



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI GENOVA



Università degli Studi di Genova

Scuola di Scienze Mediche e Farmaceutiche

Dipartimento di Neuroscienze, Riabilitazione, Oftalmologia, Genetica e Scienze Materno-Infantili

Master in Riabilitazione dei Disordini Muscoloscheletrici

A.A. 2022/2023

Campus Universitario di Savona

Recupero del gesto funzionale del salto dopo ricostruzione del legamento crociato anteriore: Una revisione sistematica della letteratura

Candidato:

Lorenzo Fedeli

Relatore:

Dott. FT. OMPT Nicole Schenato

INDICE

ABSTRACT	1
CAPITOLO 1: INTRODUZIONE	3
1.1 ANATOMIA FUNZIONALE DEL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE	3
1.2 EPIDEMIOLOGIA DELLE LESIONI DEL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE	3
1.3 MECCANISMO LESIONALE	4
1.4 FATTORI DI RISCHIO	7
1.5 FASE FINALE E RETURN TO SPORT NELLA RIABILITAZIONE DOPO RICOSTRUZIONE LCA	9
1.6 CRITERI PER IL RETURN TO SPORT	12
1.6.1 Misure psicologiche	12
1.6.2 Test funzionali	13
1.7 BIOMECCANICA DEL SALTO	14
1.8 ALLENAMENTO DEL SALTO	15
1.9 METODOLOGIE DI MISURAZIONE DEL SALTO	16
1.10 SCOPO DELLA REVISIONE	18
CAPITOLO 2: MATERIALI E METODI	19
2.1 PROTOCOLLO DI RICERCA	19
2.2 CRITERI DI ELEGGIBILITÀ	19
2.2.1 Popolazione	19
2.2.2 Tipologia di interventi, confronto e outcome	19
2.2.3 Tipologia di studi	20
2.3 FONTI DI INFORMAZIONE	20
2.4 STRATEGIA DI RICERCA	20
2.4.1 Stringhe di ricerca	21
2.5 SELEZIONE DEGLI STUDI	21
CAPITOLO 3: RISULTATI	22
3.1 SELEZIONE DEGLI STUDI	22
3.2 CARATTERISTICHE DEGLI STUDI	23
3.3 SINTESI DEGLI ARTICOLI	23
3.4 VALUTAZIONE DEGLI ARTICOLI	32
3.4.1 Rischio di bias	32
3.5 RISULTATI DEGLI STUDI	33
3.5.1 Esercizio pliometrico	33
3.5.2 Training neuromuscolare	33
3.5.3 Allenamento della forza	36
3.5.4 Cross-training	40
3.5.5 Riabilitazione pre-operatoria	41
3.5.6 Riabilitazione accelerata vs riabilitazione standard	41
3.5.7 Elettrostimolazione sovrapposta ad esercizio	43
3.5.8 ACL-SPORTS	43
CAPITOLO 4: DISCUSSIONE	45
4.1 INTERVENTI	45
4.2 TEST DI SALTO	49
CAPITOLO 5: CONCLUSIONI	51
APPENDICE	52
BIBLIOGRAFIA	62

ABSTRACT

Introduzione: le lesioni del legamento crociato anteriore (LCA) rappresentano un infortunio molto comune tra gli atleti. In seguito alla ricostruzione del legamento, è necessario un programma di riabilitazione di Ritorno allo Sport che comprenda il recupero delle abilità sport-specifiche tra le quali il salto.

Obiettivo dello studio: l'obiettivo della revisione è quello di indagare quali siano le modalità di allenamento più idonee per il recupero del gesto funzionale del salto dopo intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore.

Materiali e Metodi: sono stati inclusi tutti i soggetti sottoposti a ricostruzione del LCA, ad eccezione degli individui che presentano lesioni associate rare o patologie concomitanti. Abbiamo ritenuto idonea per l'inclusione qualsiasi modalità attiva di allenamento mentre non sono state applicate restrizioni per la tipologia di riabilitazione impiegata per il gruppo di controllo. La stringa di ricerca è stata definita sulla base della Popolazione e Intervento, secondo il modello PICO, e quindi applicata sulla banca dati MEDLINE (PubMed), Cochrane, PEDro, Scopus e CINAHL.

Risultati: dalla ricerca nei database selezionati sono stati individuati un totale di 1937 articoli, dei quali sono rimasti 995 dopo la rimozione dei duplicati. Dopo la selezione in base al titolo ed abstract, sono stati valutati 37 articoli sulla base del full-text. Infine, sono stati inclusi 30 articoli che rispettavano i criteri di eleggibilità stabiliti.

Discussione e conclusioni: 2 articoli hanno valutato l'efficacia di programmi di esercizio pliometrico riscontrando effetti positivi sulle performance di salto senza differenze significative tra i programmi selezionati. 8 studi hanno valutato l'allenamento neuromuscolare ed emerge come sia importante integrare tali programmi ad un lavoro per la forza. La riabilitazione pre-operatoria sembra invece incrementare gli outcome di salto post-operatori, mentre non sono stati trovati miglioramenti significativi riguardo il *Cross-Training*.

L'allenamento della forza associato ad un training neuromuscolare risulta fondamentale per un recupero adeguato del salto, insieme ad un programma di allenamento pliometrico. I limiti di questa revisione riguardano principalmente la grande eterogeneità degli interventi e il campione limitato di pazienti presenti negli studi. Potrebbe essere utile per il futuro svolgere ulteriori studi primari per comprendere quali siano le tipologie, modalità, intensità e la frequenza degli allenamenti che permettano un incremento maggiore della performance del salto.

CAPITOLO 1: INTRODUZIONE

1.1 Anatomia funzionale del legamento crociato anteriore

Il legamento crociato anteriore (LCA) è un ampio legamento intra-articolare, extra-sinoviale costituito da una struttura a bande di tessuto connettivo denso, le cui estremità decorrono dalla superficie postero-mediale del condilo femorale laterale alla superficie intercondiloidea anteriore della tibia^{1,2}. Dalla sua inserzione femorale, il LCA decorre anteriormente, medialmente e distalmente verso la tibia. La sua lunghezza varia da 22 a 41 mm (media=32 mm) e la sua larghezza da 7 a 12 mm². La forma della sezione trasversale del LCA viene definita "irregolare". L'area della sezione trasversale aumenta dal femore alla tibia come segue: 34 mm² prossimale, 33 mm² medio-prossimale, 35 mm² a livello della porzione media, 38 mm² medio-distale e 42 mm² distalmente².

Dal punto di vista funzionale, il legamento crociato anteriore è suddiviso in due fasci: il fascio antero-mediale (AM) e il fascio postero-laterale (PL), in base ai loro siti di inserzione tibiale³. La funzione principale del legamento crociato anteriore è quella di stabilizzatore articolare statico del ginocchio. Il LCA è il principale vincolo alla traslazione anteriore della tibia rispetto al femore e agisce resistendo all'iperestensione e ai movimenti rotatori. Esso funge da importante freno secondario alla rotazione interna, in particolare quando l'articolazione è prossima alla piena estensione². In secondo luogo, funziona come un vincolo secondario minore alla rotazione esterna e resiste ai movimenti in varo e valgo in tutti i gradi di flessione, in particolare in condizioni di carico^{2,3}.

1.2 Epidemiologia delle lesioni del legamento crociato anteriore

Le lesioni del legamento crociato anteriore rappresentano un infortunio molto comune in particolare tra gli atleti. Si stima che si verifichino più di 120.000 lesioni del legamento crociato anteriore ogni anno negli Stati Uniti, principalmente durante gli anni delle scuole superiori e del College. La lesione del legamento può verificarsi sia con meccanismi da contatto che da non contatto e ha un'incidenza relativamente alta negli sport che prevedono un contatto tra gli atleti^{4,5}.

Montalvo e coll. (2018) hanno condotto una revisione sistematica per studiare la proporzione di incidenza e il tasso di incidenza delle lesioni del LCA negli atleti maschi e femmine. Dai 58 studi analizzati la proporzione di incidenza complessiva delle lesioni al LCA per tutti gli atleti (maschi e femmine) è stata del 2,8%, che equivale ad una lesione LCA ogni 36 atleti. Secondo gli autori, la proporzione di incidenza di lesioni del LCA per le atlete era del 3,5%, mentre per gli atleti di sesso maschile era del 2,0%. Il rischio relativo (RR) per infortunio del LCA è stato stimato 1,5 volte superiore nelle atlete rispetto agli atleti maschi⁶.

Sempre Montalvo e coll. (2019) hanno confrontato i tassi di incidenza delle lesioni del LCA tra gli atleti maschi e femmine in diverse tipologie di sport: sport di collisione, di contatto, contatto limitato e senza contatto. Dai risultati ottenuti dai 36 studi analizzati, è emerso che le atlete che partecipavano a sport di contatto avevano un tasso di incidenza per lesioni del LCA maggiore rispetto ai soggetti maschi. Al contrario, il tasso di incidenza per gli sport di collisione, contatto limitato e senza contatto non hanno evidenziato differenze tra i sessi⁴.

1.3 Meccanismo lesionale

Comprendere le situazioni e i meccanismi che portano alle lesioni del LCA è fondamentale per progettare efficacemente programmi di esercizi specifici per ridurre l'incidenza di tale infortunio⁷. In letteratura sono descritti tre categorie di meccanismo lesionale: lesioni da non contatto, definite come un infortunio che si verifica senza alcun contatto al ginocchio o a qualsiasi altro livello; meccanismo lesionale da contatto indiretto, definito come una lesione risultante da una forza esterna applicata al soggetto, ma non direttamente al ginocchio infortunato; e infine le lesioni da contatto diretto, causate da una forza esterna applicata direttamente al ginocchio infortunato⁷.

Della Villa e coll. (2020) hanno analizzato le riprese video dell'evento lesivo di 134 calciatori maschi professionisti. Dai risultati ottenuti è emerso che la maggior parte degli infortuni (121 casi; 90%) avveniva con la gamba lesionata in carico, frequentemente in monopodolica (94 casi; 70%). Gli autori hanno classificato 59 lesioni da non contatto (44%), 59 da contatto indiretto (44%) e 16 lesioni da contatto diretto (12%). Gli infortuni da contatto diretto si sono verificati sia in situazioni di gioco difensive (n=9) che offensive (n=7). Dal punto di vista biomeccanico, la maggior parte delle lesioni del LCA da contatto diretto derivavano da una forza esterna con carico del ginocchio in valgo (n=13), mentre i restanti 3 casi erano lesioni da iperestensione, come diretta conseguenza di una forza applicata anteriormente⁷. Sono stati identificate quattro situazioni principali determinanti la lesione del LCA da contatto indiretto o da non contatto: Pressare/*Tackling* (n=55; 47%), *Tackled* (n=24; 20%), ritrovare l'equilibrio dopo aver calciato (n=19; 16%), Atterraggio da un salto (n=8; 7%).

Dall'analisi biomeccanica sul piano frontale eseguita su 107 casi, i giocatori hanno mostrato un tronco leggermente inclinato omolateralmente (5°), in posizione neutra o ruotato controlateralmente verso l'arto illeso, l'anca abdotta con ginocchio in posizione neutra (63%) o in valgo (27%) e il piede in appoggio ruotato esternamente. Sul piano sagittale invece i giocatori hanno mostrato il tronco eretto, l'anca leggermente flessa (35°), lieve flessione del ginocchio (17,5°) e la caviglia in flessione plantare con appoggio del tallone in quasi la metà dei casi. Il carico in valgo del ginocchio è stato osservato frequentemente (81%) e in diversi casi (69%) è stata osservata un aumento significativo della

rotazione interna e/o dell'adduzione dell'anca dal contatto iniziale (IC) al momento della lesione (IF – *injury frame* – stimato circa 40 ms dopo il contatto iniziale).

Al momento della lesione (IF), il tronco è rimasto eretto (0°), con flessione dell'anca simile, maggiore flessione del ginocchio (40°) e caviglia neutra (0°), piede piantato a terra (89%). Sul piano frontale il tronco è rimasto inclinato omolateralmente (5°), con maggiore prevalenza di rotazione del tronco verso il lato illeso (83%). L'anca è rimasta abdotta nella maggior parte dei casi (72%), con una maggior prevalenza di ginocchio valgo (81%) e piede ruotato esternamente (66%)⁷.

Un simile studio è stato pubblicato da Della Villa e coll. (2021) analizzando le riprese video di atleti di rugby di sesso maschile. Dall'analisi biomeccanica di 38 soggetti, sul piano sagittale al contatto iniziale, i giocatori mostravano il tronco eretto (15°), anca flessa (40°), lieve flessione di ginocchio e una lieve flessione plantare di caviglia. Sul piano frontale al contatto iniziale, il tronco era leggermente inclinato omolateralmente con tendenza ad essere ruotato verso il lato illeso. In un terzo dei casi, al contatto iniziale il tronco era in rotazione neutra (39%). L'anca è risultata abdotta nella maggior parte dei casi (91%) e con ginocchio in posizione neutra (63%) o in valgo (37%)⁸. Per quanto riguarda l'*injury frame*, sul piano sagittale il ginocchio risultava più flesso rispetto al contatto iniziale. La caviglia è rimasta in flessione plantare e il piede è apparso piantato in tutti i casi. Sul piano frontale il tronco era leggermente inclinato omolateralmente e, nella maggior parte, ruotato verso il lato sano. In quasi tutti i casi è stato osservato un valgismo del ginocchio (94%)⁸. Dal punto di vista biomeccanico, la maggior parte delle lesioni del LCA da contatto diretto derivava da una forza esterna, con carico in valgo del ginocchio. Altre lesioni si sono verificate a causa dell'iperestensione o dell'applicazione di una forza tibiale posteriore⁸.

Secondo uno studio di Waldén e coll. (2015)⁹ su 39 giocatori di calcio, tutti gli infortuni avvenuti durante l'atterraggio da un salto dopo aver colpito la palla con la test sono avvenuti senza contatto al momento dell'infortunio. Su 5 casi totali di infortuni avvenuti nell'atterraggio dopo un salto, in 2 casi c'è stato un contatto durante il salto, avvenuto a livello degli arti superiori o del tronco, che ha destabilizzato l'atleta, mentre i restanti 3 casi non hanno avuto contatti prima dell'atterraggio. I soggetti sono atterrati su una gamba sola e in tutte queste situazioni il giocatore infortunato è atterrato sull'avampiede. Gli angoli di flessione di ginocchio al contatto iniziale erano di 10° o meno in tutti i casi, ma mostravano una variazione maggiore per l'anca. L'angolo di flessione medio, al contatto iniziale, era di 10° per l'anca e di 5° per il ginocchio. In 2 casi su 5 è stato osservata un valgo dinamico del ginocchio nel momento della lesione. La maggior parte dei giocatori si è infortunata dopo essere atterrati in modo sbilanciato su una gamba sola. Pertanto, gli autori suggeriscono che gli esercizi di prevenzione delle lesioni del LCA nei calciatori maschi dovrebbero mirare al controllo

neuromuscolare e posturale in situazioni di squilibrio, così come l'allenamento della tecnica di salto e atterraggio⁹.

Il recupero dell'equilibrio dopo aver calciato (n=5) è un'altra situazione di infortunio comune, dovuta a meccanismi di infortunio da non contatto o da contatto indiretto. Il giocatore che calciava si muoveva tipicamente ad alta velocità in condizioni di sbilanciamento. Gli angoli di flessione all'IC erano inferiori a 30° e 20° in tutti i casi rispettivamente per le articolazioni dell'anca e del ginocchio (angoli di flessione medi di 10°). In tre casi è stata osservata una sostanziale abduzione dell'anca e tre casi in valgismo del ginocchio⁹.

Fra gli infortuni da non contatto più frequenti c'è quello in situazione di difesa (pressing). In una situazione di pressing, il giocatore in difesa in genere effettuava un passo laterale con lo scopo di raggiungere la palla o placcare un avversario. In 6 casi su 11, il giocatore infortunato aveva intenzione di placcare o stava placcando, senza raggiungere alcun contatto con l'avversario. Il giocatore che faceva il pressing tipicamente si muoveva in avanti ad alta velocità con un angolo di taglio compreso tra 30° e 90°. Gli angoli di flessione individuali al contatto iniziale erano in tutti i casi di 40° o meno per l'anca e di 20° o meno per il ginocchio, con angoli di flessione mediani di 25° per l'anca e 5° per il ginocchio. Inoltre, gli autori hanno evidenziato un'abduzione dell'anca in 8 casi e un ginocchio valgo in 6 casi. Al momento della lesione si è evidenziata una rotazione del tronco controlaterale all'arto lesionato in 6 casi su 11 e il carico completamente sull'arto lesionato⁹.

La maggior parte delle lesioni del LCA si verificano senza che oggetti esterni entrino direttamente in contatto con l'articolazione del ginocchio. In quanto tali, i meccanismi e i fattori di rischio per le lesioni del LCA da non contatto sono stati ampiamente studiati. Tuttavia, il contatto indiretto, definito come contatto con parti del corpo diverse dal ginocchio infortunato, sembra avere un ruolo importante in molte lesioni del LCA. In primo luogo, gli sport di contatto hanno mostrato un rischio di lesione del LCA maggiore di 3 e 6 volte rispetto agli sport a contatto limitato e agli sport senza contatto. Inoltre, le analisi video dei casi di lesione del LCA in più sport di squadra hanno dimostrato che l'8%-60% delle lesioni del LCA è associato al contatto con il tronco e/o le braccia prima o in prossimità del momento stimato della lesione¹⁰. Song Y. e coll. (2022) hanno condotto uno studio su 32 soggetti per determinare gli effetti della perturbazione esterna sulle variabili di carico bilaterale del LCA durante gli atterraggi da un salto. I risultati hanno supportato l'ipotesi che la perturbazione esterna a metà volo comporterebbe un aumento delle variabili di carico sul LCA nella gamba controlaterale alla perturbazione rispetto alla gamba omolaterale, e ad entrambe le gambe in condizioni di assenza di perturbazione. Sia la perturbazione del tronco superiore che quella inferiore hanno dimostrato minori angoli di flessione del ginocchio al contatto iniziale, aumento della forza di reazione a suolo

verticale e aumento dei momenti estensori del ginocchio per la gamba controlaterale rispetto alla gamba ipsilaterale. Sotto la perturbazione del tronco superiore, la gamba controlaterale ha mostrato angoli di flessione del ginocchio significativamente più piccoli al contatto iniziale e angoli di picco di abduzione del ginocchio, forze di reazione al suolo verticali di picco, picco di momenti di estensione del ginocchio e picchi di momenti di adduzione del ginocchio maggiori rispetto a all'altra gamba in tutte le condizioni. Sotto perturbazione della parte inferiore del tronco, la gamba controlaterale ha mostrato angoli di flessione del ginocchio significativamente più piccoli al contatto iniziale e un aumento delle forze di reazione al suolo verticali e picco dei momenti di estensione del ginocchio rispetto alla gamba in condizioni di assenza di perturbazione¹⁰.

