, retto femorale, bicipite femorale e hamstring mediali
Kuenze et al. 2015	Studio di laboratorio controllato	12 uomini e 10 femmine con ACLR	24 soggetti sani	MVIC, LESS score
Ward et al. 2018	Studio di laboratorio controllato	28 soggetti con ACLR unilaterale	NP	MVIC, picco di reazione al suolo, picco del momento flessore-estensorio di ginocchio, dati cinematici, jump task

TABELLA 7. Caratteristiche degli studi

Studio	Tipo di studio	Caratteristiche dei partecipanti	Gruppo di Controllo	Misure di outcome
Xergia et al. 2013	Studio di laboratorio controllato	22 maschi (media età 28.8 anni) con ACLR	22 maschi sani (media età 24.9 anni)	Test di forza isocinetica, single hop, tripple hop, crossover hop
Lepley et al. n.d.	Studio di laboratorio controllato	12 soggetti con ACLR (7-10 mesi post-intervento)	13 partecipanti sani	EMG, MVIC, squat test
Ageberg et al. 2008	Studio randomizzato controllato	36 pazienti con lesione di ACL trattati con intervento chirurgico e riabilitazione	18 pazienti con lesione di ACL trattati con riabilitazione	LSI, vertical jump, one-leg hop, side hop, leg press test
Jean et al. 2021	Studio randomizzato controllato	18 pazienti con riabilitazione con squat tradizionali	19 pazienti con riabilitazione con squat tradizionali più squat modificati	MVIC estensori di ginocchio
Barnett et al. 2020	Studio di laboratorio controllato	64 pazienti maschi e femmine con ACLR	NP	IKDC, hop test
Pigozzi et al. 2004	Studio randomizzato controllato	48 pazienti con ACLR a 6 mesi dall' intervento	NP	MVIC, jump test, leg pres test
Ageberg et al. 2009	Studio di laboratorio controllato	20 pazienti con ACLR con tendine patellare e 16 pazienti con ACLR con tendine di hamstring	NP	LSI, MVIC in flessione in estensione
Ericsson et al. 2013	Studio randomizzato controllato	45 soggetti con ACLR	42 soggetti senza ACLR ma con lesione di ACL	LSI, MVIC, one-leg hop test, square hop test, vertical hop test
McLean et al. 2004	Studio di laboratorio controllato	20 atleti, 10 maschi e 10 femmine		MVIC
Doorenbosch et al. n.d.	Studio di laboratorio controllato	5 pazienti con lesione di ACL	5 soggetti sani	EMG, vertical hop jump, MVIC, dati sulla cinematica e sulla cinetica

TABELLA 7. Caratteristiche degli studi

Studio	Tipo di studio	Caratteristiche dei partecipanti	Gruppo di Controllo	Misure di outcome
Eitzen et al. 2009	Studio di laboratorio controllato	60 pazienti con rottura di ACL	NP	Cincinnati Knee Score, single-leg hop test, MVIC
Kaya et al. 2019	Studio randomizzato controllato	17 pazienti con ACLR con riabilitazione tradizionale più esercizi di controllo motorio per l' arto inferiore	15 pazienti con ACLR con riabilitazione tradizionale	MVIC, one-legged hop test,
Chmielewski et al. 2016	Studio randomizzato controllato	12 pazienti con lesione unilaterale di ACL e trattamento a basse intensità	12 pazienti con lesione unilaterale di ACL e trattamento ad alte intensità	IKDC, maximal vertical jump and single-legged hop, QSI,
Nagai et al. 2020	Studio di laboratorio controllato	26 pazienti con ACLR	NP	Picco del momento in estensione di ginocchio, single hop e tripple hop for distance, LSI, MVIC
Andersson et al. n.d.	Studio randomizzato controllato	72 pazienti trattati conservativamente dopo lesione di ACL	-22 pazienti trattati con intervento chirurgico -45 pazienti tratti con intervento chirurgico rafforzato	Forza muscolare di flessori ed estensori di gonocchio, hop test, lysholm score
Zhang et al. 2002	Studio di laboratorio controllato	Soggetti con lesione di ACL: -19 cronici -18 acuti -21 con ricostruzione (ACLR)	23 soggetti sani	Forza muscolare nella rotazione interna-esterna della tibia, nell'abduzione-adduzione e nella flessione-estensione.

## CAPITOLO 5 – DISCUSSIONE

### Sintesi dei principali risultati

La comprensione del comportamento del muscolo quadricipite dell'arto con ACLR durante le attività ad alto impegno, in particolare gli atterraggi e il salto, è necessaria per comprendere i cambiamenti biomeccanici che si verificano dopo la lesione del legamento crociato anteriore e l'intervento chirurgico di ricostruzione del legamento crociato. L'obiettivo primario di questa revisione era valutare il ruolo della forza del muscolo quadricipite in attività di atterraggio dell'arto inferiore con lesione di ACL e ACLR rispetto all'arto controlaterale e alla popolazione di riferimento.