La perturbazione della spinta del tronco esterno a metà volo ha aumentato le variabili di carico del LCA per la gamba controlaterale alla perturbazione. La perturbazione del tronco superiore ha comportato maggiori cambiamenti nelle variabili di carico LCA rispetto alla perturbazione del tronco inferiore, probabilmente a causa della rotazione del tronco e della gamba ipsilaterale e del centro di massa localizzato più lateralmente rispetto alla gamba controlaterale.

I risultati ottenuti da questo studio permettono di comprendere meglio i meccanismi delle lesioni del LCA da contatto indiretto. Il contatto indiretto non applica una forza direttamente sul LCA, ma può aumentare il carico sul legamento modificando le posture di atterraggio e le distribuzioni di carico tra i segmenti e le articolazioni. Il contatto indiretto non solo applica una forza esterna all'atleta, ma può modificare le velocità di movimento di un atleta, gli angoli delle articolazioni, la rotazione di tutto il corpo, la distribuzione del centro di massa di tutto il corpo e le strategie di atterraggio. Viste queste considerazioni, studi futuri potrebbero prendere in considerazione l'incorporazione di compiti di atterraggio con salto con perturbazione esterna per simulare meglio i modelli di atterraggio su una gamba sola imposti dalle prestazioni sportive. In secondo luogo, gli atleti devono essere consapevoli dell'aumento del carico sul LCA associato a perturbazioni esterne, in particolare sulla parte superiore del tronco. Gli atleti potrebbero eseguire attività di atterraggio specifiche per lo sport con perturbazioni imprevedibili a livello del tronco. Inoltre, quando l'ambiente sportivo lo consente, gli atleti possono essere addestrati a ridurre le variabili di carico LCA utilizzando strategie di caduta sicure ed efficaci che aumentano il range di movimento articolare e utilizzano altre parti del corpo¹⁰.

1.4 Fattori di rischio

Multipli fattori di rischio sono associati alla lesione del legamento crociato anteriore. Questi fattori possono essere classificati come intrinseci o estrinseci, modificabili o non modificabili. I fattori intrinseci non modificabili includono il sesso, le variazioni anatomiche, la storia di precedenti lesioni del LCA e la predisposizione genetica, mentre i fattori intrinseci modificabili includono l'indice di

massa corporea (BMI), lo stato ormonale al momento della pratica sportiva, i deficit neuromuscolari e le anomalie biomeccaniche. D'altra parte, i fattori estrinseci, che sono modificabili, includono l'ambiente di gioco, l'attrezzatura, il livello di competizione e il tipo di sport³.

I fattori di rischio anatomici per le lesioni del LCA sono stati ampiamente studiati. La maggior parte degli studi ha trovato una relazione tra la larghezza della gola intercondiloidea o l'indice di larghezza della gola intercondiloidea (il rapporto tra la larghezza della gola intercondiloidea e del condilo femorale) e il rischio di subire una lesione del LCA. Gli atleti con una gola stretta corrono un rischio significativamente maggiore di incorrere in una lesione LCA da non contatto, indipendentemente dal sesso. Inoltre, è stata riscontrata un'associazione tra una ridotta area della sezione trasversale del LCA e una gola intercondiloidea stretta con un aumento del rischio di lesione. Altri possibili fattori di rischio anatomico includono la pendenza tibiale diretta posteriormente-inferiore e la minor profondità del piatto tibiale mediale. Anche la lassità legamentosa è stata associata ad un aumento del rischio di lesione del crociato anteriore. Un fattore di rischio anatomico modificabile associato alle lesioni del LCA è un BMI elevato³.

Anche i fattori neuromuscolari e biomeccanici hanno ricevuto notevole attenzione in quanto modificabili. È stato osservato che i partecipanti infortunati mostrano un aumento dell'abduzione del ginocchio, così come anche una maggiore forza di reazione al suolo. È stato anche dimostrato che le ragazze, durante l'atterraggio da un salto, eseguono manovre pivoting con minor flessione del ginocchio e dell'anca, aumento del valgo del ginocchio, rotazione interna dell'anca, rotazione esterna della tibia e attività muscolare del quadricipite alta in relazione ai muscoli posteriori della coscia³.

Inoltre, le donne hanno mostrato una "dominanza delle gambe", cioè uno squilibrio tra forza muscolare, flessibilità e coordinazione tra i due arti inferiori (un arto rispetto al controlaterale), e tali squilibri sono associati ad un aumentato rischio di lesioni. L'affaticamento muscolare aggrava ulteriormente la scarsa biomeccanica che aumenta il rischio di lesioni, soprattutto nell'ultima parte dell'attività sportiva¹¹.

Le ragazze hanno un rischio maggiore di lesioni LCA senza contatto rispetto ai ragazzi che praticano sport simili che comportano cambi di direzione, decelerazioni e/o salti³. Le ricerche hanno identificato che i recettori degli estrogeni e del progesterone possono avere un'influenza ormonale nelle lesioni del LCA³. Numerosi studi hanno valutato la relazione tra ciclo mestruale e rischio di lesioni. Mentre alcuni studi hanno dimostrato che la maggior parte delle lesioni del LCA nelle ragazze sembra verificarsi nella fase pre-ovulatoria follicolare precoce e tardiva, altri studi hanno mostrato una maggiore incidenza durante la fase post-ovulatoria e durante le mestruazioni³.

Il tipo di calzature, in particolare le scarpe che forniscono una maggiore resistenza torsionale con il suolo, come quelle con un numero di tacchetti più lunghi e più elevati, è associato a un tasso di lesioni

del LCA significativamente più elevato. Anche il tipo di superficie di gioco sembra avere un ruolo nel rischio di lesioni, in particolare quelle che causano un maggiore attrito della superficie della scarpa, come i pavimenti artificiali sintetici negli sport indoor (ad es. pallamano). Negli sport all'aria aperta invece giocare sull'erba naturale sembra essere meno rischioso dell'erba artificiale³.

Pfeifer e coll. (2018)¹² hanno condotto una revisione sistematica sui fattori di rischio per lesioni del legamento crociato anteriore con meccanismo da non contatto. Dagli studi analizzati è emerso che gli individui che subiscono una lesione del LCA presentano una gola intercondiloidea più stretta e un aumento della pendenza del piatto tibiale posteriore o laterale. Per quanto riguarda i fattori neuromuscolari, uno studio analizzato nella revisione sistematica ha dimostrato che la capacità di controllare il core e il tronco in reazione alle perturbazioni esterne nelle atlete può predire le lesioni al LCA. Quindi la diminuzione del controllo neuromuscolare del tronco sembra influenzare la stabilità dinamica dell'articolazione del ginocchio e aumentare il rischio di lesioni al ginocchio durante i gesti atletici. Altri studi hanno identificato che i deficit di forza degli abduttori dell'anca e dei rotatori esterni predispongono gli individui a lesioni e il potenziale squilibrio tra i gruppi muscolari dei muscoli posteriori della coscia e del quadricipite può esporre gli individui a un rischio maggiore di lesione del LCA. È stato dimostrato che gli individui che si presentano con le seguenti caratteristiche biomeccaniche sono a rischio di lesione del LCA. Il valgismo del ginocchio determina un aumento delle forze di reazione al suolo, esponendo le femmine ad un rischio maggiore di infortunio. Inoltre, uno studio ha riportato che varie combinazioni di movimento tibiale (ad esempio traslazione anteriore + abduzione, traslazione anteriore + rotazione esterna) hanno determinato un aumento della tensione sul LCA, rispetto al normale atterraggio, in particolare nella combinazione di abduzione e traslazione anteriore della tibia. Cinque studi analizzati nella revisione hanno identificato che la presenza di varianti dei geni del collagene (ad es. COL1A1, COL12A1) in entrambi i sessi aumenta la probabilità di lesione del LCA. Uno studio ha dimostrato invece che i geni della metalloproteasi della matrice, che svolgono un ruolo importante ruolo nel rimodellamento tissutale, può avere un'associazione con la lesione. Infine, uno ha riportato che la presenza di polimorfismi dei geni proteoglicani può predisporre gli individui alla lesione del LCA¹².

1.5 Fase finale e Return To Sport nella riabilitazione dopo ricostruzione LCA

I risultati del ritorno allo sport (RTS) dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore (rLCA) sono spesso insoddisfacenti. Soltanto il 35-45% dei pazienti sottoposti a ricostruzione del LCA è in grado di ritornare allo sport ai livelli pre-lesionali. Ancora più importante, coloro che riprendono le attività sportive lo fanno con un rischio complessivo di lesione secondaria LCA di circa il 15%, mentre per i giovani atleti la probabilità sembra essere del 30% entro i primi 2 anni dopo il ritorno

allo sport. Pertanto, sembra che i programmi di recupero funzionale e i criteri RTS generalmente adottati dopo rLCA debbano essere migliorati¹³.

Per un adeguato ritorno alle attività sport-specifiche è necessario attuare un programma di riabilitazione in fase avanzata (late-stage) e di Ritorno allo Sport che comprenda una combinazione di riabilitazione sul campo, ri-allenamento del movimento e ricondizionamento in palestra. La riabilitazione sul campo deve essere supportata da un adeguato programma di ricondizionamento in palestra, al fine di raggiungere la funzione e il condizionamento fisico necessari per un RTS ottimale. Questo programma dovrebbe focalizzarsi sul ripristino della forza massima, della potenza esplosiva (potenza massima e RFD) e della funzionalità cardiovascolare. Inoltre è necessario un ri-allenamento mirato del movimento utilizzando per esempio tecniche di biofeedback e visuo-motorie¹³.

La capacità del sistema neuromuscolare di sviluppare forza è importante per fornire stabilità dinamica a un'articolazione. La ristabilizzazione rapida (<50 ms) delle articolazioni in seguito a perturbazione esterna, o attività esplosive come lo sprint comportano tempi di contrazione più brevi del tempo necessario per produrre la massima forza volontaria isometrica, che tipicamente è dell'ordine di 300 ms. Quindi, la capacità di produrre forza durante attività sportive rapide (cioè sforzi esplosivi) può dipendere maggiormente dalla capacità di aumentare rapidamente la forza da bassi livelli, definita tasso di sviluppo della forza (RFD), piuttosto che dalla forza muscolare massima. In quanto tale, la RFD sembra essere un aspetto importante della funzione neuromuscolare e può richiedere un'ulteriore considerazione nei programmi di riabilitazione in fase avanzata. Dopo 6 mesi dalla ricostruzione del LCA sono stati riportati deficit del RFD del 30%, nonostante il pieno ripristino della massima forza degli estensori del ginocchio. Si raccomanda, dopo aver raggiunto una sufficiente funzione neuromuscolare di base dopo rLCA (ad es. minimo di almeno 80–90% LSI per la forza isocinetica dei flessori e degli estensori del ginocchio), un periodo di ulteriore di allenamento neuromuscolare per ripristinare le funzioni neuromuscolari esplosive. Sono necessari stimoli specifici per sviluppare il RFD nei primi 50-100 ms, compreso l'allenamento della forza esplosiva, tra cui allenamenti della forza balistica, come attività di salto o balzi e della forza massima (<5 RM). Pertanto, la riabilitazione in fase avanzata dovrebbe incorporare queste specifiche pratiche di allenamento (isometria esplosiva, balistica, pliometria) come parte di un approccio a metodi misti per il ripristino delle prestazioni neuromuscolari¹³.

Il riallenamento del movimento prima del RTS dovrebbe costituire un elemento importante del processo di recupero funzionale. In primo luogo, fattori neuromuscolari e biomeccanici come squilibri della forza muscolare/debolezza agonista possono influenzare la qualità del movimento. La valutazione e la risoluzione di questi fattori sono importanti passi iniziali nel processo di

riaddestramento del movimento e un programma di allenamento neuromuscolare ben progettato può supportare una migliore qualità del movimento e una riduzione del rischio di lesioni del LCA.

In secondo luogo, le alterazioni della funzione neuromuscolare non si trasferiscono direttamente a una migliore espressione della qualità del movimento durante l'esecuzione di compiti di tipo funzionale. Invece, è necessario incorporare la pratica del movimento per riapprendere e ottimizzare la coordinazione del movimento durante questi compiti. La formazione dovrebbe includere il coaching del movimento per supportare la comprensione cognitiva dei compiti di movimento, utilizzando tecniche di biofeedback e incoraggiare una focalizzazione dell'attenzione esterna piuttosto che interna. Questi movimenti dovrebbero essere appresi sia durante i compiti controllati in palestra (o in un ambiente di movimento specializzato) sia durante i movimenti lineari e poi multidirezionali sul campo. In sintesi, il ripristino della qualità del movimento è un elemento di vitale importanza nella riabilitazione del LCA. È importante affrontare gli elementi biomeccanici, neuromuscolari, sensomotori e neurocognitivi del movimento. Si consiglia di riconoscere i modelli di movimento richiesti dallo sport dell'atleta e di garantire un approccio graduale e multi-mirato al riallenamento del movimento per ottimizzare la qualità del movimento degli atleti su RTS. Ciò può essere ottenuto attraverso un programma di movimento specifico per lo sport, con aumenti graduali della specificità dello sport attraverso la fornitura di un numero maggiore di opzioni (ad esempio tre opzioni di passaggio invece di una) e scelte di movimento, avversari e distrazioni per preparare l'atleta alle esigenze molto complesse dello sport praticato¹³.

Il re-training sport-specifico rappresenta una fase finale fondamentale del programma di riabilitazione LCA, prima del ritorno allo sport. Il processo di ritorno allo sport dovrebbe includere una progressione dalla riabilitazione sul campo al ritorno all'allenamento di squadra e al ritorno alla competizione. La riabilitazione sul campo funge da ponte dall'ambiente riabilitativo al ritorno al coinvolgimento sportivo con la squadra o l'allenatore. Separare la riabilitazione sul campo in fasi distinte può fornire un progressivo aumento della complessità (cioè la progressione da movimenti controllati, lenti e pre-pianificati fino a movimenti altamente caotici e reattivi specifici per lo sport) e volume e intensità del lavoro. Una progressione di successo da esercizi semplici a esercizi più complessi dovrebbe avvenire solo quando i pazienti sono completamente fiduciosi e psicologicamente pronti. Il completamento della riabilitazione sul campo è stato uno dei criteri specifici che ha portato a un minor rischio di re-infortunio su RTS nei calciatori professionisti dopo ricostruzione LCA. Dopo il completamento della riabilitazione sul campo, è essenziale includere un periodo di allenamento completo con la squadra o l'allenatore, seguito da una graduale reintroduzione al match play agonistico, prima del completo rilascio al precedente livello agonistico¹³.

1.6 Criteri per il Return To Sport

Sebbene ci siano diverse linee guida, ci sono prove limitate riguardo i parametri che influenzano o predicono il risultato finale della riabilitazione post ricostruzione del legamento crociato anteriore e del *Return To Sport* (RTS)¹⁴. Recentemente, è stato dimostrato che soddisfare i criteri RTS prima dell'effettivo ritorno allo sport riduce il rischio di nuove lesioni del 75-84%. Tuttavia, gli attuali criteri RTS sembrano non essere sufficientemente specifici o sensibili per determinare quando un paziente è veramente pronto per ritornare in campo e lo stesso superamento dei criteri non garantisce in alcun modo che un atleta sia al sicuro da re-infortuni. In particolare, in un recente studio prospettico su 158 calciatori professionisti di sesso maschile, quei giocatori che non raggiungevano i criteri RTS proposti avevano quattro volte più probabilità di incorrere in un secondo infortunio LCA rispetto a quelli che soddisfacevano tutti i criteri proposti (tra cui *Limb Symmetry Index* (LSI) > 90% per test di forza muscolare del quadricipite e hamstring e *triple hop test*). Tuttavia, 12 dei 26 giocatori con una recidiva di lesione LCA soddisfacevano effettivamente i criteri RTS, mentre 28 dei 132 giocatori senza un secondo infortunio LCA non hanno superato i criteri RTS. In una recente revisione sistematica è stato dimostrato che il superamento dei criteri RTS non riduce significativamente il rischio di una seconda lesione del LCA, evidenziando la capacità limitata degli attuali test RTS approcci per determinare coloro che sono ad alto rischio di lesioni secondarie del LCA¹³.

Si raccomanda quindi di prendere in considerazione per il RTS il tempo trascorso dalla ricostruzione, la prontezza psicologica, lo stato del ginocchio, la sicurezza, la stabilità e i test di salto, insieme con l'approvazione medica e l'autorizzazione del medico chirurgo e del medico curante dello sport¹³.

1.6.1 Misure psicologiche

Negli ultimi anni, la psicologia del paziente è diventata una questione dominante nel ritorno allo sport. La prontezza psicologica e la kinesiofobia sono aspetti che hanno ricevuto recentemente maggior attenzione. Infatti, diversi studi hanno mostrato che un'alta percentuale di atleti ha espresso paura di re-infortunarsi, nuovi infortuni o mancanza di fiducia nel ginocchio nel momento è stato chiesto loro di tornare alla precedente attività sportiva. Un'elevata self-efficacy, un alto locus of control interno e un basso livello di paura sono associati ad una maggiore possibilità di RTP¹⁴.

La scala *ACL Return to Sport after Injury* (ACL-RSI) misura la prontezza psicologica nel ritorno allo sport dopo un infortunio al LCA o in seguito all'intervento chirurgico. È l'unica scala psicologica specifica per lesioni del LCA. L'ACL-RSI è composta da 12 item e il punteggio totale indica il livello complessivo di prontezza psicologica per un ritorno allo sport. Gli item della scala sono organizzati in tre sottogruppi: emozioni, fiducia nelle prestazioni e valutazione del rischio¹⁵. Si ipotizza che questi fattori siano tra loro correlati e che evidenzino un costrutto comune, ovvero la "prontezza

psicologica”, termine utilizzato per descrivere i fattori mentali che influenzano il RTS dopo una lesione del LCA. Questi fattori includono aspettative realistiche, fiducia nelle prestazioni, alti livelli di autoefficacia e bassi livelli di paura e ansia. La scala ACL-RSI è stata tradotta e validata in italiano da Tortoli e coll. (2020), i quali hanno riscontrato una buona consistenza interna, affidabilità e validità della scala¹⁶.

1.6.2 Test funzionali

Una grande importanza per il ritorno allo sport è data ai test di salto. Negli ultimi anni, diversi test di salto (*hop test*) sono stati proposti (es. *drop jump*, *vertical hop test*, *side hop test*, ecc.). Più recentemente, l'attenzione è stata posta non solo sulla capacità dell'atleta infortunato di eseguire con successo questi test, ma anche sulle misure basate sugli impairment e sulla qualità del movimento durante l'esecuzione di questi test. Il *Limb Symmetry index* (LSI) è stato ampiamente utilizzato come misura della prontezza al RTS. I valori di LSI clinicamente accettati sono generalmente >90%. I criteri accettati per quanto riguarda le misurazioni della forza muscolare includono risultati di forza >90% rispetto all'arto controlaterale sano. Il tasso di reinfortunio del LCA è stato significativamente ridotto del 51% per ogni mese in cui il RTS è stato ritardato, fino a 9 mesi dopo l'intervento chirurgico, dopo il quale non è stata osservata un'ulteriore riduzione del rischio. Utilizzando questa semplice regola, è possibile ridurre il rischio di un secondo infortunio dell'84%. Queste nuove informazioni forniscono una chiara evidenza del fatto che la decisione RTS dopo rLCA dovrebbe preferibilmente essere ritardata ad almeno 9 mesi dopo l'intervento chirurgico¹⁴.