Per quanto riguarda le misure di outcome per la biomeccanica è stato evidenziato che lo squilibrio di forza del quadricipite che, persiste dopo la ACLR, è correlabile ad alterazioni dei modelli di movimento dell'arto inferiore (33) (34). I soggetti con minori deficit di forza del muscolo quadricipite hanno mostrato schemi di movimento biomeccanici più simili all'arto non lesionato. Lo stesso risultato si è osservato nei soggetti con ACLR che hanno partecipato ad un programma di rinforzo del quadricipite di 10 settimane (39), in particolare migliorando il momento e gli angoli di movimento in estensione del ginocchio (30) (45) e atterrando con angoli di flessione del ginocchio maggiori e picchi di vGRF più bassi (44), suggerendo, quindi, una maggiore capacità di attenuare efficacemente i carichi sull'arto inferiore durante l'atterraggio (34). Questi risultati indicano che le alterazioni nella meccanica del ginocchio sono in parte dovute alla debolezza muscolare residua.

Andando a valutare i risultati rilevati per la forza muscolare, la prevalenza e l'entità del fallimento dell'attivazione del quadricipite dopo lesioni di ACL del ginocchio possono essere considerati un fenomeno con importanti implicazioni cliniche. Sono stati osservati deficit di forza massimale del quadricipite segnalati a diversi mesi o addirittura anni dopo l'ACLR (9-17-31-46). Rispetto ai soggetti sani, i soggetti con ACLR presentavano maggiori deficit di picco di forza angolare in estensione del ginocchio a tutte le velocità di movimento isocinetico (45) e una maggiore asimmetria delle prestazioni rispetto l'arto controlaterale per tutti e tre i test di salto (35). L'arto interessato con ACLR mostrava un'attivazione muscolare del quadricipite ridotta al momento dello stacco nel salto rispetto all'arto controlaterale, il che era coerente con un indice di asimmetria elevato per la fase finale dello stacco che veniva valutato attraverso il LSI (37). Non c'era differenza di forza rispetto ai soggetti con ACLR e soggetti con lesione di ACL senza trattamento chirurgico di ricostruzione (38). Questo fenomeno di generale debolezza lo possiamo spiegare attraverso i costrutti psicologici negativi propri di molti pazienti e attraverso le componenti neuro cognitive e



neuromotorie associate all'inibizione muscolare artrogena (AMI), che è una conseguenza tipica delle lesioni articolari, quando le risposte protettive, riflesse e inconsce dell'organismo alterano la trasmissione neurale alla muscolatura circostante (16). Questo "spegnimento" riflessivo della muscolatura circostante l'articolazione è inizialmente protettivo. Purtroppo, è stato osservato che l'AMI può perdurare nel tempo anche a diversi mesi dall'infortunio (16), (51) e quindi, può ostacolare il recupero dopo una lesione. Un altro importante dato emerso è che in media, i deficit muscolari clinicamente significativi erano presenti bilateralmente (sia arto coinvolto, che l'arto sano) in entrambe le popolazioni di pazienti con lesione di ACL e ACLR rispetto ai partecipanti di controllo (28). In aggiunta, un altro importante dato che ha evidenziato questa revisione della letteratura ci indica che la scelta degli innesti utilizzati per l'ACLR possono avere implicazioni per la forza del quadricipite. Il tendine rotuleo e il semitendinoso e gracile sono scelte comuni. Diversi gruppi (41-38) hanno evidenziato maggiori deficit di forza estensoria nella ricostruzione con il tendine rotuleo rispetto a quella con i tendini semitendinoso e gracile.

Per le misure riguardanti l'elettromiografia invece, non sono stati trovati molti dati, soprattutto per il fatto che la numerosità degli studi che hanno affrontato questo argomento è molto limitata (32-34-36-37-45). Si può però affermare che, il corretto timing di attivazione del quadricipite insieme all'intensità dell'attivazione sono due elementi fondamentali per la prevenzione del rischio di infortunio per il ACL. Nello studio di Britto et al. (32) dopo aver valutato 10 diversi atleti è stato osservato che il quadricipite si preattiva in misura maggiore quando si aumenta l'altezza del salto da 20 a 40 cm. Gli stessi risultati sono stati trovati in Doorenbosch et al. (45). Gli hamstring possono non seguire lo stesso schema. Ciò può creare uno squilibrio nelle forze di taglio antero-posteriori, poiché il quadricipite provoca una traslazione anteriore che non viene contrastata dalle forze di traslazione posteriore degli hamstrings. Questo può avere implicazioni per il meccanismo degli infortuni, poiché l'ACL impedisce la traslazione anteriore della tibia (32). Pertanto, l'attività dei quadricipiti sembrerebbe aumentare prima e durante le fasi di atterraggio, mentre l'attività degli hamstrings rimarrebbe invariata nelle atlete e negli atleti. A seguito di queste considerazioni, possiamo affermare che un corretto equilibrio muscolare del muscolo quadricipite e hamstring durante la fase di preattivazione può essere più efficace nel prevenire forze eccessive all'interno del crociato rispetto al reclutamento muscolare dopo l'inizio dell'atterraggio. La diminuzione dell'attivazione volontaria, invece, contribuisce alla debolezza del quadricipite. Le alterazioni persistenti dei segnali ascendenti dall'articolazione del ginocchio alla corteccia motoria determinano segnali inibitori al pool di motoneuroni del quadricipite e, quindi, una ridotta capacità di attivare volontariamente il muscolo (34-36). La diminuzione dell'attivazione volontaria è stata collegata a

un ridotto momento di estensione del ginocchio e ad una sua rigidità rispetto all'arto controlaterale e ai soggetti sani (37). L'irrigidimento dell'articolazione del ginocchio può essere un adattamento compensativo alla diminuzione dell'attivazione volontaria e della forza del quadricipite (58). È possibile affermare quindi che un ridotto momento estensorio di ginocchio all'atterraggio comporti un aumento del carico attraverso le strutture passive dell'articolazione del ginocchio, compreso l'innesto del legamento crociato anteriore aumentando così il rischio di recidiva.

Per quanto riguarda i test di salto, l'informazione più importante che emerge da questa revisione è che gli atleti dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore presentano ancora deficit negli schemi di movimento o nel controllo neuromuscolare, nonostante l'autorizzazione all'attività sportiva e il superamento dei test per il RTS (return to sport). Quello che però è rilevante per la pratica clinica, è che i test per la valutazione del gesto del salto riportati nella **tabella4**, sono utili metodi di valutazione di questi deficit. Nello studio di Olesky et al. (29) si è notato una relazione tra le prestazioni di equilibrio dinamico e il rischio di lesioni. Hanno confrontato le prestazioni con il balance Y-test tra i partecipanti dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore al momento del ritorno all'attività sportiva e i soggetti non infortunati, il gruppo con ricostruzione di ACL ha mostrato prestazioni di allungamento anteriore peggiori sia per gli arti coinvolti che per quelli non coinvolti rispetto al gruppo di controllo, ma non ci sono state differenze nelle direzioni di allungamento postero-mediale o postero-laterale o negli indici di simmetria degli arti. Anche per quanto riguarda il tuck jump assessment test sono state riportate prestazioni peggiori nel gruppo ACLR rispetto al gruppo sano. Un secondo test, il single-leg hop test nello studio di Lepley et al. (30) ha riscontrato che i deficit nella forza del quadricipite valutati tramite MVIC erano significativamente correlati a una riduzione dei momenti di estensione del ginocchio durante il compito di salto con una sola gamba. Per quanto riguarda invece il LESS score i soggetti con ACLR hanno avuto un numero maggiore di errori ( $6.0 \pm 3.6$ ) rispetto ai partecipanti sani ( $2.8 \pm 2.2$ ). Nei partecipanti con ACLR, la coppia MVIC in estensione del ginocchio inferiore nell'arto lesso era associata a un maggior numero di errori di atterraggio. Il verificarsi di errori di atterraggio era correlato negativamente con la forza di estensione del ginocchio, suggerendo che i partecipanti più deboli avevano più errori di atterraggio. In Xergia et al. (35) i pazienti continuano a mostrare deficit funzionali di salto e di estensione isocinetica del ginocchio, nonché differenze cinematiche, durante le fasi di propulsione e di atterraggio dei test di salto (single hop, tripple hop e crossover hop), da sei a nove mesi dopo l'ACLR. Le stesse differenze sono state rilevate attraverso il vertical jump test negli studi (37-43). Nello studio di Nagai et al. (49) invece, viene fatta un'importante considerazione; ovvero che i valori per la forza isocinetica valutati con dinamometro erano

significativamente correlati in positivo con single hop/tripple hop e i test per la potenza, mentre i valori single hop/tripple hop e i test per la potenza non erano significativamente correlati. In tutti i test sono state riscontrate differenze significative tra gli arti. Inoltre, sono state rilevate differenze significative di LSI tra i vari test. In particolare, le analisi post-hoc hanno rivelato che l'LSI durante il single hop era significativamente più alto dell'LSI durante i test isocinetici. Allo stesso modo, l'LSI durante il triple hop era significativamente più alto rispetto agli LSI dei test (isocinetici) ISO60, ISO180 e power test.