Kotsifaki e coll. (2022)¹⁷ hanno condotto uno studio per valutare la performance del *single leg vertical jump* nell'identificare deficit funzionali del ginocchio al momento del RTS in atleti maschi dopo ricostruzione del legamento crociato anteriore. Sono stati inclusi nello studio 48 soggetti maschi, 26 idonei dopo ricostruzione del LCA e 22 soggetti di controllo. Tutti i soggetti sono stati valutati sul *single leg vertical jump* (SLJ) e sul *single leg drop jump* (SLDJ) attraverso i parametri di altezza del salto e *Reactive Strength Index* (RSI). Nonostante il superamento dei criteri di test raccomandati per il RTS dopo ricostruzione del LCA, sono state identificate asimmetrie significative nelle prestazioni del *Vertical Jump* negli atleti, nonché differenze rispetto al gruppo di confronto sano. Oltre alle differenze di prestazioni del salto, sono state evidenziate anche differenze nel lavoro del ginocchio, nella cinematica e nella funzione muscolare. In entrambe le attività di salto valutate, gli atleti del gruppo di studio hanno mostrato una maggiore estensione di ginocchio e maggiori flessione d'anca, inclinazione pelvica anteriore e flessione del tronco. Inoltre, gli atleti lesionati hanno mostrato un minor contributo del ginocchio coinvolto in termini di lavoro articolare rispetto all'arto non coinvolto e ai controlli, compensato con un maggiore lavoro dell'anca. Secondo gli autori questo potrebbe

rappresentare un meccanismo per compensare il ridotto lavoro del ginocchio riscontrato in tutte le fasi di entrambi i gesti funzionali richiesti.

Gli autori concludono che la misurazione delle prestazioni di salto verticale rappresenta uno strumento migliore per valutare la funzione del ginocchio rispetto al salto orizzontale, eseguito più comunemente nei pazienti con ricostruzione del LCA. L'altezza del salto e il RSI possono essere indicatori migliori della progressione della riabilitazione rispetto alla distanza del salto. Durante i salti verticali, gli atleti maschi dopo ricostruzione del LCA al momento del ritorno allo sport mostrano ancora deficit biomeccanici del ginocchio, nonostante abbiano raggiunto la simmetria nei test di distanza e di forza del salto orizzontale. Pertanto, in assenza di apparecchiature biomeccaniche più avanzate, il test di salto verticale può essere un'opzione clinica migliore per una migliore scelta del RTS¹⁷.

1.7 Biomeccanica del salto

Il salto è un'azione complessa che richiede la coordinazione di diversi gruppi muscolari del corpo. Durante la prima parte del salto, uno o entrambi i piedi sono in contatto con il pavimento. La pressione del piede genera la forza di reazione al suolo necessaria per sollevare il corpo dalla superficie. Questo può essere considerato come la componente del decollo (take-off) del salto. L'attività muscolare del quadricipite, dei muscoli posteriori della coscia, del tricipite surale e dei flessori dell'anca fornisce una forza verso il suolo. La reazione a questa forza si traduce nell'elevazione da terra. Il salto inizia con la flessione delle articolazioni dell'anca, del ginocchio e della caviglia e passa all'estensione di queste articolazioni quando il movimento inizia a progredire verso l'alto. La componente successiva del salto, l'ascesa, si verifica quando l'atleta si alza da terra e si muove contro gravità. Dopo il picco di elevazione, l'atleta inizia la parte di discesa del salto. La componente finale del salto, l'atterraggio, richiede l'azione controllata dei gruppi muscolari dell'addome, dei fianchi, delle cosce, della parte inferiore della gamba e dei piedi. La posizione di atterraggio varia a seconda dell'attività, ma in genere comporta un certo grado di flessione dell'anca, del ginocchio e della caviglia¹⁸.

I salti verticali (*vertical jump*), come lo *squat jump* (SJ) e il salto in contro-movimento (CMJ) vengono spesso utilizzati per valutare la forza esplosiva degli arti inferiori. Nello *squat jump*, dopo il primo movimento in discesa, il soggetto mantiene la posizione per alcuni secondi prima del movimento verso l'alto per saltare. Nel salto in contromovimento il soggetto parte da una posizione eretta e dopo un movimento verso il basso si ha un movimento verso l'alto immediato che porta al decollo^{19,20}.

1.8 Allenamento del salto

La pliometria è una forma di “allenamento balistico”, progettata per migliorare le capacità di prestazione di salto. Gli esercizi pliometrici iniziano con un rapido allungamento di uno o più muscoli durante la eccentrica. Durante la successiva fase di push-off o concentrica, lo stesso muscolo o gruppo muscolare si accorcia rapidamente per accelerare il corpo in direzione verticale. L’allenamento pliometrico ha dimostrato di essere un metodo efficace per migliorare la forza, l’agilità, e la capacità di sprint. L’allenamento pliometrico è stato proposto per lo sviluppo delle performance di potenza e in particolare per il miglioramento dell’abilità del salto verticale. Luebber e coll. (2003) hanno mostrato che un protocollo di allenamento pliometrico a breve termine ha portato a miglioramenti significativi nelle prestazioni del VJ in soggetti maschi (età universitaria) fisicamente attivi.²¹⁻²³

Khelifa e coll. (2010) hanno condotto uno studio sull’effetto di un programma di esercizio pliometrico con e senza carichi esterni in 27 giocatori di basket d’élite. I giocatori sono stati assegnati in modo casuale a 2 gruppi sperimentali e 1 gruppo di controllo (CG). I gruppi sperimentali hanno eseguito l’allenamento pliometrico sia con carichi (LPG – *Loaded Plyometric Group*) che senza carichi (PG). Il gruppo di controllo non ha eseguito nessun altro intervento aggiuntivo oltre al normale training di basket. Dopo 10 settimane di allenamento, soltanto i gruppi PG e LPG hanno migliorato significativamente le loro prestazioni nel salto verticale, con un aumento rispettivamente del 5,8% e 9,9% (cioè 3,73 e 2,2 cm), rispettivamente nei gruppi senza carico e con carico esterno. Le prestazioni nel salto in contro-movimento (CMJ) sono significativamente migliorate del 12,2% e 7% (cioè 5,34 e 3,1 cm) nei due gruppi di intervento. I guadagni di prestazione nello *squat jump* e nel salto in contro-movimento sono stati significativamente più alti nel gruppo di allenamento pliometrico con carichi esterni rispetto al gruppo senza carichi. Non sono state osservate variazioni significative per il gruppo di controllo in nessuna delle variabili di performance prese in considerazione dallo studio²³.

Una recente revisione sistematica condotta da Makaruk e coll. (2020) ha confrontato l’efficacia di programmi di allenamento pliometrico tradizionali, assistiti e resistiti nell’aumento delle abilità di salto verticale negli adulti. L’allenamento pliometrico assistito comporta l’esecuzione di salti in contro-movimento o *drop jump* con l’ausilio di elastici o tubi fissati tra l’imbracatura del corpo e il punto sopra il corpo. Esistono invece diverse tipologie di esercizi pliometrici con resistenza che vengono eseguiti in diverse condizioni esterne come acqua, sabbia e carichi esterni aggiuntivi. Nella revisione sistematica sono stati analizzati 17 articoli per un totale di 458 soggetti analizzati. L’effetto dell’esercizio pliometrico tradizionale e assistito, rispetto ai gruppi di controllo non basati sulla pliometria, era moderato per quanto riguarda l’outcome di altezza del salto. L’effetto degli esercizi pliometrici resistiti sull’altezza del salto, rispetto al controllo, era piccolo. Non sono state riscontrate differenze significative tra gli effetti dell’allenamento pliometrico assistiti e tradizionali sull’altezza

di salto ($p = 0,59$). Inoltre, non sono state rilevate differenze significative tra i programmi di allenamento pliometrico resistito e quelli tradizionali ($p = 0,86$). Gli autori hanno concluso che la revisione da loro condotta ha confermato l'efficacia dell'allenamento pliometrico tradizionale, assistito e con resistenza sulla capacità di salto verticale rispetto alla condizione di controllo in assenza di pliometria. I risultati della revisione sistematica e della meta-analisi hanno mostrato che i metodi pliometrici assistiti e con resistenza sono ugualmente efficaci all'allenamento pliometrico tradizionale nel migliorare la capacità di salto verticale negli adulti. Questi risultati producono diverse implicazioni cliniche interessanti. In primo luogo, il metodo pliometrico tradizionale garantisce un miglioramento significativo del salto senza l'utilizzo di attrezzature aggiuntive. In secondo luogo, il fatto che un aumento comparabile sia stato indotto da metodi diversi di allenamento implica uno spettro più ampio di esercizi pliometrici nell'allenamento sportivo²⁴.

La forza massima rappresenta la massima forza o coppia che può essere esercitata dai muscoli scheletrici durante il movimento. Un training di forza può contribuire a migliorare le prestazioni di salto verticale, l'accelerazione, la forza degli arti inferiori, la potenza muscolare e inoltre contribuisce a migliorare la consapevolezza articolare e la proprioccezione. Pardos-Mainer e coll. (2021) hanno confrontato l'efficacia di programmi di esercizio di forza e pliometrico nel salto verticale, sprint e cambi di direzione in una popolazione di calciatori di sesso femminile. Dai risultati emerge che ci sono miglioramenti non significativi delle prestazioni nel salto verticale dopo *Strength Training* (ST). È stata invece osservata una differenza significativa per l'allenamento pliometrico. Non sono state osservate differenze significative tra i sottogruppi ($p = 0,07$). L'analisi rileva che l'allenamento pliometrico offre più vantaggi rispetto all'allenamento di forza nell'incremento delle prestazioni di salto verticale nelle calciatrici. Tuttavia, le differenze osservate tra i gruppi interni e tra i gruppi non erano significative. Pertanto, gli autori hanno concluso che la meta-analisi non fornisce informazioni conclusive sul miglior programma per aumentare le prestazioni di salto verticale²⁵.

1.9 Metodologie di misurazione del salto

Uno dei metodi più comunemente utilizzati per la misurazione della performance di salto sono le pedane di forza e l'analisi video. Queste due tipologie di misurazione sono ampiamente utilizzate in ambito sperimentale, in condizioni di laboratorio²⁶. Le piattaforme di forza hanno una vasta gamma di applicazioni, tra cui quello dell'analisi tecnica negli sportivi. Una pedana di forza è una piastra di metallo rettangolare, di circa $0,4 \times 0,6$ m, con dei trasduttori piezoelettrici attaccati ad ogni angolo per fornire un output proporzionale alla forza esercitata sulla piastra. Una piattaforma misura la forza esercitata su di essa dal soggetto e, secondo la terza legge di Newton, fornisce la forza esercitata dalla

piattaforma sul soggetto. Nel movimento umano, la forza esercitata dalla piattaforma sul corpo è comunemente chiamata “forza di reazione al suolo”²⁷.

Al giorno d’oggi, sono disponibili diversi strumenti più accessibili che consentono di valutare la performance di salto degli arti inferiori. Per esempio, uno strumento è il sistema accelerometrico, che consente di valutare istantaneamente le variabili di altezza di salto, forza verticale e potenza, stiffness e indice di reattività. I risultati hanno mostrato un alto livello di affidabilità per valutare l’altezza del salto, la stiffness degli arti inferiori, l’indice di reattività, la velocità e la potenza durante lo *squat jump*. Tuttavia, la valutazione dell’altezza del salto, della velocità e della potenza sia durante lo *squat* che durante il salto con contromovimento non era valida. Le principali cause di non validità per la velocità e la potenza, nonché la valutazione del tempo di contatto, sono dovute a distorsioni che si verificano durante il rilevamento dei momenti di decollo e atterraggio²⁸.

Per valutare le prestazioni del salto verticale si possono utilizzare diversi strumenti di misurazione, tra cui piattaforme di forza, sistemi basati su accelerometro e telecamere professionali ad alta velocità. Il sistema di celle fotoelettriche Optojump è una piattaforma a infrarossi che ha dimostrato di stimare l’altezza del salto verticale con una forte validità simultanea rispetto a una piattaforma di forza. Il sistema accelerometrico ha dimostrato di essere un affidabile test basato sul campo per misurare l’altezza del salto verticale e l’RSI rispetto alle misurazioni da una piattaforma di forza. Tuttavia, nel CMJ è stata notata un’affidabilità leggermente inferiore. Per la misurazione del salto sono state anche utilizzate fotocamera a basso costo e ad alta velocità (240 fotogrammi al secondo) per misurare il tempo di volo (successivamente convertito in altezza di salto) nei salti verticali, rispetto ad una piattaforma ad infrarossi. Hanno osservato una correlazione quasi perfetta tra la misurazione del tempo di volo della telecamera ad alta velocità e quella vista dalla piattaforma a infrarossi ($r = 0,997$; $P < 0,0001$). Questi risultati mostrano che l’utilizzo di un’applicazione per smartphone (app) è un metodo affidabile basato sul campo per misurare le prestazioni di salto verticale²⁹.

L’app per smartphone My Jump 2 è stata sviluppata come uno strumento mobile in grado di misurare con precisione le prestazioni di salto. la capacità dell’app di misurare le prestazioni del CMJ rispetto ad una pedana di forza da 1000 Hz è stata valutata e i risultati hanno mostrato una comparabilità quasi perfetta per l’altezza del salto. Tuttavia, l’app My Jump 2 ha sottostimato significativamente l’altezza del salto rispetto alla piattaforma di forza ($P < 0,05$), riportando in media altezze di salto inferiori di 1,2 cm. Questo suggerisce che l’app My Jump 2 è uno strumento valido per misurare le prestazioni dell’altezza di salto rispetto a una pedana di forza. Dallo studio di Haynes T. e coll. (2018) l’app è risultata valida e affidabile nel misurare più valori nelle prestazioni del *drop jump*. L’accordo quasi perfetto osservato tra l’app My Jump 2 e la piattaforma di forza in parametri di RSI, altezza di salto e tempo di contatto. Da ciò si potrebbe concludere che l’app My Jump 2 è uno strumento valido e

affidabile per misurare l'altezza del salto nel *drop jump* rispetto sia agli strumenti utilizzati in laboratorio (piattaforma di forza) che ad altri metodi di misurazione del salto utilizzati “nel campo”²⁹.

1.10 Scopo della revisione

Sebbene in letteratura ci siano diversi studi che analizzano e confrontano vari tipi di allenamento per incrementare potenza, sprinting, cambi di direzione e performance di salto, ad oggi non sono presenti molti studi che vadano invece a confrontare diverse tipologie di allenamento del salto nella popolazione con ricostruzione del legamento crociato anteriore. Tuttavia, il gesto del salto rappresenta, nella riabilitazione post-intervento di ricostruzione del LCA, sia uno strumento di valutazione per il Ritorno allo Sport, sia una parte fondamentale del programma riabilitativo sport-specifico. L'obiettivo di questa revisione sistematica è quindi quello di indagare quali siano le modalità di allenamento più idonee al fine di migliorare la performance funzionale del salto nei soggetti sottoposti a ricostruzione di legamento crociato anteriore.

CAPITOLO 2: MATERIALI E METODI

Il quesito di ricerca della seguente revisione risponde quindi alla domanda: “quali sono le tipologie di allenamento più idonee per l’incremento delle performance del salto nei pazienti sottoposti a ricostruzione del legamento crociato anteriore?”.

L’elaborazione della revisione sistematica è stata svolta secondo le linee guida PRISMA (Preferred Items for Systematic Reviews and Meta-analyses), seguendo la relativa Checklist³⁰.

2.1 Protocollo di ricerca

Per l’elaborazione della revisione sistematica non è stato registrato alcun protocollo di studio su PROSPERO.

2.2 Criteri di eleggibilità

2.2.1 Popolazione

Nella revisione sono stati inclusi tutti i soggetti sottoposti a ricostruzione del legamento crociato anteriore con qualsiasi tipologia di innesto allograft o autograft. I soggetti presi in considerazione sono di entrambi i sessi, senza limiti di età e indipendentemente dal livello di attività fisica che svolgono. Non sono stati posti limiti riguardo il tempo trascorso dalla ricostruzione del LCA, per evitare di escludere potenziali studi eleggibili che non riportano tale informazione nel full-text.

Sono stati inclusi gli studi la cui popolazione comprendeva soggetti con lesioni meniscali concomitante, meniscectomia o riparazione meniscale, recidiva di lesione del LCA o storia di lesione/ricostruzione del LCA controlaterale, lesione concomitante del legamento collaterale mediale e infine la storia di intervento chirurgico al ginocchio o lesioni agli arti inferiori pregresse.

Sono stati esclusi dall’analisi della letteratura tutti gli studi che comprendevano soggetti con lesione concomitante di legamento crociato anteriore e legamento crociato posteriore, lesione del LCA associato ad una frattura, lesione concomitante del legamento collaterale laterale e le lesioni o interventi cartilaginei. Sono stati posti limiti riguardanti la presenza di patologie concomitanti, tra cui patologie cardiorespiratorie, reumatologiche, fratture e/o disturbi neurologici, quando specificato.

2.2.2 Tipologia di interventi, confronto e outcome

Gli studi inclusi avevano come intervento qualsiasi modalità di allenamento attiva, associata o meno ad una qualsiasi modalità terapeutica di tipo passivo. Tra gli interventi attivi più frequentemente riscontrati in letteratura vi sono l’allenamento pliometrico e del salto, l’allenamento di forza e il training neuromuscolare. Per il gruppo di confronto è stata presa in considerazione qualsiasi metodica di trattamento passiva e/o attiva dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore.

Gli outcome studiati per valutare l'efficacia di un trattamento sulla performance funzionale del salto sono i test funzionali, i quali comprendono test come il *vertical jump test*, *drop vertical jump test*, *horizontal hop*, *triple hop test for distance*, *6-meter hop test* e/o i parametri biomeccanici del salto (es. dati cinetici e cinematici durante il salto e l'atterraggio, tra cui momenti e angoli articolari, *Rate of Torque Development*, *Reactive Strength Index*).

Non sono stati inseriti limiti sulla tipologia di intervento e confronto. Sono stati inseriti criteri di esclusione riguardanti studi con gruppo di controllo sano e/o studi senza gruppo di controllo.