Infine, i questionari per la valutazione della funzionalità del ginocchio più frequentemente utilizzati sono stati:

- L'IKDC (International knee evaluation form): è una misura affidabile e valida, specifica per il ginocchio, dei sintomi, della funzione e dell'attività sportiva, ed è convalidata per l'uso in persone post-ACLR.
- Lysholm score: viene utilizzato per valutare i disturbi soggettivi dei pazienti. Il punteggio è composto da otto voci relative alla funzionalità del ginocchio. Ogni voce, così come il punteggio totale, è stata analizzata separatamente. Un punteggio totale di 95-100 punti è stato considerato una funzione normale; un punteggio di 84-94 punti indicava sintomi nelle attività vigorose e un punteggio inferiore a 84 punti indicava sintomi nelle attività quotidiane.
- Cincinnati Knee Score (CKS): Il Cincinnati Knee Score è un questionario per valutare la funzionalità del ginocchio. Misura il dolore, i risultati della ricostruzione del legamento crociato anteriore, la stabilità del ginocchio, la percezione delle condizioni del paziente, la funzione nello sport e nelle attività della vita quotidiana, l'integrità articolare, il gonfiore del ginocchio, l'ampiezza di movimento del ginocchio e la simmetria dell'arto inferiore.

Il gruppo ACLR nello studio di Xergia et al. (35) aveva un punteggio medio di 72,4 per l'IKDC, che indicava che la maggior parte dei soggetti era al di sotto del quindicesimo percentile corrispondente all'età, considerato indicativo di una normale funzione del ginocchio. Inoltre, il gruppo ACLR aveva punteggi IKDC e hop-performance al di sotto di quanto riportato per i pazienti con lesione ACL a un anno dall'infortunio. Nello studio di Barnett et al. (40), non è stata riscontrata alcuna differenza significativa tra i sessi nel punteggio soggettivo IKDC postoperatorio a 3, 6, 12 o 24 mesi; mentre nello studio di Chmielewski et al. (48) sono stati raggiunti cambiamenti significativi attraverso l'aumento del punteggio IKDC, dopo l'intervento sia nel gruppo di trattamento a basse intensità che nel gruppo ad alte intensità. Per quanto riguarda il Cincinnati knee

score lo studio di Eitzen et al. (46) ha dimostrato che i soggetti con deficit di forza del quadricipite superiore al 20% avevano un Cincinnati Knee Score significativamente più basso ( $p = 0,008$ ) due anni dopo l'intervento. Ovvero una peggiore funzionalità del ginocchio era correlata a punteggi peggiori rispetto al questionario CKS. In ultima analisi il Lysholm score è stato utilizzato per valutare i disturbi soggettivi dei pazienti. Il punteggio per i pazienti trattati con la riparazione del legamento crociato era più alto ( $92 \pm 7$  punti) rispetto ai pazienti non trattati chirurgicamente ( $86 \pm 11$  punti). La distribuzione dei punteggi ha mostrato che l'82% di ciascuno dei gruppi di pazienti trattati chirurgicamente aveva un punteggio totale di 84 punti o più, rispetto al 64% del gruppo non trattato chirurgicamente.

### **Limiti dello studio**

I principali limiti incontrati nel condurre questa revisione della letteratura sono elencati di seguito:

- Eterogeneità delle popolazioni degli studi inclusi, sia per quanto riguarda il tipo di sport praticato, sia rispetto al livello dello sport
- Eterogeneità nelle modalità con cui veniva valutata il deficit muscolare
- Eterogeneità della tipologia di studi
- Presenza di studi con una qualità metodologica medio bassa
- Sono stati selezionati solo studi in lingua inglese, quindi eventuali dati rilevanti possono essere stati omessi
- Sono stati combinati pazienti con tutte le diverse procedure di innesto, questo potrebbe avere mascherato qualsiasi differenza biologica importante nella valutazione.

## CAPITOLO 6 - CONCLUSIONI

A conclusione di questa revisione sistematica possiamo affermare che la debolezza persistente del quadricipite, comunemente associata alla ACLR, sembra giocare un ruolo fondamentale ed è correlata a una ridotta qualità del movimento dell'arto inferiore durante i compiti dinamici come il salto. Questo deficit sembra essere una delle cause del peggioramento della prestazione funzionale in termini quantitativi e qualitativi, partecipando così ad aumentare il rischio di infortuni in maniera considerevole (35). È stato dimostrato che gli atleti dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore (ACL) presentano ancora deficit negli schemi di movimento o nel controllo neuromuscolare, nonostante abbiano superato il RTS e siano autorizzati a praticare sport. Atleti che hanno svolto diverse valutazioni del salto, hanno evidenziato una riduzione dell'ampiezza e di profondità di movimento sul piano frontale (riduzione di flessione eccentrica di ginocchio) durante la fase di atterraggio assieme ad una relativa debolezza muscolare associata ad una scorretta attivazione neuromuscolare della muscolatura estensoria. Queste modificazioni durante il salto espongono potenzialmente il ginocchio ricostruito nei soggetti con ACLR a forze più elevate a causa di una strategia di atterraggio meno fluida e più povera in termini qualitativi, che può aumentare il rischio di lesioni o alterazioni degenerative. Risulta quindi chiaro che elementi come la forza del quadricipite, la biomeccanica dell'articolazione del ginocchio e la componente neuromuscolare siano elementi fondamentali da attenzionare in un percorso riabilitativo post ACLR che, non riabilitati adeguatamente, possono incidere negativamente sul pieno recupero funzionale a livello di alcuni task motori fondamentali per un RTS safe e performante.