2.2.3 Tipologia di studi

È stato posto il limite sulla tipologia di studio, includendo soltanto studi randomizzati controllati (RCT) in lingua inglese e italiana. Non sono stati posti invece limiti riguardanti l'anno di pubblicazione degli studi.

2.3 Fonti di informazione

Le banche dati utilizzate per la ricerca e selezione degli studi da includere nella revisione sistematica sono:

- MEDLINE (PubMed)
- Cochrane
- PEDro
- Scopus
- CINAHL

2.4 Strategia di ricerca

La ricerca della letteratura è iniziata svolgendo un'analisi esplorativa libera sulla banca dati PubMed riguardante la riabilitazione del salto dopo ricostruzione del legamento crociato anteriore. Questa prima ricerca è stata compiuta al fine di individuare con precisione le voci del PICO (*Population, Intervention, Comparison, Outcome*), e per ognuna di esse definire i criteri di inclusione ed esclusione degli studi.

Al termine della definizione dei criteri di inclusione ed esclusione, sono stati ricercati i termini chiave per la definizione della stringa di ricerca. Seguendo il modello PICO, sono stati sviluppati soltanto i termini chiave riferiti alla *popolazione* e all'*intervento*, al fine di rendere il più sensibile possibile la ricerca ed includere il maggior numero di risultati.

- *Popolazione (P)*: pazienti con ricostruzione del legamento crociato anteriore
- *Intervento (I)*: qualsiasi tipologia di allenamento attivo

Sono stati utilizzati sia termini liberi sia termini *Mesh*. Sono stati inseriti anche gli “*entry terms*” per ogni termine *Mesh* utilizzato, riportando tutte le declinazioni al plurale. Per i termini che non presentavano il *Mesh Term*, sono stati ricercati in letteratura tutti i possibili sinonimi. Infine, è stata utilizzata una stringa apposita per la selezione degli studi RCT.

2.4.1 Stringhe di ricerca

Una volta individuate le banche dati e la strategia di ricerca, sono state definite le stringhe di ricerca da lanciare su ognuno dei *database* scelti. Partendo dalla stringa composta per PubMed, sono state poi definite le successive modificando gli *entry terms* e adattandoli agli altri *database* selezionati. L'ultima ricerca effettuata nelle banche dati è aggiornata al 02/04/2023. Le stringhe adattate per ogni *database* sono descritte in modo esaustivo nell'*Appendice*.

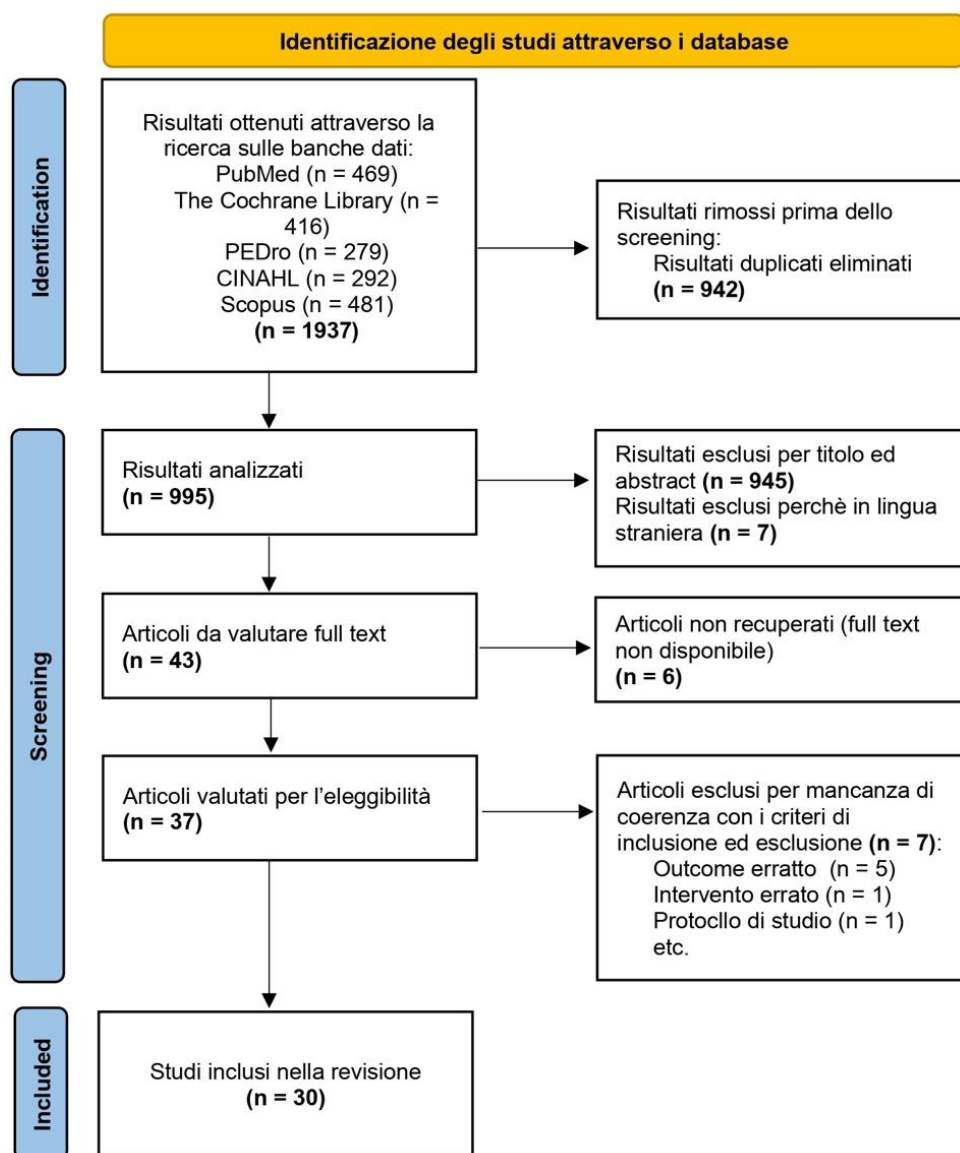
2.5 Selezione degli studi

Per la scrematura e selezione degli studi è stato utilizzato il software Rayyan. Sono stati inseriti nel programma tutti i risultati ottenuti con le relative stringhe di ricerca per ognuna delle banche dati utilizzate. Per prima cosa, sono stati rimossi gli articoli duplicati, e successivamente è stato condotto uno screening degli studi sulla base del titolo e dell'abstract. Gli articoli rimanenti sono stati valutati sulla base del *full text* e infine sono stati selezionati i soli studi che soddisfacevano i criteri di eleggibilità precedentemente descritti.

CAPITOLO 3: RISULTATI

3.1 Selezione degli studi

Dalla ricerca effettuata nei database individuati per l'analisi della letteratura, sono stati trovati un totale 1937 articoli, dei quali 942 sono stati eliminati in quanto duplicati. È stata quindi eseguita una selezione sulla base di titolo e abstract sui 995 articoli rimasti, portando all'eliminazione di 945 articoli. Inoltre, 7 articoli sono stati rimossi in quanto erano in lingua straniera diversa dall'inglese. I rimanenti 43 articoli sono stati valutati per l'eleggibilità. Tra questi, non è stato possibile recuperare l'articolo completo in 6 articoli. Infine, 37 articoli sono stati valutati sulla base del full-text, portando all'inclusione di 30 articoli nella revisione della letteratura. Di seguito, viene riportato il diagramma di flusso del procedimento di selezione degli articoli.



3.2 Caratteristiche degli studi

Tutti gli studi inclusi nell'analisi sono RCT. In totale, sono stati valutati 1432 soggetti con lesione del legamento crociato anteriore e sottoposti ad intervento di ricostruzione del legamento. Come precedentemente descritto, le metodiche di intervento prese in considerazione sono quelle attive, associate o meno a metodiche passiva di riabilitazione, oltre al tradizionale programma post ricostruzione del LCA. In particolare, diversi studi hanno studiato l'efficacia del training neuromuscolare, dell'allenamento della forza e della pliometria. Le misure di outcome prevalentemente utilizzate negli studi per la valutazione della performance di salto sono: *Single leg hop for distance, triple hop test, cross-over hop test, six-meter timed hop test, vertical jump*.

3.3 Sintesi degli articoli

Vengono di seguito riassunti gli studi inclusi nella revisione sistematica descrivendo autore e anno di pubblicazione, numero e caratteristiche dei pazienti, tipologia di intervento e di confronto presi in considerazione da ogni singolo studio e i risultati ottenuti relativi all'oggetto della revisione.

Tabella 1: Sintesi delle caratteristiche degli studi inclusi nella revisione sistematica				
Autore e anno	Caratteristiche della popolazione	Tipologia di allenamenti studiati	Outcome studiato	Risultati
Elias A. 2018	19 soggetti post rLCA	Gruppo “Jump training in condizioni di peso corporeo” (JTBW) Gruppo “Jump training + <i>Body weight support</i> ” (JTBWS): 6 settimane di allenamento in un sistema <i>Body Weight Support</i> , partendo da 30% del peso corporeo. Il livello di BWS è diminuito del 10% ogni 2 settimane. Ultime 2 settimane di allenamento eseguite senza BWS (come per il gruppo JTBW), per un totale di 8 settimane di allenamento per entrambi i gruppi.	Single leg hop for distance (SLHD)	La simmetria degli arti (LSI) nel SLHD è migliorata dall’88,4% +/- 7,5% alla settimana 0 al 94,3% +/- 7,0% alla settimana 8. I risultati hanno mostrato un effetto significativo del tempo per SLHD ($p<0.002$) ma nessun effetto significativo tra gruppi
Chmielewski T.L 2016	24 soggetti post rLCA	Gruppo pliometria ad alta intensità (n=12): sprint e corsa, 2-legged drop land, single-legged drop land, drop vertical jump, cone jump, tuck jump, single-legged line jump Gruppo pliometria a bassa intensità (n=12) Esercizi svolti da entrambi i gruppi: - Corsa: 10 min di corsa/camminata - Salti: Leg Press jump, wall jump, 2-legged forward hop, 2 legged line jump, squat jump - Agilità: side shuffle, shuttle run, ecc...	Single-leg forward hop test index [(distanza arto operato/distanza arto non operato) x 100] Maximal vertical jump	$P=0.257$ Non sono state riscontrate differenze significative tra i due gruppi in nessun outcome La performance di altezza nel salto verticale è aumentata in entrambi i gruppi dopo l’intervento.
Cooper R.L 2014	29 soggetti post rLCA	<u>Gruppo di training propriocettivo e di equilibrio</u> (n=14): esercizi in clinica con aggiunta di esercizi da eseguire a domicilio. Esercizi: mantenimento di posizioni per periodi di 20 sec. o più. Progressione basata sull’aumento della difficoltà in termini di equilibrio o riduzione della base d’appoggio. Esempi di esercizi: double-leg stance su trampolino, single-leg stance su cuscino propriocettivo <u>Gruppo di controllo</u> : Allenamento tradizionale di forza (n=15): 3-4 serie da 10-15 ripetizioni per incrementare la forza e la resistenza dei principali gruppi muscolari degli arti inferiori.	Single Hop (cm) Single hop symmetry (%) Timed 6m hop (cm) Timed 6m hop symmetry (%) Triple crossover hop (cm) Triple crossover hop symmetry (%)	$p=0.11$ $p=0.11$ $p=0.42$ $p=0.42$ $p=0.27$ $p=0.79$ Confronto tra due gruppi: no differenze significative.
Mohammadi M. 2022	24 soggetti maschi post rLCA Innesto autologo Hamstring	Gruppo di esercizio: esercizi di stabilità del core tre volte alla settimana per un periodo di 8 settimane: plank, plank laterale, ponte, crunch addominale, Russian twist e split leg scissor, ecc... Gruppo di controllo: nessun ulteriore trattamento oltre alla riabilitazione tradizionale dopo rLCA.	Single leg hop test Triple hop test	Effetto significativo dell’allenamento $p=0.04$ Interazione significativa allenamento x gruppo e l’effetto dell’allenamento ($P = 0,013$).

Ghaderi M. 2021	24 soggetti maschi post rLCA Hamstring graft	Neuromuscular training (n=12): programma di allenamento neuromuscolare progressivo di 8 settimane, per migliorare la forza degli arti inferiori, il controllo, la potenza, l'equilibrio e la tecnica di atterraggio. Sono stati eseguiti otto esercizi: squat, affondi con camminata, squat a una gamba, drop jump a due gambe, single leg stance su superficie instabile, salti con contromovimento a una gamba, salti orizzontali e salti in lungo ad una gamba (tutti gli esercizi svolti senza sovraccarichi). Gruppo di controllo (n=12): Gli atleti del gruppo di controllo hanno continuato le loro attività di routine che si concentravano sull'allenamento delle abilità specifiche per lo sport nello stesso periodo di 8 settimane, ma non hanno ricevuto alcun allenamento neuromuscolare specifico.	Single leg drop-landing task (parametri biomeccanici dell'atterraggio)	Gruppo sperimentale ha dimostrato aumento di: Peak trunk Flexion (°): 0.003 Peak hip Flexion (°):0.008 Peak knee flexion (°):0.012 Il gruppo sperimentale ha ridotto: Peak knee abduction (°):0.018 Peak knee internal rotation (°): 0.022 <i>Parametri associati ad una riduzione del tasso di re-injury post ricostruzione LCA</i>
Khalid K. 2022	76 soggetti post rLCA Hamnstring graft	Gruppo Neuromuscular Training (NMT) (n=38): esercizi tra cui squat, single leg stance, affondo, step up, side walking, esercizio su trampolino, allenamento di salto su trampolino, allenamento di salto da uno step. Gruppo Strenght training (ST) (n=38): gruppo di controllo con esercizi standard di rinforzo muscolare.	1) One leg hop (OLH) 2) Triple hop (TH) 3) Cross-over hop (CH) 4) 6 meter hop (6-MH)	I risultati post-intervento di OLH Test, TH Test, CH Test e 6-MH test sono stati significativi con $p=0,029$, $P<0,001$, $p<0,001$, e $p<0,001$ rispettivamente, con punteggi significativamente migliori per il gruppo NMT rispetto al gruppo ST.
Risberg M.A 2007	74 soggetti post rLCA Innesto autologo con tendine rotuleo (bone-patellar tendon-bone)	Neuromuscular training (NT) (n=39): esercizi di equilibrio, esercizi dinamici di stabilità articolare, esercizi pliometrici, esercizi di agilità ed esercizi specifici per lo sport. Gli esercizi di equilibrio includevano le posizioni in monopodalica e bipodalica su superfici piane, con progressione verso l'equilibrio su un tappetino, tavola oscillante e un trampolino. Strenght training (ST) (n=35): Il programma ST consisteva principalmente in esercizi rinforzo dei muscoli degli arti inferiori, con enfasi sui muscoli del quadricipite femorale, del tendine del ginocchio, del gluteo medio e del gastrocnemio.	1) One leg hop test (LSI) 2) Triple-jump test (LSI) 3) Stair hop test (LSI) Valutazione a 3 e 6 mesi	No differenze significative tra i due gruppi per nessun outcome di salto.
Risberg M.A 2009	74 soggetti post rLCA Innesto autologo con tendine rotuleo (bone - patellar tendon - bone)	Neuromuscular training (NT) (n=39): esercizi di equilibrio, esercizi dinamici di stabilità articolare, esercizi pliometrici, esercizi di agilità ed esercizi specifici per lo sport. Gli esercizi di equilibrio includevano la posizione a gamba singola e doppia su superfici piane e uniformi, con progressione verso l'equilibrio su un tappetino, una tavola oscillante e un trampolino. Strenght training (ST) (n=35): esercizi rinforzo dei muscoli degli arti inferiori, con enfasi sui muscoli del quadricipite femorale, del tendine del ginocchio, del gluteo medio e del gastrocnemio.	1) One leg hop test 2) Triple-jump test 3) Stair hop test Follow up a 6 mesi, 1 e 2 anni	No differenze significative tra i due gruppi.

Liu-Ambrose T. 2003	10 soggetti post rLCA	Training propriocettivo (n=5): esercizi basati sull'equilibrio, agilità e di perturbazione Training di rinforzo (n=5) Eseguiti bilateralmente Programma di 12 settimane, 3 sedute settimanali	One leg single hop for distance (SLHD) One leg timed hop (TH)	Entrambi i gruppi hanno avuto incrementi significativi nell'abilità di salto con l'arto operato (SLHD p=0.001; TH p=0.001). No differenze significative tra i due gruppi p>0.151.
Kaya D. 2019	32 soggetti maschi post rLCA Graft tendine tibiale anteriore	Gruppo di esercizi di controllo neuromuscolare (n=17): - Settimane 3-4: single leg stance, balance reach, affondi, step-up, squat bilaterale - Settimane 5-8: squat monopodalico, ponte a una gamba, esercizi con palla in posizioni sport-specifiche - Settimane 9-12: sumo squat, single leg straight dead lift Gruppo riabilitazione standard (n=15).	One legged hop test	Differenze significative nella lunghezza del salto tra il lato operato e quello non operato in entrambi i gruppi (p <0,05) Non differenze nella lunghezza del salto con l'arto operato nei pazienti in entrambi i gruppi (p>0.05)
Arundale A.J 2017	40 soggetti maschi post rLCA	Gruppo SAP (strengthening, agility e secondary prevention) (n=20): esercizi di prevenzione secondaria, di agilità ed esercizi di rinforzo (in caso di simmetria degli arti tra 80% e 90% in termini di forza del quadricipite) Gruppo SAP + PERT (perturbation training) (n=20): programma SAP associato ad un allenamento con perturbazioni.	1) Single-legged hop for distance (LSI) 2) Cross-over hop for distance (LSI) 3) Triple hop for distance (LSI) 4) 6-m timed hop (LSI)	Follow up a 1 e 2 anni (p-value) 1) 0.57; 0.71 2) 0.16; 0.07 3) 0.19; 0.33 4) 0.92; 0.97 Nessuna differenza significativa tra i due gruppi per nessun outcome.
Capin J. 2019	39 soggetti femmine post rLCA	SAP (Strengthening, agility e secondary prevention) (n=20) SAP + PERT (Perturbation training) (n=19)	1) Single-legged hop for distance (LSI) 2) Cross-over hop for distance (LSI) 3) Triple hop for distance (LSI) 4) 6-m timed hop (LSI)	No differenze significative a 2 anni tra i gruppi.
Perry M. 2005	49 soggetti post rLCA	Gruppo esercizio CCC (n=25): allenamento di resistenza in catena cinetica chiusa unilaterale degli estensori dell'anca e del ginocchio su leg press Gruppo esercizio CCA (n=24): allenamento di resistenza in catena cinetica aperta unilaterale utilizzando pesi alla caviglia o una leg extension/leg curl. Sono state utilizzate tre serie da un massimo di 20 ripetizioni (RM) in ciascuna sessione fino all'inizio della settimana 4 sul periodo di intervento di 6 settimane, dopodiché si è passati a 3 serie da 6 RM. Per tutti gli esercizi di resistenza, è stato utilizzato un programma di resistenza progressiva	Horizontal jump Vertical jump Triple crossover jump	P=0.696 P=0.093 P=0.851

Shaw T. 2005	103 soggetti post rLCA	Gruppo di intervento con esercizi per quadricipite (n=55): i soggetti nel gruppo sono stati istruiti a eseguire esercizi specifici per il quadricipite (contrazione isometrica del quadricipite e sollevamento della gamba estesa) ogni giorno durante le prime due settimane postoperatorie (10 ripetizioni, tre volte al giorno). Gruppo di controllo senza esercizi per quadricipite (n=48)	Single hop Triple hop	P=0.51 P=0.51
Gerber J.P 2007	32 soggetti post rLCA	Gruppo esercizio eccentrico (ECC) (n=16): dopo 3 settimane dall'operazione, programma eccentrico progressivo di 12 settimane mediante ergometri a lavoro eccentrico Gruppo riabilitazione standard (TRAD) (n=16): dopo 3 settimane dall'operazione, continuato programma tradizionale	Single-leg hop	La distanza di salto dell'arto inferiore operato, 26 settimane dopo l'intervento, è aumentata significativamente nel gruppo ECC ma non nel gruppo TRAD: - ECC group ($P<0.01$) - TRAD group ($P = 0.17$)
Gerber J.P 2009	40 soggetti post rLCA	Gruppo esercizio eccentrico (n=20): riabilitazione standard + programma di esercizi di lavoro negativo in eccentrica per 12 settimane, utilizzando ergometri per esercizi eccentrici (iniziato a partire dalla 3 settimana) Gruppo riabilitazione standard (n=20)	Single leg hop (cm)	Dal preoperatorio a 1 anno dopo l'intervento, la distanza di salto è aumentata di una quantità significativamente maggiore nel gruppo di esercizi eccentrici rispetto al gruppo di riabilitazione standard ($p<0.01$).
Souissi S. 2011	24 soggetti maschi post rLCA Graft rotuleo	Gruppi di allenamento funzionale (n=8): al programma di allenamento funzionale 2 volte a settimana (4 ore/settimana) comprendente: una di esercizi per aumentare specificamente il controllo neuromuscolare, la forza e la potenza muscolare, la propriocezione, la velocità e l'agilità degli arti inferiori, abbinato ad un allenamento aerobico di corsa. Sono stati gradualmente e accuratamente progrediti i carichi Gruppi di controllo (n=8) Gruppo di controllo (n=8): Il CG non ha partecipato ad alcun esercizio eseguito dal FTG, ma la loro riabilitazione ha seguito il protocollo riabilitativo standardizzato, ovvero 3 sessioni a settimana (6 ore/settimana)	Single leg hop (SLH) Single leg triple hop (5JT) Five jump test	Il gruppo di allenamento funzionale (FTG) ha mostrato miglioramenti maggiori rispetto al gruppo di controllo nel SLH con la gamba operata, nel 5JT con la gamba operata, nel SL3H con la gamba operata.
Vidmar M. 2020	30 soggetti maschi post rLCA	Gruppo di intervento (allenamento eccentrico) (n=15): programma di allenamento eccentrico isocinetico utilizzando un dinamometro computerizzato, applicato per 6 settimane, due volte a settimana, con un intervallo minimo di 72 ore tra le sessioni. In ogni sessione di allenamento, i partecipanti hanno eseguito tre o quattro di 10 esercizi eccentrici per il quadricipite di massima intensità Gruppo di controllo (n=15): programma di allenamento eccentrico convenzionale. Durata dell'allenamento, frequenza settimanale e volume	Single leg hop test	Non c'era alcuna differenza tra i gruppi ($p > 0,05$) nel single leg hop test (CG = $163,1 \pm 31,8$; IG = $168,0 \pm 28,1$).

		(numero di serie e ripetizioni) sono stati gli stessi adottati per IG. Durante l'esercizio eccentrico sulla leg extension, la fase concentrica (da 90° a 30° di flessione del ginocchio) è stata eseguita da un esaminatore. Da questa posizione, i partecipanti sono stati istruiti a eseguire una contrazione eccentrica dell'estensore del ginocchio per riportare le gambe a 90° di flessione del ginocchio in modo controllato.		
Fukuda T. 2013	49 soggetti post rLCA Graft semitendinoso e gracile	Early Open kinetic chain (n=25): hanno iniziato il rafforzamento del quadricipite con esercizi OKC a 4 settimane dopo l'intervento, limitando il ROM del ginocchio tra 90° e 45° di flessione. Late open kinetic chain (n=24): svolti gli stessi esercizi del gruppo EOKC a partire dalla 12° settimana dall'intervento a ROM completo, cioè tra 0° e 90° di flessione. Il protocollo di intervento duratura di 25 settimane (circa 6 mesi).	Single legged hop test Cross-over hop test	0.005 0.003
Kinikli G. 2014	33 soggetti post rLCA Graft hamstring	Gruppo intervento (n=16): Dalla 3° settimana post rLCA, iniziato un programma di allenamento eccentrico e concentrico progressivo di 12 settimane con un sistema di squat funzionale monitorato. Ai pazienti è stato chiesto di eseguire 2-3 serie, con 2-3 minuti di recupero tra le serie. L'allenamento è stato condotto 3 volte a settimana per 12 settimane, con un sovraccarico progressivo Gruppo di controllo (n=17): eseguiti esercizi di catena cinetica del quadricipite chiuso e di estensione della gamba sospesa prona per il range di movimento e sollevamento della gamba tesa, quadricipiti isometrici ed esercizi di abduzione/adduzione dell'anca per aumentare il controllo del quadricipite. Il ciclismo, l'allenamento della forza Theraband, i mini-squat, gli esercizi di coordinazione ed equilibrio sono stati introdotti 3-4 settimane dopo l'intervento e gli esercizi di movimento resistivo a 6-8 settimane dopo l'intervento.	Single hop for distance (LSI) Vertical jump test (LSI)	0.027 0.012
Bieler T. 2014	50 soggetti post rLCA	High-Intensity Resistance training (n=24): esercizi bilaterali e unilaterali, tra cui leg press (da 90 a 0°), flessione attiva di ginocchio in posizione prona (0-90 gradi) ed estensione del ginocchio seduto (90-0 gradi). Il carico è aumentato sollevando pesi da 20 a 8RM con un periodo di riposo di 2 minuti tra le serie. Low-Intensity Resistance training (n=26): carico variato partendo da 30 RM fino a 20 RM Il programma di allenamento della forza è stato avviato 8 settimane post-intervento.	1) One-legged single hop (rapporto arto operato/arto sano) 2) Triple hop for distance (rapporto arto operato/arto sano)	P=0.566 P= 0.880

Oliveira M. 2022	88 soggetti post rLCA innesto BPTB	Gruppo intervento (n=44): programma di 8 settimane basato su esercizi di rinforzo unilaterali. La sequenza di esercizi era: affondo (con l'arto donatore davanti), leg press, estensione ginocchio terminale, leg extension e SLR. Gruppo di controllo (n=44): programma convenzionale di rinforzo, attraverso gli stessi esercizi applicati ai gruppi di intervento in modalità bilaterale Le sessioni consistevano in 3 serie da 12 ripetizioni per ogni esercizio con ciascuna ripetizione eseguita entro 2 secondi sia nella fase concentrica che in quella eccentrica. La progressione del programma è stata effettuata mediante incrementi dal 2% al 10% per la sessione successiva in cui l'individuo è stato in grado di eseguire tutte le ripetizioni in tutte le serie di un dato esercizio.	Single leg hop (distanza e LSI)	I cambiamenti nel test di salto sono risultati migliori nel gruppo di intervento rispetto al gruppo di controllo (P<0.001)
Minshull C. 2021	44 soggetti post rLCA	- Cross-Education (CE) (n=22): programma standardizzato di riabilitazione del LCA + 8 settimane di allenamento della forza sull'arto non operato - Control (CON) (n=22): stesso programma di riabilitazione post rLCA + finto esercizio di flessibilità bilaterale dell'arto superiore <u>Cross Education Training:</u> Allenamento della forza dell'arto controlaterale, iniziato 2 settimane dopo l'intervento chirurgico, 3 volte a settimana per 8 settimane. Gli esercizi comprendevano 3 serie da 3-5 ripetizioni al massimale (RM) di: estensioni del ginocchio; Hamstring Curl e Leg Press, con 1,5-2 minuti di riposo tra le serie.	Hop for distance (rapporto tra arto infortunato e arto sano)	P=0,96
Harput G. 2019	48 soggetti post rLCA Autograft da Hamstring	Concentric Cross-education (n=16) Eccentric Cross-Education (n=16) Gruppo di controllo (n=16) Per il gruppo Concentric e Eccentric Cross Education, sono state svolte 3 sedute alla settimana, oltre al programma tradizionale post rLCA, per 8 settimane (4° e la 12° settimana post-operatoria). Allenamento isocinetico di tre serie di 12 ripetizioni a 60°/s da 10° a 90° di flessione.	One-leg Hop for Distance test (Limb symmetry index)	No differenze significative (p value non definito) a 24 settimane post-operatorie

Shaarani S. 2013	20 pazienti in attesa di ricostruzione LCA innesto BPTP	Riabilitazione pre-operatoria (n=10): programma di 6 settimane di resistenza. 4 allenamenti alla settimana, di cui 2 in palestra sotto supervisione e 2 sessioni da casa. Il programma è basato su esercizi di potenziamento degli arti inferiori in particole quadricipite ed esercizi neuromuscolari. L'allenamento della propiocezione è stato eseguito su un cuscino oscillante. Ogni attività in palestra prevedeva 3 serie da 12 ripetizioni ei pesi venivano aumentati settimanalmente dal 10% al 15%. Gruppo di controllo (n=10)	Single leg hop test (LSI)	P=0.01 a 12 settimane post-operazione
Kim D. 2015	80 soggetti maschi in attesa di ricostruzione LCA	Gruppo di riabilitazione pre-operatoria (n=40): basato su impairments, incentrato sul rinforzo, equilibrio funzionale, controllo neuromuscolare. Il programma di esercizi si è concentrato principalmente sul potenziamento degli arti inferiori, con particolare attenzione al potenziamento del quadricipite. Dopo il riscaldamento (20 min cyclette), i soggetti hanno proceduto a una serie di esercizi di rafforzamento della parte inferiore del corpo, short arc extension, wall squat, leg press, leg extension isometrica e leg curl. Gruppo di controllo (n=40): no esercizi pre-operatori	Single leg hop test (LSI)	P=0.029
Cristiani R. 2021	160 soggetti post rLCA Graft tendine rotuleo o hamstring	Bone-Patellar-Bone + riabilitazione standard (n=40) Bone-Patellar-Bone + riabilitazione accelerata (n=40) Hamnstring + riabilitazione standard (n=40) Hamnstring + riabilitazione accelerata (n=40) I pazienti hanno seguito un programma riabilitativo standardizzato o accelerato, a seconda della randomizzazione. Tutti i pazienti sono stati sottoposti a riabilitazione supervisionata 2-3 giorni a settimana.	Single leg hop	Non sono state riscontrate differenze significative tra i gruppi di riabilitazione standard e accelerata a nessun endpoint (4, 6, 8, 12 e 24 mesi), sia per il gruppo con graft da tendine rotuleo, sia con hamstring.
Patterson B.E 2021	27 soggetti post rLCA	Lower limb focused intervention (n=17): otto aree del programma di esercizi: 1) riqualificazione del movimento (es. atterraggio); 2) forza degli arti inferiori (es. squat); 3) equilibrio (es. esercizi di perturbazione); 4) forza dell'abduktore dell'anca; 5) forza del polpaccio; 6) forza del tronco; 7) forza estensore dell'anca e flessore del ginocchio; e 8) esercizio cardiovascolare (ad es. ciclismo, corsa, attività specifiche per uno sport graduato). Trunk focused intervention (n=10): esercizi di rafforzamento del tronco standardizzati (con progressione individualizzata), stretching ed educazione. Gli esercizi per il tronco erano prevalentemente isometrici, senza carico e avevano un coinvolgimento minimo degli arti inferiori e quindi non ci si aspettava che influissero sulla qualità della vita, sui sintomi o sulla funzione del ginocchio. Entrambi i gruppi hanno ricevuto interventi di educazione, mediante colloquio e dispense informative. Le dispense per il gruppo focalizzato sugli arti inferiori riguardavano i seguenti argomenti: i) informazioni chirurgiche	Single Hop Side hop One leg rise test	<i>Single-hop</i> : il 67% dei pazienti con esercizi focalizzati sugli arti inferiori hanno superato il MCD, mentre nel gruppo di controllo soltanto il 16% ha ottenuto valori superiori al MDC. <i>Side-hop</i> : la stessa percentuale (33%) di pazienti per entrambi i gruppi ha superato il MDC.

		e aspettative post-operatorie; ii) definizione degli obiettivi e criteri per il ritorno allo sport; iii) prevenzione degli infortuni; iv) influenze psicosociali sul recupero; e v) rischio di OA post-traumatico.		
Ebert Jay R. 2022	44 soggetti post rLCA Innesto autologo con Hamstring	Gruppo trattamento “accelerato” (n=22) Gruppo di controllo (n=22) La gestione post-operatoria precoce è stata standardizzata per entrambi i gruppi. Dopo questa prima fase post-operatoria, l’inizio e la progressione dello sviluppo della forza e della capacità di carico, e della propriocezione, differivano tra i due gruppi per quanto riguarda il criterio temporale di inserimento degli esercizi	1) Single hop for distance (SHD, m) 2) 6-m timed hop (6MTH, s) 3) Triple hop for distance (THD, m) 4) Triple crossover hop for distance (TCHD, m)	Una percentuale significativamente maggiore ($p < 0,05$) di pazienti con il programma accelerato ha dimostrato un LSI $\geq 90\%$ per tutti i 4 test di salto. (6 mesi: 0.007; 6 mesi: 0.031; 12 mesi: 0.009; 24 mesi 0.001)
Labanca L. 2022	46 soggetti post rLCA Graft semitendinoso e gracile	Gruppo elettrostimolazione sovrapposto ad esercizio MNES+ (n=23): protocollo di allenamento aggiuntivo basato su esercizi di sit-to-stand, squat e step up e down con l’aggiunta dell’elettrostimolazione. Gruppo di controllo (no ulteriori interventi) (n=23): riabilitazione standard senza ulteriori trattamenti	Salto con contromovimento (CMJ)	LSI nella fase eccentrica e concentrica del CMJ è aumentato significativamente tra 90 e 380 giorni post-operazione nel gruppo NMES+, mentre non ci sono stati incrementi nel gruppo di controllo.

3.4 Valutazione degli articoli

3.4.1 Rischio di bias

La valutazione degli studi inclusi in questa revisione è stata effettuata applicando la scala RoB 2.0 (*“The revised Cochrane risk of bias tool for randomized trials”*), che prende in considerazione 5 domini per determinare il rischio di bias dello studio. I domini analizzati sono: il processo di randomizzazione, la variazione degli interventi previsti, la mancanza di dati relativi agli *outcome*, la raccolta dei dati relativi agli *outcome* e la selezione dei risultati acquisiti. La *Tabella 2* riporta i risultati dell’analisi del rischio di *bias* per ogni dominio, definendo il rischio di bias complessivo per ogni articolo analizzato. La valutazione completa del rischio di bias per ogni articolo analizzato è stata inserita nell’*Appendice (Appendice 2)*.

STUDIO	DOMINIO 1	DOMINIO 2	DOMINIO 2	DOMINIO 3	DOMINIO 4	DOMINIO 5	RISCHIO DI BIAS COMPLESSIVO
Elias, 2018	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO
Chmielewski, 2016	ALTO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	ALTO
Cooper, 2014	INCERTO	INCERTO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	INCERTO
Mohammadi, 2022	ALTO	INCERTO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	ALTO
Ghaderi, 2021	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO
Khalid, 2022	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO
Risberg, 2007	BASSO	ALTO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	ALTO
Risberg, 2009	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO
Liu-Ambrose, 2017	ALTO	INCERTO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	ALTO
Kaya, 2019	BASSO	INCERTO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	INCERTO
Arundale, 2017	BASSO	INCERTO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	INCERTO
Capin, 2019	BASSO	INCERTO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	INCERTO
Perry, 2005	ALTO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	ALTO
Shaw, 2005	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO
Gerber, 2007	BASSO	INCERTO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	INCERTO
Gerber, 2009	ALTO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	ALTO
Souissi, 2011	ALTO	INCERTO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	ALTO
Vidmar, 2020	BASSO	INCERTO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	INCERTO
Fukuda, 2013	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO
Kinikli, 2014	BASSO	INCERTO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	INCERTO
Bieler, 2014	ALTO	INCERTO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	ALTO
Oliveira, 2022	BASSO	INCERTO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	INCERTO
Minshull, 2021	BASSO	INCERTO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	INCERTO
Harput, 2019	BASSO	INCERTO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	INCERTO
Shaarani, 2013	BASSO	INCERTO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	INCERTO
Kim, 2015	ALTO	INCERTO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	ALTO
Cristiani, 2021	BASSO	INCERTO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	INCERTO
Patterson, 2021	INCERTO	INCERTO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	INCERTO
Ebert, 2022	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO
Labanca, 2022	ALTO	INCERTO	BASSO	BASSO	BASSO	BASSO	ALTO

Tabella 1: Sintesi del rischio di bias degli articoli analizzati

3.5 Risultati degli studi

3.5.1 Esercizio pliometrico

Dall'analisi della letteratura sono stati individuati due articoli che riguardano l'allenamento del salto e la pliometria nella riabilitazione post-intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore. Nello studio di Elias A. e coll. (2018)³¹ sono stati confrontati due gruppi di allenamento di salto, dei quali uno svolgeva il programma con un supporto del peso corporeo (*Body Weight Support*, BWS). Dopo un programma di 8 settimane basato su salti verticali, laterali, box jump, agility drills e altri esercizi di salto, entrambi i gruppi hanno incrementato la performance al *single leg hop for distance* ($p < 0.002$). Inoltre, al termine dell'allenamento il picco di flessione di anca, ginocchio e dorsiflessione di caviglia sono aumentati e il picco della forza verticale di reazione al suolo (vGFR) è diminuito ($p < 0.0001$). Non sono state osservate differenze significative tra i due programmi di allenamento per nessun outcome considerato.

Chmielewski T e coll (2016)³² invece hanno studiato la performance al *single leg forward hop test* e al *maximal vertical jump* tra due gruppi sottoposti a un programma di pliometria a bassa e ad alta intensità. Diverse misure di outcome sono cambiate significativamente in entrambi i gruppi dopo l'intervento, tra cui il *maximal vertical jump* ($p = 0.001$), tuttavia nessuna differenza significativa tra i due gruppi è stata rilevata.

3.5.2 Training neuromuscolare

8 studi su 30 hanno come intervento principale un programma di allenamento neuromuscolare.