Per questo motivo sono stati validati una serie di metodi di valutazione sufficientemente sensibili per individuare precocemente il livello di rischio potenziale di re-infortunio. Test come: gli hop test, il TJA, o la valutazione della forza muscolare mediante dinamometria isocinetica (con dinamometro o leg press test) sono test attualmente utilizzati per svolgere questa valutazione. È stato infatti dimostrato che tutti questi test sono in grado di rilevare la differenza di forza e una riduzione funzionale significativa dell'arto coinvolto rispetto a quello non coinvolto. Tuttavia, va detto che i test funzionali valutano movimenti complessi che includono l'intervento di differenti gruppi muscolari e il coordinamento di più distretti muscolo-scheletrici pertanto i test isocinetici si sono dimostrati più sensibili rispetto ai test funzionali sopra descritti a misurare selettivamente la forza del quadricipite. Per questo motivo, l'attuale gold standard per individuare i deficit di forza del quadricipite dopo ACLR rimane la dinamometria isocinetica.

A questo proposito, studi futuri dovrebbero indagare maggiormente nuovi test funzionali che possano realmente identificare l'incidenza diretta sulla performance di salto degli altri fattori qui menzionati senza dimenticare lo studio delle componenti emotive e comportamentali dei pazienti (e l'incidenza dei costrutti psicologici), perché sappiamo essere un importante fattore contribuente nel processo riabilitativo.

## BIBLIOGRAFIA

1. Daniel, D.M., Fritschy, D., 1994. Anterior cruciate ligament injuries. W.B. Saunders, Philadelphia.
2. Arendt, E., Dick, R., 1995. Knee injury patterns among men and women in collegiate basketball and soccer. NCAA data and review of literature. *Am. J. Sports Med.* 23, 694–701.
3. Moksnes H, Snyder-Mackler L, Risberg MA. Individuals with an anterior cruciate ligament-deficient knee classified as noncopers may be candidates for nonsurgical rehabilitation. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2008 Oct.
4. Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a systematic review and meta-analysis of the state of play. Arden 2011
5. Nyland J, Gamble C, Franklin T, Caborn DNM. Permanent knee sensorimotor system changes following ACL injury and surgery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017 May.
6. Beynnon BD, Fleming BC, Johnson RJ, et al. Anterior cruciate ligament strain behavior during rehabilitation exercises in vivo. *Am J Sports Med* 1995; 23:24–34.
7. Chmielewski TL, Rudolph KS, Fitzgerald GK, et al. Biomechanical evidence supporting a differential response to acute ACL injury. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2001;16:586–91.
8. Wojtys EM, Huston LJ. Neuromuscular performance in normal and anterior cruciate ligament-deficient lower extremities. *Am J Sports Med* 1994; 22:89–104.
9. Anderson AF, Snyder RB, Lipscomb AB Sr. Anterior cruciate ligament reconstruction using the semitendinosus and gracilis tendons augmented by the loose iliotibial band tenodesis. A long-term study. *Am J Sports Med* 1994; 22:620–4
10. Slemenda C, Brandt KD, Heilman DK, et al. Quadriceps weakness and osteoarthritis of the knee. *Ann Intern Med* 1997; 127:97–104.H
11. Urbach D, Awiszus F. Impaired ability of voluntary quadriceps activation bilaterally interferes with function testing after knee injuries. A twitch interpolation study. *Int J SportsMed* 2002; 23:231–6.
12. Urbach D, Nebelung W, Weiler HT, et al. Bilateral deficit of voluntary quadriceps muscle activation after unilateral ACL tear. *Med Sci Sports Exerc* 1999; 31:1691–6
13. Krishnan C, Williams GN (2011) Factors explaining chronic knee extensor strength deficits after ACL reconstruction. *J Orthop Res* 29:633–640 [PubMed: 21246615]
14. Wellsandt E, Failla MJ, Snyder-Mackler L (2017) Limb Symmetry Indexes Can Overestimate Knee Function After Anterior Cruciate Ligament Injury. *J Orthop Sports Phys Ther* 47:334–338 [PubMed: 28355978]
15. Iles JF, Stokes M, Young A. Reflex actions of knee joint afferents during contraction of the human quadriceps. *Clin Physiol* 1990; 10:489–500.