Cooper R.L e coll. (2005)³³ hanno condotto uno studio randomizzato controllato su 29 pazienti con ricostruzione del LC, confrontando un programma di allenamento di propriocezione ed equilibrio con un programma tradizionale di rinforzo degli arti inferiori post rLCA. I partecipanti sono stati testati su 3 test funzionali di salto: il *single-leg hop for distance*, il *6-m timed single leg hop* e il *single leg cross-over triple hop for distance*. Dopo 6 settimane, non sono emerse differenze significative tra il gruppo di training neuromuscolare e il gruppo di allenamento tradizionale al *single-leg hop for distance* ($p = 0,11$) o al relativo *Limb Symmetry Index* ($p = 0.11$), al *timed single leg hop test over 6-m* ($p = 0,42$) o al LSI ($p = 0,42$) e nel *single leg cross-over triple hop for distance* ($p = 0,79$) o al LSI ($p = 0,79$).

Più recentemente anche Khalid K. e coll. (2022)³⁴ hanno confrontato l'allenamento neuromuscolare con un programma di forza in pazienti con ricostruzione del LCA (con graft da hamstring), per un totale di 6 settimane. Il gruppo di allenamento muscolare ha seguito un programma composto da: treadmill camminando cinque minuti al giorno, esercizi tra cui squat, mantenimento di una posizione in single-leg, affondi, step up and down, esercizio con tavola oscillante per le gambe, esercizi su

trampolino con perturbazioni, esercizi di equilibrio su una tavola con occhi chiusi, salti su trampolino con due gambe, corsa all'indietro, agility drill e altri esercizi. I risultati post-intervento ai test *One leg hop* (OLH), *Triple Hop* (TH), *Cross Over Hop* (CH) e *6-meter Hop* (6-MH) sono stati significativi (rispettivamente $p=0,029$, $P<0,001$, $p<0,001$, e $p<0,001$). I risultati delle statistiche per confrontare i valori pre-intervento e post-intervento all'interno dei gruppi di allenamento neuromuscolare e di rinforzo hanno mostrato un miglioramento significativo ($p < 0,001$) nei punteggi post-intervento per i test OLH, TH, CH, 6-MH in entrambi i gruppi, con punteggi migliori per il gruppo di allenamento neuromuscolare.

Kaya e coll.³⁵ nel 2019 hanno condotto uno studio con lo scopo di determinare gli effetti degli esercizi di controllo motorio degli arti inferiori sulla propriocezione del ginocchio, sulla forza muscolare e sul livello funzionale in pazienti con ricostruzione del legamento crociato anteriore. 32 pazienti sono stati divisi in due gruppi. Il programma riabilitativo standard è stato applicato a tutti i pazienti di entrambi i gruppi. Gli esercizi di controllo neuromuscolare sono invece iniziati alla terza settimana dopo l'intervento chirurgico per i pazienti del gruppo di controllo motorio. A 3-4 settimane dall'intervento sono stati avviati esercizi quali single-leg stance, affondi, step-up, squat bilaterale. Dalla 5 alla 8° settimana sono stati inseriti esercizi di step-down, squat ad una gamba, ponte a una gamba, ecc... Dalla 9 alla 12° settimana sono stati inseriti esercizi di dead lift, sumo squat. Il *one-leg hop* test è stato utilizzato per determinare il livello funzionale del paziente. Si sono evidenziate differenze significative nel test del salto tra il lato operato e quello non operato in entrambi i gruppi ($p < 0,05$), mentre non ci sono state differenze nella lunghezza del salto con l'arto operato nei pazienti in entrambi i gruppi ($p > 0,05$).

Liu-Ambrose T. e coll. (2003)³⁶, nel loro studio invece, hanno riscontrato che un programma di allenamento di propriocettivo di 12 settimane non è migliore rispetto ad un programma di rinforzo, valutando la performance ai test *One-leg hop test*, *one-leg single hop for distance* e *one leg timed hop*. Entrambi i gruppi hanno incrementato la loro performance nei test di salto, ma non sono state trovate differenze significative tra i gruppi ($p \geq 0,151$).

Risberg e coll. (2007)³⁷ invece hanno proposto un programma di allenamento neuromuscolare suddiviso in 6 fasi da 3 a 5 settimane che consisteva in esercizi di equilibrio, esercizi dinamici, esercizi pliometrici, esercizi di agilità ed esercizi sport specifici. Gli esercizi di equilibrio comprendevano esercizi in monopodolica, con progressione verso l'equilibrio su un tappetino, tavola oscillante o un trampolino. Gli esercizi pliometrici (esercizi di addestramento al salto) sono stati utilizzati per migliorare o modificare le prestazioni del salto e per migliorare l'assorbimento degli urti durante l'atterraggio. Inoltre, sono stati inclusi esercizi di agility training per consentire ai soggetti di adattarsi ai rapidi cambi di direzione e alle accelerazioni e decelerazioni. Il programma strength training (ST)

svolto dal gruppo di controllo consisteva principalmente in esercizi rinforzo dei muscoli degli arti inferiori, con particolare enfasi sui muscoli quadricipite femorale, bicipite femorale, gluteo medio e gastrocnemio. Dai risultati ottenuti non sono state differenze significative tra i 2 gruppi per nessun test funzionale di salto (*One Leg hop test*, *Triple jump test* e *Stairs hop test*). Entrambi i programmi di allenamento hanno fornito miglioramenti simili nei test di forza, equilibrio, proprioccezione e salto. Gli stessi autori nel 2009 hanno valutato l'efficacia degli interventi di allenamento neuromuscolare a 1 e 2 anni dalla ricostruzione del legamento crociato anteriore. 74 soggetti sono stati presi in esame sui tre test di salto precedentemente descritti, tuttavia nemmeno al follow-up sono state riscontrate differenze significative tra i gruppi a 1 e 2 anni.

Anche Ghaderi e coll. (2021)³⁸ hanno pubblicato uno studio che indaga l'efficacia di un programma neuromuscolare, in particolare enfatizzando il focus attentivo esterno sulla biomeccanica, la proprioccezione del ginocchio e la funzionalità in atleti sottoposti a ricostruzione del LCA. Gli atleti del gruppo sperimentale hanno partecipato a un programma progressivo di 8 settimane. Il programma progettato per migliorare la forza degli arti inferiori, il controllo, la potenza, l'equilibrio e la tecnica di atterraggio. Sono stati eseguiti otto esercizi: squat a due gambe, affondi, squat a una gamba, *drop jump* a due gambe, posizione a una gamba su una superficie instabile, salti con contromovimento a una gamba, salti orizzontali e salti in lungo con una gamba. Gli atleti del gruppo di controllo hanno continuato a completare le loro attività di routine che si concentravano sull'allenamento delle abilità specifiche per lo sport durante lo stesso periodo di 8 settimane, ma non hanno ricevuto alcun allenamento neuromuscolare formale. Sono stati quindi valutati i parametri biomeccanici durante un atterraggio da un salto (*single-leg drop landing*). Dai risultati ottenuti sono stati trovati effetti di interazione gruppo-tempo per il picco di flessione del tronco ($P < 0,001$), il picco di flessione dell'anca ($P < 0,001$), il picco di flessione del ginocchio ($P < 0,001$), il picco di abduzione del ginocchio ($P < 0,001$), picco di rotazione interna del ginocchio ($P < 0,001$), errori al *Joint Position Sense* ($P < 0,001$) picco di vGRF ($P < 0,001$), picco delle forze di taglio tibiale anteriori ($P < 0,001$), picco estensione di ginocchio ($P < 0,001$) e picco del momento di abduzione del ginocchio ($P < 0,001$). Il gruppo sperimentale ha dimostrato un aumento della flessione del tronco ($P = 0,003$), dell'anca ($P = 0,008$) e del ginocchio ($P = 0,012$) durante l'atterraggio dopo l'intervento. Inoltre, il gruppo sperimentale ha diminuito il picco di abduzione del ginocchio ($P = 0,018$), gli angoli di rotazione interna del ginocchio di picco ($P = 0,022$), il tasso di carico ($P = 0,016$), la forza di taglio tibiale anteriore ($P = 0,018$), il picco di movimento di estensione del ginocchio ($P = 0,022$), e picco del momento di abduzione del ginocchio ($P = 0,014$), errori al *Joint Position Sense* ($P = 0,001$) e picco vGRF ($P = 0,008$). Non ci sono stati cambiamenti per il gruppo di controllo.

Infine, Mohammadi e coll. (2022)³⁹ hanno condotto uno studio sull'efficacia di un training di core stability sulla performance e sui parametri biomeccanici durante un atterraggio dal salto in single-leg. 24 soggetti sono stati suddivisi in due gruppi. Il gruppo di studio ha partecipato ad un programma di 8 settimane di core stability, mentre il gruppo di controllo non è stato sottoposto a questo ulteriore allenamento. I pazienti nel gruppo di intervento basato su esercizi di core stability hanno migliorato i loro valori di LSI nei test di salto. C'è stato un effetto significativo dell'allenamento ($p < 0.05$) per il *single leg hop test*. Nello specifico, il LSI è aumentato significativamente dopo l'allenamento di core stability nel gruppo di intervento basato sugli esercizi di core stability.

3.5.3 Allenamento della forza

Oliveira M. e coll. (2022)⁴⁰ hanno confrontato due programmi di allenamento di forza, unilaterali o bilaterali in 88 pazienti post ricostruzione LCA con graft rotuleo. La sequenza di esercizi proposta consisteva in 3 serie da 12 ripetizioni di affondi, leg press, estensione terminale di ginocchio in stazione eretta, leg extension e straight leg raise. Sono state effettuate 2 sedute settimanali per un totale di 8 settimane. Gli stessi esercizi sono stati invece applicati al gruppo di controllo con entrambi gli arti inferiori. Come misura di outcome è stata presa in considerazione la performance al single leg hop, valutando sia la distanza sia il *Limb Symmetry index*. Dopo l'intervento, sono state riscontrate differenze significative tra i gruppi per quanto riguarda il *single leg hop test* ($P < 0,001$).

Bieler T. e coll. (2014)⁴¹ invece hanno confrontato un programma di allenamento di resistenza ad alta intensità (HRT) con uno a bassa intensità (LRT). Tutti i partecipanti sono stati sottoposti a un programma di riabilitazione standardizzato di 20 settimane, iniziato immediatamente dopo l'intervento chirurgico. Dalla 4° settimana i pazienti hanno partecipato a un programma di gruppo supervisionato di un'ora due volte alla settimana con l'obiettivo principale di allenamento neuromuscolare, funzionale e specifico per lo sport. Un programma progressivo di allenamento con i pesi di 30 minuti è stato avviato 8 settimane dopo la ricostruzione del LCA ed è stato condotto successivamente al programma di gruppo. Il programma HRT includeva esercizi bilaterali e unilaterali, cioè leg press (da 90 a 0 gradi nel ginocchio), flessione del ginocchio in posizione prona (0°-90° gradi) ed estensione del ginocchio da seduto (90°-0° gradi). Le prime due settimane del programma di allenamento con i pesi sono servite come periodo di familiarizzazione e successivamente il carico è aumentato sollevando pesi fino al cedimento da 20 a 8 RM con un periodo di riposo di 2 minuti tra le serie. Il programma LRT includeva leg press (da 90° a 0° gradi di flessione-estensione del ginocchio), flessione del ginocchio in posizione prona (0°-90° gradi) e il tallone si solleva in posizione eretta (peso ovest) con carico aumentato sollevando carichi fino al cedimento da 30 a 20 RM e un periodo di riposo di 1 minuto tra le serie. I cambiamenti nella funzione del ginocchio

dopo il programma non differivano tra i gruppi per i test *one-legged single hop* ($P = 0,566$) e per il *triple hop test* ($P = 0,880$).

Kinikli e coll. (2014)⁴² hanno invece studiato l'efficacia di un protocollo di allenamento progressivo concentrico ed eccentrico in 33 soggetti dopo ricostruzione LCA con graft semitendinoso-gracile. Il programma riabilitativo è stato avviato una settimana dopo la ricostruzione e tutti i pazienti hanno completato 2 o 3 settimane di riabilitazione in fase acuta, 3 giorni a settimana, incentrata sul controllo del dolore e del versamento. Nel gruppo di controllo sono stati eseguiti esercizi in catena cinetica chiusa per il quadricipite e di estensione della gamba da posizione prona e sollevamento della gamba tesa, esercizi isometrici ed esercizi di abduzione/adduzione dell'anca per aumentare il controllo del quadricipite. Il ciclismo, l'allenamento della forza, i mini-squat, gli esercizi di coordinazione ed equilibrio sono stati introdotti 3-4 settimane dopo l'intervento chirurgico e gli esercizi di movimento resistito a 6-8 settimane dopo l'intervento. Dalla terza settimana successiva alla ricostruzione del LCA, i pazienti nel gruppo di studio hanno continuato con il protocollo standard di riabilitazione del LCA e hanno iniziato un programma di allenamento eccentrico e concentrico progressivo di 12 settimane con un sistema di squat funzionale monitorato (MFSS), che imita il modello di coordinazione del movimento di uno *squat jump*. L'esercizio progressivo di allenamento eccentrico e concentrico è stato avviato con circa il 5% di 1 RM che i pazienti potevano sollevare con la gamba illesa e progredito ogni settimana gradualmente fino al 50% di 1 RM fino alla sedicesima settimana postoperatoria. Ai pazienti è stato chiesto di eseguire 2-3 serie, con 2-3 minuti di recupero tra le serie. L'allenamento è stato condotto 3 volte a settimana per 12 settimane. Gli outcome funzionali in termini di *vertical jump test* ($p=0,012$) e *single hop for distance* ($p=0,027$) hanno dimostrato un miglioramento significativamente maggiore nel gruppo di studio rispetto al controllo.

Sempre all'interno degli allenamenti di forza, Vidmar e coll. (2020)⁴³ hanno confrontato gli effetti di un programma tradizionale (carico costante) di allenamento eccentrico con un allenamento eccentrico isocinetico sulla forza e su alcuni outcome funzionali dopo ricostruzione del LCA. I pazienti del gruppo di allenamento isocinetico hanno partecipato ad un programma di 6 settimane, con frequenza 2 volte a settimana. Le contrazioni eccentriche isocinetiche sono state eseguite nel modo seguente: dopo che il terapeuta ha posizionato passivamente il ginocchio del partecipante a 30° di flessione (0°=estensione completa del ginocchio), il partecipante è stato incoraggiato a eseguire una contrazione eccentrica massima dei muscoli estensori del ginocchio per resistere al movimento di flessione del ginocchio esercitato dal dinamometro fino a 90° di flessione del ginocchio, ad una velocità angolare costante di 60°/s. I partecipanti assegnati al gruppo di controllo erano impegnati in un programma di allenamento eccentrico convenzionale utilizzando una leg extension. Non è stata

riscontrata alcuna differenza tra i gruppi ($p > 0,05$) nel *single leg hop test* (CG = $163,1 \pm 31,8$; IG = $168,0 \pm 28,1$).

Anche Gerber e coll. (2007)⁴⁴ hanno condotto uno studio sull'efficacia di un programma eccentrico. I soggetti sono stati assegnati in modo casuale dopo l'intervento chirurgico a un gruppo di riabilitazione accelerata eccentrica (ECC) o tradizionale (TRAD). A partire da 3 settimane post-operatoria, i soggetti nel gruppo eccentrico hanno iniziato un programma di esercizi di lavoro negativo progressivo di 12 settimane utilizzando ergometri reclinati. I soggetti sono stati posizionati sugli ergometri affinché il lavoro negativo si verificasse da circa 20° a 60° di flessione del ginocchio. A partire da 3 settimane dopo l'intervento chirurgico, i soggetti nel gruppo di riabilitazione tradizionale hanno continuato con il programma classico e, inoltre, sono stati istruiti a seguire un regime di esercizi simile a quello del gruppo eccentrico, utilizzando un ergometro concentrico. I soggetti hanno completato un *single leg jump* prima dell'intervento e 26 settimane dopo l'intervento, come misura delle prestazioni funzionali. È stata osservata una significativa interazione gruppo-tempo per la distanza del salto con l'arto inferiore operato ($P < 0.01$). Rispetto alla valutazione pre-operatoria, la distanza di salto 26 settimane dopo l'intervento è aumentata significativamente nel gruppo ECC ($P < 0.01$) ma non nel gruppo TRAD ($P = 0.17$). La distanza media di salto nel gruppo ECC era di 80,3 cm (95% CI, da 62,9 a 97,7 cm) prima dell'intervento e di 112,9 cm (95% CI, da 94,0 a 131,8 cm) 26 settimane dopo l'intervento. La distanza media di salto nel gruppo TRAD era di 87,9 cm (95% CI, da 71,4 a 104,4 cm) prima dell'intervento e di 96,2 cm (95% CI, da 78,3 a 114,1 cm) 26 settimane dopo l'intervento.

Gli stessi autori⁴⁵ hanno successivamente condotto un ulteriore studio per valutare gli effetti dello stesso programma eccentrico a un anno dall'intervento su 40 soggetti. Dall'operazione a un anno dopo l'intervento, la distanza di salto è aumentata di una quantità significativamente maggiore nel gruppo di esercizi eccentrico rispetto al gruppo di riabilitazione standard ($P < 0.01$). L'entità del miglioramento è stata di circa il 50% nel gruppo di esercizi eccentrici e del 21% nel gruppo di riabilitazione standard.

Fukuda e coll. (2013)⁴⁶ invece hanno condotto uno studio per valutare se l'inserimento precoce di esercizi a catena cinetica aperta permette un miglioramento di outcome funzionale senza alterare la lassità del neo-legamento. Il gruppo di intervento "early open kinetic chain" ($n = 25$) ha ricevuto un protocollo di riabilitazione con un inizio precoce degli esercizi a catena cinetica aperta (quarta settimana dopo l'intervento) all'interno di un ROM ristretto tra 45° e 90°. Il gruppo di controllo ($n = 24$; età media, 24 anni) invece ha eseguito lo stesso protocollo con un inizio tardivo degli esercizi a catena cinetica aperta tra 0° e 90° (12° settimana dopo l'intervento). Come misure di outcome per il salto sono stati utilizzati i test *single-legged hop test* e il *cross-over hop test*. È stata trovata una

significativa interazione gruppo-tempo per il *single-legged hop* e *crossover hop test* ($P = .005$ e $P = .003$). Tuttavia, non è stata trovata alcuna differenza nei test funzionali di salto nell'analisi tra i gruppi al follow-up di 12, 19, 25 settimane e 17 mesi ($P > 0,05$).

Anche Perry e coll. (2005)⁴⁷ hanno condotto uno studio con lo scopo di confrontare programmi a catena cinetica aperta e catena cinetica chiusa sulla lassità e sulla funzione del ginocchio nel periodo da 8 a 14 settimane post ricostruzione del LCA. 49 pazienti hanno partecipato allo studio di cui 25 nel gruppo CKC e 24 nel gruppo OKC. A livello di performance del salto, misurata tramite l'*horizontal jump*, il *vertical jump* e il *cross-over jump*, non sono state riscontrate differenze significative tra i gruppi.

Secondo lo studio randomizzato controllato condotto da Shaw e coll. (2005)⁴⁸, l'inserimento precoce di esercizi di rinforzo del quadricipite, come lo *straight leg raise*, la contrazione isometrica del quadricipite non hanno portato differenze significative tra i gruppi (rispetto ad un gruppo di controllo che non ha eseguito gli esercizi di rinforzo del quadricipite) nella performance del salto (*single hop* $p=0.51$, *triple hop* $p=0.51$).

Souissi e coll. (2011)⁴⁹ hanno esaminato l'efficacia di un programma di retraining dal 4 a 6 mese in atleti post ricostruzione LCA sulla performance funzionale. I soggetti sono stati assegnati in modo casuale a due gruppi: un gruppo di allenamento funzionale (FTG, $n = 8$) e un gruppo di controllo (CG, $n = 8$). Tutti i soggetti sono stati sottoposti a un protocollo riabilitativo standardizzato post-rLCA. L'allenamento funzionale e gli esercizi pliometrici sono stati progressivamente autorizzati a 4 mesi dall'intervento. Il gruppo di allenamento funzionale ha partecipato due volte a settimana al programma di allenamento funzionale (4 ore/settimana) composto da: esercizi intensi e complessi progettati per aumentare in modo specifico il controllo neuromuscolare, la forza e la potenza muscolare, la propriocezione, la velocità e l'agilità degli arti inferiori, combinati con un allenamento di corsa aerobica. Il gruppo di controllo non ha partecipato ad alcun esercizio eseguito dal FTG, ma la loro riabilitazione è stata monitorata dai sei fisioterapisti sopra menzionati seguendo il protocollo riabilitativo standardizzato, ovvero 3 sessioni per settimana (6 ore/settimana) (costituita da corsa e potenziamento, pochi esercizi pliometrici a bassa intensità e lenta progressione, esercizi di cambio direzionale, ma senza esercizi di salto orizzontale né esercizi di agilità. I test funzionali valutati sono il *single leg hop*, il *single leg triple hop* e il *5 jump test*. Il gruppo FTG ha mostrato miglioramenti maggiori rispetto al gruppo di controllo nel *single leg hop* con la gamba infortunata (+34,64% vs. +10,92%), il *5 jump test* a partire dalla gamba infortunata (+8,87% vs. + 5,03%), *single leg triple hop* con la gamba infortunata (+32,15% vs. +16,05%).

Patterson e coll. (2021)⁵⁰ hanno studiato l'intervento fisioterapico 1 anno dopo la ricostruzione del LCA confrontando un intervento focalizzato sull'arto inferiore con un intervento focalizzato sul tronco nell'incrementare la funzione del ginocchio. Sono stati ammessi pazienti tra i 12 e i 15 mesi post-operazione. L'intervento focalizzato sugli arti inferiori comprendeva esercizi standardizzati (con progressione individualizzata) per gli arti inferiori, funzionali e cardiovascolari e un'educazione individualizzata specifica per il LCA. Il programma di riabilitazione focalizzato sugli arti inferiori si è focalizzato sull'allenamento della forza, sugli impairment funzionali e sugli schemi di movimento alterati durante le attività specifiche dello sport relative ai meccanismi di lesione del LCA (ad esempio, atterraggio). I risultati delle prestazioni funzionali sono stati misurati all'inizio e al follow-up attraverso il *single-hop* (distanza massima), il *side-hop* (numero massimo di salti su due linee parallele distanti 40 cm in 30 secondi), e il *one-leg rise test* (numero massimo di ripetizioni da un'altezza standardizzata). È stata valutata la proporzione di partecipanti che hanno miglioramenti maggiori rispetto al *Minimal Detectable Change* (MDC), tranne per il *one-leg rise test*. Nel *single-hop* il 67% dei pazienti con esercizi focalizzati sugli arti inferiori hanno superato il MCD, mentre nel gruppo di controllo soltanto il 16% ha ottenuto valori superiori al MDC. Per il *side-hop* invece la stessa percentuale (33%) di pazienti per entrambi i gruppi ha superato il MDC.

3.5.4 Cross-training

2 studi hanno studiato l'efficacia del cross-training nella riabilitazione post ricostruzione del LCA, andando a misurare la performance del salto. Harput e coll. (2019)⁵¹ hanno confrontato programmi di allenamento eccentrico, concentrico con allenamento isocinetico nell'arto sano, confrontando con un gruppo di controllo che invece ha svolto un programma per il solo arto operato. I partecipanti assegnati ai gruppi di cross-education hanno partecipato all'allenamento isocinetico concentrico o eccentrico dell'arto controlaterale tre volte alla settimana, oltre alla riabilitazione tradizionale post rLCA durante il periodo di 8 settimane, tra la 4a e la 12a settimana post-operatoria. Ogni sessione di allenamento isocinetico consisteva in tre serie di 12 ripetizioni a 60°/s che vanno da 10° a 90° di flessione. Per misurare la funzionalità del ginocchio è stato utilizzato, tra li altri outcome, il *one leg hop for distance* misurando il *Limb Symmetry Index*. Tuttavia, non sono state riscontrate differenze significative tra i gruppi (p-value non riportati).

Minshull e coll. (2021)⁵² invece hanno studiato l'efficacia nel cross-training all'interno di un programma di rinforzo, confrontando con un gruppo di controllo. L'allenamento della forza dell'arto controlaterale è iniziato 2 settimane dopo l'intervento chirurgico ed è stato eseguito 3 volte a settimana per 8 settimane. Gli esercizi comprendevano 3 serie da 3-5 ripetizioni di: estensioni del ginocchio; leg curl e leg press, con 1,5-2 minuti di riposo tra le serie. Il gruppo di controllo ha svolto invece un

programma di stretching di 3 serie di allungamenti statici di 20 secondi degli arti superiori. L'arto superiore è stato selezionato per evitare qualsiasi effetto sulla prestazione muscolare dell'arto inferiore. Il test *Hop for distance* (HOP) è stato scelto come outcome secondario per valutare la funzione del ginocchio. Miglioramenti significativi nel HOP (LSI) (15%, $p=0,004$) sono stati osservati a 24 settimane dopo l'intervento chirurgico ma senza differenze significative tra i gruppi di trattamento ($p = 0,96$ per HOP).

3.5.5 Riabilitazione pre-operatoria

Dall'analisi della letteratura sono stati individuati 2 articoli riguardanti la riabilitazione pre-operatoria in seguito a lesione del legamento crociato anteriore che vanno a valutare se la riabilitazione pre-operatoria è efficace nell'incrementare gli outcome funzionale del salto dopo l'intervento chirurgico. Sono stati presi in considerazione proprio perché le misure di esito si riferiscono alla condizione post ricostruzione LCA, anche se la popolazione in oggetto non è inizialmente trattata chirurgicamente come invece è stato definito secondo i criteri di esclusione e inclusione di questa revisione sistematica.

Shaarani e coll. (2013)⁵³ hanno studiato gli effetti di un programma di riabilitazione preoperatoria di 6 settimane. Il gruppo di controllo ha continuato a fare esercizio o qualsiasi normale attività della vita quotidiana prima dell'intervento. Il gruppo di riabilitazione pre-operazione è stato arruolato in un programma di esercizi di 6 settimane prima dell'intervento chirurgico costituito da allenamento di resistenza supervisionato ed esercizi di equilibrio. Il programma si concentra principalmente sul potenziamento degli arti inferiori con particolare attenzione ai quadricipiti, oltre che sull'allenamento della propriocezione. Sebbene i punteggi del test al *single leg hop* nell'arto operato fossero ridotti a 12 settimane dopo l'intervento per entrambi i gruppi, il gruppo di esercizio ha ottenuto punteggi più alti ($144,91 \pm 15,52$) rispetto al gruppo di controllo ($113,33 \pm 25,54$). Questo risultato è risultato statisticamente significativo ($P = 0.001$).

Kim e coll. (2015)⁵⁴ hanno invece proposto un programma di 4 settimane di riabilitazione pre-operativa proseguita poi con una riabilitazione tradizionale di 12 settimane post-intervento per entrambi i gruppi. Il gruppo di riabilitazione pre-operatoria ha mostrato un miglioramento significativo nel test *single leg hop* (LSI) ($p=0,029$), a 3 mesi dall'operazione, cambiamento che invece non è risultato significativo nel gruppo di controllo.

3.5.6 Riabilitazione accelerata vs riabilitazione standard

Ebert e coll. (2022)⁵⁵ hanno condotto un RCT per studiare se un programma di riabilitazione accelerato può incrementare la forza e la funzione del ginocchio dopo la ricostruzione del LCA, senza

aumentare la lassità. Sebbene entrambi i gruppi abbiano svolto essenzialmente gli stessi esercizi, l'introduzione degli esercizi (e le variazioni degli esercizi) differivano tra i gruppi rispetto al tempo e criteri di progressione. Il programma stesso consisteva in una componente supervisionata, comprese 3 e 4 sessioni di terapista supervisionato nelle settimane 0-6, 3-4 sessioni di terapista supervisionato tra la settimana 6 e 4 mesi, 2-3 sessioni tra 4 e 6 mesi e infine 3-4 sessioni (se necessario) tra 6 e 12 mesi. La dose di esercizio (serie, ripetizioni, carico) è aumentata in base al tipo e alla modalità di esercizio, iniziando generalmente dalla endurance muscolare (2-3 serie da 15-20 ripetizioni), seguita da lavori per la forza muscolare (3-4 serie da 6-12 ripetizioni) e successivamente dalla potenza (5 serie da 8 ripetizioni). Il carico richiesto per ogni esercizio (e in particolare gli esercizi orientati alla forza) non è stato dettato dal test di ripetizione massimale (RM) (soprattutto data l'introduzione nella fase iniziale e intermedia di molti degli esercizi impiegati), ma da una base soggettiva per ogni singolo paziente. Come misura di outcome è stata presa in considerazione una batteria di salti composta dal *single leg hop for distance* (SLHD), *6-m timed hop*, *triple hop for distance* (THD) e il *triple cross-over hop for distance* (TCHD). Un incremento significativo nel tempo è stato osservato nel LSI del *single hop for distance* ($p=0.014$) e nel *triple cross-over hop for distance*, ($p < 0,0001$), con una significativa differenza di gruppo nel THD ($p=0,007$) e TCHD ($p=0,001$). Sono state osservati risultati significativamente più alti per il THD nel gruppo di riabilitazione accelerata a 6 ($p= 0,015$) e 9 ($p=0,008$) mesi dopo l'intervento, così come un LSI significativamente più alto per il TCHD nel gruppo "accelerato" a 6 ($p=0,0001$) e 9 ($p=0,009$) mesi. Inoltre, una percentuale significativamente maggiore ($p < 0,05$) di pazienti del programma di riabilitazione accelerata ha dimostrato un LSI $\geq 90\%$ per tutte le misure di esito di salto (tutti i 4 test del salto) a 6, 9, 12 e 24 mesi post-operazione.

Anche Cristiani e coll. (2021)⁵⁶ hanno valutato e confrontato i cambiamenti nella forza del quadricipite e le prestazioni del test *single-leg-hop* (SLH) nei primi 24 mesi postoperatori in pazienti sottoposti a ricostruzione del legamento crociato anteriore, tra gruppi di riabilitazione standard o accelerata. La valutazione della performance di salto è stata effettuata prima dell'intervento e dopo 4, 6, 8, 12 e 24 mesi dopo l'intervento. I pazienti hanno seguito un programma riabilitativo standardizzato o accelerato, a seconda della randomizzazione. Prima dell'intervento è stato riscontrato un LSI medio del test SLH dell'81%. Dopo la ricostruzione del legamento, il LSI è aumentato dai 4 a 24 mesi, raggiungendo complessivamente il 97,6% all'ultimo follow-up. Tuttavia, non sono state riscontrate differenze significative tra i gruppi di riabilitazione standard e accelerata per nessuno in nessun time-point.

3.5.7 Elettrostimolazione sovrapposta ad esercizio

Sono stati inclusi della revisione della letteratura gli articoli che avevano come intervento l'elettrostimolazione neuromuscolare, soltanto quando questa era associato ad altre terapie attive, oltre al programma tradizionale di riabilitazione post-intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore.

Labanca e coll. (2022)⁵⁷ hanno studiato l'effetto della stimolazione elettrica abbinata ad esercizi funzionale dopo ricostruzione del legamento crociato anteriore. I pazienti nel gruppo di elettrostimolazione con esercizi (NMES+) hanno ricevuto un trattamento addizionale rispetto al gruppo di controllo (NAT – *No Additional Training*), basato su esercizi di sit-to-stand, squat e step un e down, associati all'elettrostimolazione. L'allenamento è partito dal 15 giorno post-operatorio fino al 60esimo giorno, e consisteva in 5 sessioni alla settimana. Il gruppo di controllo ha continuato il programma riabilitativo tradizionale dopo ricostruzione del LCA. Il *Limb Symmetry Index* (LSI) di entrambe le fasi del *countermovement jump* (CMJ), valutato come misura di outcome in questo studio, è aumentato significativamente tra 90 e 380 giorni post-operatori nel gruppo NMES+, mentre non sono stati riscontrati aumenti significativi nel gruppo NAT.

3.5.8 ACL-SPORTS

Il protocollo di allenamento ACL-SPORT consiste in 10 sessioni di allenamento con un fisioterapista, e comprende esercizi di prevenzione secondaria, rinforzo e di agilità (SAP):

Esercizi di prevenzione secondaria. Gli esercizi pliometrici e di equilibrio applicati in questo protocollo includono salti tripli ad una gamba sola, tuck jump e box drop; gli esercizi di rafforzamento includono Nordic hamstring e squat con resistenza all'abduzione dell'anca. I salti tripli ad una gamba vengono eseguiti consecutivamente, avanti e indietro, oltre che lateralmente⁵⁸.

	Session 1-3	Session 4-6	Session 7-10
Nordic Hamstrings	Partial 2 x 5	Partial 3 x 5	Partial 3 x 5
Kneeling on mat table, therapist stabilizing feet	(~30-45°)	(~30-45°)	(>60°)
Standing Squat	Session 1: 3x10 with focus on proper technique	3 x 10	3 x 10
Must squat to knees at 90 degrees, tapping chair/table/box with gluts	Add t-band around knees	progress t-bands to black	X
Drop jumps**	3 x 10 BLE's to BLE's	3 x 10 BLE's to involved limb	3 x 10 Involved limb to involved limb off box
In front of mirror, monitor proper form with landing	Jump off appropriate height (4-6-8 inch)	Jump off appropriate height (4-6-8 inch)	Jump off appropriate height (4-6-8 inch)
Triple single leg hopping**	Forward/backward x10*	Forward/backward x15*	Forward/backward x15*
	Side to side x10*	Side to side x15*	Side to side x15*
	No object	Add low object to jump over (2 inch cups)	Increase height of object, appropriate for the pt. (4 inch cups or 6 inch hurdles)
This is for proper landing, NOT distance			
Tuck jumps**			2 sets, 10-20 sec
Proper form knees to 90°	X	X	Progress to 3 sets, 20-30 seconds each

Figura 1: protocollo di allenamento ACL-SPORTS

Esercizi di rafforzamento del quadricipite: Un paziente che dimostra un indice di forza del quadricipite $> 90\%$ (forza dell'arto operato/forza dell'arto non coinvolto $\times 100$) non sarà tenuto a completare gli esercizi di rafforzamento del quadricipite durante l'allenamento. Tutti gli altri pazienti con un indice di forza del quadricipite dell'80-90% completeranno tre esercizi di rafforzamento del quadricipite durante tre delle prime sei sessioni di allenamento tra cui step down laterali leg-press e rinforzo isocinetico⁵⁸.

Esercizi di agilità: In ogni sessione di allenamento verranno completate da tre a quattro esercitazioni di agilità, tra cui corsa avanti/indietro, *side shuffle*. Il terapeuta curante determinerà quali esercizi di agilità utilizzare in base alla partecipazione sportiva e al livello di abilità del paziente⁵⁸.

Gruppo perturbazioni (PERT): i pazienti randomizzati nel gruppo PERT completeranno un ulteriore addestramento oltre al programma SAP. L'allenamento PERT è un programma di allenamento neuromuscolare che prevede una serie di perturbazioni progressive su superfici instabili sia in appoggio bilaterale che unilaterale. Questi sono progrediti secondo la tolleranza del paziente sia in grandezza che in velocità. La distrazione verbale e l'aggiunta di compiti simultanei di estremità superiori o inferiori con perturbazioni saranno utilizzati per indirizzare lo sport individuale e sfidare l'atleta⁵⁸.

Arundale e coll. (2017)⁵⁹ hanno valutato se ci fossero differenze a 1 e 2 anni dopo la ricostruzione del LCA tra il gruppo SAP e SAP + PERT nei maschi. Dal punto di vista funzionale, è stato preso in considerazione la performance al *single leg hop for distance*, *cross-over hop for distance*, *triple hop for distance* e *six-meter timed hop* (LSI). Dai risultati ottenuti non sono state riscontrate differenze significative tra i due gruppi per nessun outcome di salto né a 1 né a 2 anni dall'operazione (rispettivamente, *single leg hop*: $p=0.57$ e 0.71 ; *crossover hop*: $p=0.16$ e 0.07 ; *triple hop*: $p=0.19$ e 0.33 ; *6-meter timed hop*: $p=0.92$ e 0.97).

Capin e coll (2019)⁶⁰ invece hanno valutato gli stessi outcome di Arundale e coll. (2017) del salto dopo i 2 anni dalla ricostruzione del LCA in 39 soggetti femmine. Anche in questo studio, tuttavia, non sono state riscontrate differenze significative tra i due gruppi SAP e SAP + PERT.

CAPITOLO 4: DISCUSSIONE

L'obiettivo di questa revisione sistematica era quello di indagare, attraverso una analisi della letteratura, quali siano le tipologie di interventi attivi che permettono un miglior recupero del gesto funzionale del salto nei soggetti che sono stati sottoposti a ricostruzione del legamento crociato anteriore. Per fare questo, sono stati presi in considerazione tutti gli studi che includevano tra le misure di outcome le performance di salto, valutate tramite diversi test (*vertical jump*, *horizontal jump*, *triple hop*).

Gli studi analizzati presentano dei limiti riguardanti la popolazione, in quanto quasi tutti gli articoli presi in considerazione includono un numero abbastanza esiguo di partecipanti. Inoltre, la maggior parte degli studi non prevedeva la presenza di cecità dei terapisti/valutatori, elemento che potrebbe portare a *bias*. Dalla valutazione del rischio di bias degli articoli emerge che 7 articoli presentano un rischio di *bias* basso, 13 articoli hanno un rischio di bias definito “incerto”, mentre i restanti 10 studi sono ad alto rischio di *bias*.