16. Shelbourne KD, Nitz P. Accelerated rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 1990; 18:292–9.
17. Witvrouw E, Bellemans J, Verdonk R, et al. Patellar tendon vs. doubled semitendinosus and gracilis tendon for anterior cruciate ligament reconstruction. *Int Orthop* 2001; 25:308–11
18. Lorentzon R, Elmqvist LG, Sjostrom M, et al. Thigh musculature in relation to chronic anterior cruciate ligament tear: muscle size, morphology, and mechanical output before reconstruction. *Am J Sports Med* 1989; 17:423–9.
19. Elmqvist LG, Lorentzon R, Johansson C, et al. Does a torn anterior cruciate ligament lead to change in the central nervous drive of the knee extensors? *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1988; 58:203–7.
20. Williams GN, Snyder-Mackler L, Barrance PJ, et al. Quadriceps femoris muscle morphology and function after ACL injury: a differential response in copers versus noncopers. *J Bio-mech* 2005; 38:685–93.
21. Undheim MB, Cosgrave C, King E, Strike S, Marshall B, Falvey E, et al. (2015) Isokinetic muscle strength and readiness to return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction: is there an association? A systematic review and a protocol recommendation. *Br J Sports Med* 49:1305–1310 [PubMed: 26105017]
22. Noyes FR, Barber SD, Mangine RE (1991) Abnormal lower limb symmetry determined by function hop tests after anterior cruciate ligament rupture. *Am J Sports Med* 19:513–518 [PubMed: 1962720]
23. Peer MA, Lane J. The Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS): a review of its psychometric properties in people undergoing total knee arthroplasty. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2013 Jan;43(1):20-8. doi: 10.2519/jospt.2013.4057. Epub 2012 Dec 7. PMID: 23221356.
24. Nagai T, Schilaty ND, Laskowski ER, Hewett TE. Hop tests can result in higher limb symmetry index values than isokinetic strength and leg press tests in patients following ACL reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy.* 2020 Mar 1;28(3):816–22
25. Downs SH, Black N. The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomised and non-randomised studies of health care interventions. *J Epidemiol Community Health* 1998; 52:377-84.
26. Downs SH, Black N. The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomised and non-randomised studies of health care interventions. *J Epidemiol Community Health.* 1998;52:377–84.
27. Palmieri-Smith RM, Thomas AC, Wojtys EM. Maximizing Quadriceps Strength After ACL Reconstruction. Vol. 27, *Clinics in Sports Medicine.* 2008. p. 405–24.



28. Hart JM, Pietrosimone B, Hertel J, Ingersoll CD. Quadriceps Activation Following Knee Injuries: A Systematic Review [Internet]. Available from: [www.nata.org/jat](http://www.nata.org/jat)
29. Oleksy Ł, Mika A, Sulowska-Daszyk I, Szymczyk D, Kuchciak M, Stolarczyk A, et al. Standard RTS criteria effectiveness verification using FMS, Y-balance and TJA in footballers following ACL reconstruction and mild lower limb injuries. *Sci Rep*. 2021 Dec 1;11(1).
30. Lepley LK, Wojtys EM, Palmieri-Smith RM. Combination of eccentric exercise and neuromuscular electrical stimulation to improve biomechanical limb symmetry after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clinical Biomechanics*. 2015 Aug 1;30(7):738–47.
31. Ebert JR, Edwards P, Yi L, Joss B, Ackland T, Carey-Smith R, et al. Strength and functional symmetry is associated with post-operative rehabilitation in patients following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2018 Aug 1;26(8):2353–61.
32. de Britto MA, Carpes FP, Koutras G, Pappas E. Quadriceps and hamstrings prelanding myoelectric activity during landing from different heights among male and female athletes. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2014;24(4):508–12.
33. Kuenze CM, Foot N, Saliba SA, Hart JM. Drop-landing performance and knee-extension strength after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Athl Train*. 2015 Jun 1;50(6):596–602.
34. Ward SH, Blackburn JT, Padua DA, Stanley LE, Harkey MS, Luc-Harkey BA, et al. Quadriceps neuromuscular function and jump-landing sagittal-plane knee biomechanics after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Athl Train*. 2018 Feb 1;53(2):135–43.
35. Xergia SA, Pappas E, Zampeli F, Georgiou S, Georgoulis AD. Asymmetries in functional hop tests, lower extremity kinematics, and isokinetic strength persist 6 to 9 months following anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 2013;43(3):154–62.
36. Lepley LK, Thomas AC, McLean SG, Palmieri-Smith RM. FATIGUE'S LACK OF EFFECT ON THIGH-MUSCLE ACTIVITY IN ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT-RECONSTRUCTED PATIENTS DURING A DYNAMIC-LANDING TASK.
37. Jordan MJ, Aagaard P, Herzog W. Asymmetry and Thigh Muscle Coactivity in Fatigued Anterior Cruciate Ligament-Reconstructed Elite Skiers. *Med Sci Sports Exerc*. 2017 Jan 1;49(1):11–20.
38. Ageberg et al. 2008, Muscle strength and functional performance in patients with anterior cruciate ligament injury treated with training and surgical reconstruction or training only\_ A two to five-year followup \_ Enhanced Reader.
39. Jean LMY, Gross DP, Chiu LZ. Knee Extensor Strength in Anterior Cruciate Ligament-Deficient Individuals Following Normal and Modified Squats: A Randomized Controlled Trial [Internet]. 2021. Available from: [www.nscs.com](http://www.nscs.com)

40. Barnett S, Badger GJ, Kiapour A, Yen YM, Henderson R, Freiburger C, et al. Females Have Earlier Muscle Strength and Functional Recovery after Bridge-Enhanced Anterior Cruciate Ligament Repair. *Tissue Eng Part A*. 2020 Jul 1;26(13–14):702–11.
41. Pigozzi F, Salvo D, Parisi J, Giombini A; Isokinetic evaluation of anterior cruciate ligament reconstruction. Vol. 44, *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2004.
42. Ageberg E, Roos HP, Silbernagel KG, Thomeé R, Roos EM. Knee extension and flexion muscle power after anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon graft or hamstring tendons graft: A cross-sectional comparison 3 years post surgery. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2009 Feb;17(2):162–9.
43. Ericsson et al. 2013
44. McLean SG, Huang X, Su A, van den Bogert AJ. Sagittal plane biomechanics cannot injure the ACL during sidestep cutting. *Clinical Biomechanics*. 2004 Oct;19(8):828–38.
45. Doorenbosch CAM, Harlaar J. A clinically applicable EMG-force model to quantify active stabilization of the knee after a lesion of the anterior cruciate ligament [Internet]. Available from: [www.elsevier.com/locate/clinbiomech](http://www.elsevier.com/locate/clinbiomech)
46. Eitzen I, Holm I, Risberg MA. Preoperative quadriceps strength is a significant predictor of knee function two years after anterior cruciate ligament reconstruction. *Br J Sports Med*. 2009 May;43(5):371–6.
47. Kaya et al. 2019
48. Chmielewski TL, George SZ, Tillman SM, Moser MW, Lentz TA, Indelicato PA, et al. Low-Versus High-Intensity Plyometric Exercise during Rehabilitation after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *American Journal of Sports Medicine*. 2016 Mar 1;44(3):609–17.
49. Nagai T, Schilaty ND, Laskowski ER, Hewett TE. Hop tests can result in higher limb symmetry index values than isokinetic strength and leg press tests in patients following ACL reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2020 Mar 1;28(3):816–22.
50. Andersson C, Odensten M, Gillquist J. Knee Function After Surgical or Nonsurgical Treatment of Acute Rupture of the Anterior Cruciate Ligament: A Randomized Study With a Long-Term Follow-Up Period.
51. Zhang LQ, Nuber GW, Bowen MK, Koh JL, Butler JP, Zhang LQ, et al. Multiaxis muscle strength in ACL deficient and reconstructed knees: compensatory mechanism [Internet]. Vol. 34, *Med. Sci. Sports Exerc*. 2002. Available from: <http://www.acsm-msse.org>
52. Richards J. Orthotrak 5.0. Santa Rosa, CA: Motion, Analysis; 2002.
53. Bohannon, R. Reference values for extremity muscle strength obtained by hand-held dynamometry from adults aged 20 to 79 years. *Arch Phys Med Rehabil* 78,26, 1997.

54. Reurink, G., Goudswaard, G.J., Moen, M.H., Tol, J.L., Verhaar, J.A., and Weir, A. Strength measurements in acute hamstring injuries: intertester reliability and prognostic value of handheld dynamometry. *J Orthop Sports Phys Ther* 46,689, 2016.
55. Irrgang, J.J., Anderson, A.F., Boland, A.L., et al. Development and validation of the International Knee Documentation Committee Subjective Knee Form. *Am J Sports Med* 29,600, 2001.
56. Rossi, M.J., Lubowitz, J.H., and Guttman, D. Development and validation of the International Knee Documentation Committee Subjective Knee Form. *Am J Sports Med* 30,152, 2002
57. Noyes FR, McGinniss GH, Mooar LA. Functional disability in the anterior cruciate insufficient knee syndrome. Review of knee rating systems and projected risk factors in determining treatment. *Sports Med* 1984;1:278–302.
58. Schulz KF, Chalmers I, Hayes RJ, et al. Empirical evidence of bias. Dimensions of methodological quality associated with estimates of treatment effects in controlled trials. *JAMA* 1995;273:408–12.
59. DerSimonian R, Charette J, McPeck B, et al. Reporting on methods in clinical trials. *N Engl J Med* 1982;306:1332–7.
60. Bram JT, Magee LC, Mehta NN, Patel NM, Ganley TJ. Anterior Cruciate Ligament Injury Incidence in Adolescent Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med*. 2021 Jun;49(7):1962-1972. doi: 10.1177/0363546520959619. Epub 2020 Oct 22. PMID: 33090889.

## APPENDICE

TABELLA 1. Parole chiave utilizzate nei diversi database.

PAROLE CHIAVE	TERMINE	TERMINE MESH	RISULTATI
<b>LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE</b>	1. anterior cruciate ligament	1. "Anterior Cruciate Ligament"[Mesh] AND "Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[Mesh] AND "Anterior Cruciate Ligament Injuries"[Mesh]	2.034
	2. acl	2. "Anterior Cruciate Ligament"[Mesh] AND "Anterior Cruciate Ligament Injuries"[Mesh]	6.778
<b>GINOCCHIO</b>	3. knee	3. "Knee Joint"[Mesh] OR "Knee"[Mesh] OR "Arthroplasty, Replacement, Knee"[Mesh] OR "Knee Injuries"[Mesh]	113.623
		4. "Knee"[Mesh] AND "Knee Joint"[Mesh] AND "Arthroplasty, Replacement, Knee"[Mesh] AND "Knee Injuries"[Mesh]	10
<b>RIABILITAZIONE</b>	4. rehabilitation	5. "Rehabilitation"[Mesh] AND "rehabilitation" [Subheading] AND "Exercise Therapy"[Mesh] AND "Treatment Outcome"[Mesh]	5.088
<b>RICOSTRUZIONE LEGAMENTOSA</b>	5. Reconstruction	6. "Reconstructive Surgical Procedures"[Mesh] AND "Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[Mesh]	6.431
	6. surgery	7. "General Surgery"[Mesh] AND "Surgical Procedures, Operative"[Mesh] AND "Surgery, Plastic"[Mesh] AND "Reconstructive Surgical Procedures"[Mesh]	74
	7. operation		
	8. repair	8. "Surgical Procedures, Operative"[Mesh]	3.395.538
	9. anterior cruciate ligament reconstruction	9. "wound healing"[MeSH Terms]	136.879
	10. ligament, surgery	10. "Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[Mesh]	6.431

	11. aclr/ACLR	11. "Ligaments"[Mesh] OR "Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[Mesh] OR "Anterior Cruciate Ligament"[Mesh] OR "Anterior Cruciate Ligament Injuries"[Mesh]) AND ( "General Surgery"[Mesh] OR "Surgical Procedures, Operative"[Mesh] OR "Surgery, Plastic"[Mesh] OR "Reconstructive Surgical Procedures"[Mesh] )	23.569
<b>BIOMECCANICA</b>	12. biomechanics	12. "Biomechanical Phenomena/physiology"[M esh] OR "Biomechanical Phenomena/statistics and numerical data"[Mesh] )	12.361
	13. kinetics	13. "Kinetics"[Mesh]	498.607
	14. kinematics	14. "Biomechanical Phenomena"[Mesh]	143.288
	15. force	15. "Torsion, Mechanical"[Mesh] AND "Mechanical Phenomena"[Mesh] AND "Resistance Training"[Mesh] AND "Muscle Strength"[Mesh] AND "Torque"[Mesh]	177
	16. moment	16. not found	
	17. torque	17. "torque"[MeSH Terms]	10.115
	18. electromyography	18. "electromyography"[MeSH Terms]	82.770
	19. EMG	19. "electromyography"[MeSH Terms]	82.770
	<b>FORZA</b>	20. strength	20. "Muscle Strength"[Mesh] OR "Muscle Strength Dynamometer"[Mesh] OR "Tensile Strength"[Mesh] OR "Athletes"[Mesh] OR "Muscle Contraction"[Mesh] OR "Asthenia"[Mesh]
<b>QUADRICIPITE</b>	21. quadriceps quadriceps muscle muscle, quadriceps	21. "quadriceps muscle"[MeSH Terms]	6.251
		22. "quadriceps muscle"[MeSH Terms]	6251
		23. "quadriceps muscle"[MeSH Terms]	6251
<b>SALTO</b>	22. hop	24. nonuseful term found	
	23. land	25. nonuseful term found	
	24. landing	26. landing [All Fields]	11.692
	25. jump	27. nonuseful term found	
	26. jumping	28. "Plyometric	751

	27. distance	Exercise"[Mesh]	
		29. "Isotonic	37
	28. exercise	Contraction"[Mesh] AND	
		"Torque"[Mesh]	
		30. "Exercise Movement	1.360
		Techniques"[Mesh] AND	
		"Exercise"[Mesh]	
<b>HOP TEST</b>	29. hop test	31. [hop test] text	3.055
	30. forward jump	32. [forward jump] text	565
	31. jump for distance	33. [jump for distance] text	1.471
	32. hop test for distance	34. [hop test for distance] text	118
	33. triple hop for distance test	35. [triple hop for distance test] text	236
	34. single hop for distance test	36. [single hop for distance test] text	236
	35. crossover hop test	37. [crossover hop test] text	186
	36. exercise test	38. "exercise test"[MeSH Terms]	5.632

TABELLA 3. Elenco completo dei dati estratti per ogni studio

<b>DATI ESTRATTI</b>
<b>Nome dello studio</b>
<b>Caratteristiche dei partecipanti</b>
<b>Gruppo di controllo</b>
<b>Modalità di atterraggio</b>
<b>Dutata intervento</b>
<b>Frequenza intervento</b>
<b>Durata sessione del trattamento</b>