Per l'analisi della letteratura sono stati inclusi 30 studi randomizzati controllati. La popolazione totale presente negli studi è di 1432 soggetti sottoposti a ricostruzione del legamento crociato anteriore con diversi approcci chirurgici, tra i principali quello con prelievo da tendine rotuleo (*Bone-Patellar Tendon-Bone*) e da gracile e semitendinoso. La maggior parte degli studi prevedeva l'inclusione di soggetti di entrambi i sessi, quasi sempre di età giovane e sportivi. 7 articoli su 30 hanno condotto lo studio soltanto su soggetti maschi, mentre soltanto 1 studio riguardava esclusivamente il sesso femminile. Nonostante i soggetti di sesso femminile sia più a rischio di lesioni del legamento crociato anteriore, come precedentemente descritto nell'Introduzione, la popolazione maschile sembrerebbe essere maggiormente studiata.

4.1 Interventi

Soltanto 2 articoli su 30 analizzati hanno valutato l'allenamento del salto e la pliometria nei soggetti con ricostruzione del legamento crociato anteriore. Entrambi gli studi hanno confrontato due tipologie di intervento di pliometria, senza riscontrare differenze significative tra il gruppo di intervento e il gruppo di controllo. Dai risultati ottenuti si comprende che l'allenamento della pliometria è fondamentale per incrementare la performance di salto indipendentemente dalla modalità allenamento. In letteratura sono presenti alcune revisioni sistematiche con una popolazione di soggetti sani. Stojanovic e coll. (2017)²² hanno svolto una revisione sistematica con lo scopo di determinare l'efficacia dell'allenamento pliometrico sulle prestazioni del salto verticale. I risultati confermano l'efficacia di questa tipologia di allenamento sulle prestazioni del *vertical jump* nelle atlete, con effetti grandi per quanto riguarda il *Drop Jump*. Gli autori inoltre hanno riscontrato come gli effetti

dell'allenamento di durata superiore a 10 settimane erano molto più elevati rispetto ad interventi di durata inferiore a 10 settimane²². Risultati simili sono stati evidenziati da Ramirez-Campillo e coll. (2020)⁶¹, che hanno condotto una revisione sistematica su 33 articoli valutando l'efficacia di un training pliometrico in giocatori di calcio. I dati hanno mostrato che l'allenamento pliometrico ha indotto miglioramenti significativi nelle prestazioni del salto verticale e di sprinting, con effetto da lieve a moderato rispetto ai gruppi di controllo. Anche in questa revisione è stato riscontrato che gli interventi di durata maggiore (>7 settimane e > 14 sessioni di allenamento) hanno indotto miglioramenti significativamente maggiori. Secondo gli autori, i miglioramenti nel salto e nello sprint dopo allenamento di pliometria e del salto possono essere attribuiti a una maggiore attivazione neurale verso i muscoli agonisti, modificazioni della stiffness muscolo-tendinea, miglioramento della coordinazione inter-muscolare, cambiamenti nella meccanica delle fibre muscolari, nelle dimensioni e nell'architettura dei muscoli⁶¹.

Dai risultati di questa revisione sembrano essere necessari ulteriori studi che approfondiscano l'efficacia dell'allenamento pliometrico del salto dopo ricostruzione del LCA. In particolare, sarebbe fondamentale definire quali siano le tipologie, modalità, intensità di allenamento più efficaci. In letteratura, infatti, sono presenti moltissimi studi su questo argomento, i quali tuttavia studiano l'allenamento soltanto nei soggetti sani e sportivi.

In letteratura Buckthorpe e Della Villa (2021)⁶² hanno fornito delle linee guida e delle raccomandazioni sull'allenamento pliometrico dopo ricostruzione del LCA, suddividendo il programma in 4 fasi. La fase 1 del programma utilizza la pliometria a bassa intensità, caratterizzata da esercizi prevalentemente simmetrici bilaterali submassimali. Il programma viene completato insieme alla rieducazione del movimento di base, al rafforzamento funzionale (ad esempio, squat, deadlift, progressione con esercizi in monopodolica), compiti di atterraggio bilaterale e allenamento della forza isolato. Dopo rLCA, il paziente presenta significativi deficit di forza degli estensori del ginocchio. Tali deficit di forza si traducono in strategie compensative biomeccaniche, tra cui l'uso compensatorio degli estensori dell'anca invece degli estensori del ginocchio durante compiti unilaterali o il carico maggiore sull'arto sano durante compiti bilaterali. Pertanto, è essenziale concentrarsi su tecniche di rafforzamento isolate per superare la debolezza del quadricipite e ripristinare la normale forza del quadricipite durante questa fase. La fase 2 del programma inizia quando l'atleta può raggiungere i necessari criteri di riabilitazione della fase avanzata. Questa fase si focalizza sulla pliometria bilaterale di massimo sforzo, più specificamente per migliorare la cinetica nei movimenti più esplosivi. Un obiettivo chiave di questa fase è ottenere un buon *drop jump* bilaterale (30 cm) e un buon controllo della fase di atterraggio/decelerazione con una sola gamba.

Nella fase 3 si passa ad un uso maggiore della pliometria unilaterale e viene eseguita insieme a un programma di coordinamento multidirezionale sul campo. Inoltre, si passa da compiti pliometrici unilaterali orizzontali e verticali a compiti pliometrici unilaterali laterali e successivamente multidirezionali. L'obiettivo chiave è avere una buona cinematica durante i cambi di direzione e una buona prestazione di *drop jump* e *single-leg hop*. Infine, la fase 4 si concentra su compiti pliometrici unilaterali massimali per l'automazione del pattern motorio e il miglioramento delle prestazioni neuromuscolari. Inoltre, in termini di schemi motori, un obiettivo chiave dello stage nel suo insieme è quello di progredire verso movimenti reattivi e prepararsi per l'allenamento specifico per lo sport. Si raccomanda di creare perturbazioni durante i compiti pliometrici per allenare anche il controllo neuromuscolare (per esempio utilizzando una palla medica che crea uno slancio laterale o orizzontale aggiuntivo). Al RTS, si raccomanda di possedere una buona qualità del movimento durante attività di tipo sportivo e in situazioni specifiche per lo sport⁶².

8 studi su 30 hanno studiato l'efficacia dell'allenamento neuromuscolare. La maggior parte di essi ha confrontato questa tipologia di intervento con un tradizionale programma di forza. Gli studi analizzati includevano tra gli esercizi neuromuscolari il mantenimento di posizioni in *single-leg*, posizioni su superfici instabili, squat a una gamba, step up, *side walking*, allenamenti su trampolini. È necessario precisare tra questi studi c'era una grande eterogeneità in termini di programmi di allenamento.

Di particolare interesse è il recente studio di Khalid K. e coll. (2022)³⁴, i quali hanno riscontrato delle differenze significative nei test di salto (*One Leg Hop*, *triple Hop*, *Cross-Over hop* e *6-m hop*) tra il gruppo di intervento e il gruppo di controllo. Il gruppo di intervento basato sul training neuromuscolare ha eseguito un programma di esercizi basati su squat, *single leg stance*, affondi, step up, *side walking*, esercizi di salto su trampolino. Il gruppo di controllo invece ha continuato il programma di rinforzo muscolare tradizionale. Anche i risultati ottenuti da Ghaderi M. e coll. (2021)³⁸ sono significativi, in quanto hanno trovato miglioramenti nei parametri biomeccanici nel *single-leg drop landing* dopo un programma di allenamento neuromuscolare di 8 settimane. Gli autori affermano che la biomeccanica aberrante dell'atterraggio in salto, in particolare l'aumento della forza verticale di reazione al suolo, la diminuzione della flessione dell'anca e del ginocchio e l'aumento dell'abduzione e della rotazione interna del ginocchio, che insieme portano ad un valgo dinamico del ginocchio, sono stati associati con aumentato tasso di *re-injury*. Il gruppo sperimentale infatti ha dimostrato un aumento del picco di flessione di anca e ginocchio significativamente maggiore rispetto al gruppo di controllo, così come per una riduzione del picco di abduzione di anca e di rotazione interna. Gli autori affermano che l'allenamento neuromuscolare con focus esterno ha ridotto la velocità di carico e il picco di forza di taglio sulla tibia. Considerando che l'aumento della forza di taglio è associato a un aumento del carico sui legamenti, questo tipo di allenamento sembra essere efficace nel ridurre il rischio di lesione del

LCA³⁸. L'allenamento neuromuscolare con focus esterno potrebbe essere necessario per ridurre i fattori di rischio per una recidiva di lesione del LCA. Le istruzioni che promuovono un focus esterno indirizzano un atleta a prestare attenzione agli effetti del proprio movimento. Ad esempio, quando un atleta sta eseguendo un salto, con un focus esterno esso potrebbe essere istruito a spingere contro il suolo il più energicamente possibile (messa a fuoco esterna), piuttosto che concentrarsi sull'estensione del ginocchio (focus interno). È stato dimostrato che l'allenamento con un focus esterno si traduce in migliori prestazioni, ritenzione, trasferimento e maggiore automaticità del movimento per un'ampia gamma di task motori. Una differenza fondamentale dal punto di vista dell'apprendimento motorio tra il focus interno ed esterno dell'attenzione è che il focus esterno promuove l'automatismo del movimento, il che significa che l'individuo non è vincolato nel proprio profilo di movimento ed è più libero di adattarsi a un ambiente che cambia³⁸.

Nonostante i risultati riportati dagli studi sopra citati, gli altri studi analizzati nella revisione non hanno riscontrato effetti migliori di programmi neuromuscolari rispetto a programmi di rinforzo muscolare. Tuttavia, come viene anche riportato dalle linee guida di Van Melick (2016)⁶³, emerge come l'allenamento neuromuscolare dovrebbe essere integrato all'allenamento della forza al fine di ottimizzare il risultato della riabilitazione.

I 10 studi che hanno studiato gli outcome di salto nell'allenamento di forza includevano svariate tipologie di intervento e confronto. Dall'analisi degli articoli presenti nella revisione, emerge che non ci sono differenze significative tra un allenamento a catena cinetica aperta rispetto ad un allenamento a catena cinetica chiusa. Tuttavia, sono stati trovati miglioramenti nella performance di salto in uno studio (Fukuda T. e coll.⁴⁶) che confrontava un programma con inserimento precoce (4 settimane) di esercizi a catena cinetica aperta con un programma con inserimento di tali esercizi tardivamente (12 settimane). Questo risultato è rilevante considerando che diverse revisioni presenti in letteratura non hanno riscontrato differenze in termini di lassità del legamento tra l'inserimento precoce e tardivo degli esercizi a catena cinetica aperta.

Gli studi di Gerber e coll. (2007 e 2009)^{44,45} invece hanno trovato differenze significative nella performance del *single-leg hop* tra un gruppo di riabilitazione con esercizi eccentrici e un gruppo di riabilitazione standard. Questi risultati rafforzano i potenziali benefici che possono essere raggiunti da un sovraccarico muscolare sicuro attraverso esercizi di resistenza ad alta forza che inducono durante le prime fasi di riabilitazione dopo ricostruzione del legamento crociato anteriore. Bieler e coll. (2014)⁴¹ hanno confrontato un allenamento di forza ad alta intensità con un programma a bassa intensità per l'aumento dei valori ottenuti al *single-leg hop* e il *triple-hop for distance*. Tuttavia, non sono state riscontrate differenze significative tra i due gruppi.

Lo studio condotto da Minshull e coll.⁵² su 44 soggetti post ricostruzione del legamento crociato anteriore ha valutato l'efficacia del Cross-Training dopo ricostruzione LCA. Il gruppo di intervento ha condotto un programma di Cross-Education 2 settimane dopo l'intervento chirurgico, 3 volte a settimana per 8 settimane. Rispetto al gruppo di controllo che ha svolto lo stesso programma senza il Cross-Training, non sono state osservate differenze significative. Anche Harput e coll. (2018)⁵¹ non hanno riscontrato differenze significative nel loro studio sul Cross-training. Questi risultati fanno emergere che questa modalità di allenamento non ha ancora sufficienti evidenze per essere presa in considerazione e consigliata come trattamento dopo la ricostruzione del LCA. Nonostante Harput e coll. hanno riscontrato miglioramenti significativi in termini di forza e massima contrazione isometrica volontaria del quadricipite (MVIC) nel gruppo di Cross-Training, gli stessi miglioramenti non sono stati trovati nei test di salto (*single leg hop for distance*) a 24 settimane post-operatorie⁵¹.

Per quanto riguarda la riabilitazione pre-operatoria, 2 studi hanno valutato i risultati ottenuti al test di salto (*single leg hop test*) tra un gruppo di riabilitazione pre-operatoria e un gruppo senza programma pre-operatorio. Shaarani e coll. (2013)⁵³ hanno trovato un incremento significativo nella performance di salto tra i due gruppi a 12 settimane post-operazione, così come sono stati trovati effetti simili anche da Kim e coll. (2015)⁵⁴. Dai risultati ottenuti da questa revisione si può comprendere come l'inserimento di un programma di riabilitazione pre-operatoria nei soggetti in attesa di ricostruzione del LCA possa incrementare gli outcome funzionali del salto anche nel post-operatorio.

4.2 Test di salto

I test di salto sono dei test di performance utilizzati per determinare la prontezza al *Return to Sport* dopo ricostruzione del legamento crociato anteriore. Tra i test di salto più utilizzati in letteratura ci sono 4 test: il *single leg hop test*, *triple hop test*, il *cross-over hop test* e il *6-m hop test*. Questi test vengono solitamente interpretati analizzando la simmetria tra arto inferiore infortunato o operato e l'arto inferiore sano, espresso in percentuale come *Limb Symmetry Index* (LSI) o semplicemente come distanza/altezza raggiunta nel test (in metri o in centimetri)⁶⁴. Anche da questa revisione emerge come i 4 test sopra citati siano quelli maggiormente utilizzati negli studi. Il *single leg hop test* risulta la misura di outcome maggiormente utilizzati articoli presi in considerazione. Questo test è in grado di valutare la funzione del finocchio dopo ricostruzione del LCA. Nonostante ciò, come è stato anche descritto nell'Introduzione, Kotsifaki A. e coll. (2022)¹⁷ hanno concluso che il LSI ottenuto durante i salti verticali sembrano evidenziare deficit di funzionalità del ginocchio in modo più accurato rispetto ai test orizzontali. Inoltre, le prestazioni del ginocchio vengono valutate meglio durante la fase di atterraggio, e non durante la fase di propulsione. Durante il salto orizzontale, l'articolazione

del ginocchio contribuisce poco alla fase propulsiva, suggerendo che la funzione dell'articolazione del ginocchio è scarsamente stimata misurando la distanza del salto su una gamba sola.

Durante il salto verticale invece, tutte e tre le articolazioni dell'arto inferiore hanno contribuito all'incirca allo stesso modo durante la fase propulsiva. Di conseguenza, la disfunzione in ognuna delle articolazioni può influenzare in modo uguale le prestazioni del salto (altezza massima). L'altezza del salto verticale potrebbe quindi essere più sensibile a misurare l'asimmetria del ginocchio rispetto alla prestazione nei salti orizzontali⁶⁵.

Gli atleti sottoposti a ricostruzione del LCA che performavano al *single leg hop test* un LSI del 97%, mostravano ancora differenze da moderate a grandi nella funzione del ginocchio. Infatti per quanto riguarda il contributo del ginocchio, il gruppo sottoposto a ricostruzione del LCA ha raggiunto il 69% di simmetria nel lavoro del ginocchio operato svolto durante la propulsione⁶⁶. L'articolazione del ginocchio contribuisce poco (circa il 12%) alla fase propulsiva di un SLHD. Con l'88% della distanza misurata al test di salto determinata dall'articolazione dell'anca e della caviglia, si capisce come i deficit dell'articolazione del ginocchio vengano facilmente ignorati. In altre parole, la distanza percorsa è una scarsa misura della funzione dell'articolazione del ginocchio e riflette in gran parte la funzione dell'anca e della caviglia. Di conseguenza, potrebbe non essere la metrica appropriata da utilizzare per testare un atleta con un infortunio al ginocchio⁶⁶.

Le nuove evidenze suggeriscono che il salto verticale potrebbe rivelarsi un indice migliore della funzionalità del ginocchio e potrebbe essere un test pertinente per valutare le prestazioni dopo ricostruzione del LCA⁶⁴. Nonostante ciò, gli studi che sono stati analizzati in questa revisione non hanno preso in considerazione i test di salto verticali. Soltanto lo studio di Kinikli e coll. (2014)⁴² ha valutato la performance attraverso il *vertical jump*, mentre Labanca (2022)⁵⁷ ha utilizzato il *countermovement jump*. Da questa revisione si comprende come ci siano diversi test per valutare la performance del salto dopo ricostruzione del LCA. Attualmente il salto verticale sembrerebbe essere il test più valido per poter avere una misura di esito della riabilitazione e del *Return to Sport*. Probabilmente la performance del salto dovrebbe essere valutata sulla base delle richieste e dei gesti sport-specifici.

CAPITOLO 5: CONCLUSIONI

Da questa revisione sistematica emerge come ci siano diverse modalità di allenamento del gesto del salto dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore. L'allenamento della forza, in associazione con un training neuromuscolare, è fondamentale per un recupero adeguato del salto. per quanto riguarda l'allenamento pliometrico, è confermata l'efficacia dei programmi analizzati, nonostante sia necessario svolgere ulteriori studi sulla popolazione di sportivi operati per ricostruzione LCA. Non risultano differenze significative invece per quanto riguarda il cross-training, nonostante sia comprovata l'efficacia per il recupero della forza muscolare. I limiti di questa revisione riguardano principalmente la grande eterogeneità degli interventi presi in considerazione. Infatti, sono stati valutati tutti gli interventi attivi che comprendevano tra gli outcome i test di salto. Tuttavia, gli studi considerati non valutavano specificatamente il recupero del gesto del salto, ma valutavano diverse misure di outcome della riabilitazione post-operatoria del LCA. Per cui, potrebbe essere utile per il futuro svolgere ulteriori studi primari per comprendere le tipologie, le modalità, l'intensità e la frequenza degli allenamenti più idonei per il recupero del salto.

APPENDICE

Appendice 1: stringhe di ricerca utilizzate nei database (aggiornate al 02/04/2023)

Banca di ricerca	Stringa
Pubmed	((Plyometric Exercise[MeSH Terms]) OR (Plyometric Exercise)) OR (Exercise, Plyometric)) OR (Exercises, Plyometric)) OR (Plyometric Exercises)) OR (Plyometric Drill)) OR (Drill, Plyometric)) OR (Drills, Plyometric)) OR (Plyometric Drills)) OR (Plyometric Training)) OR (Plyometric Trainings)) OR (Training, Plyometric)) OR (Trainings, Plyometric)) OR (Stretch-Shortening Exercise)) OR (Exercise, Stretch-Shortening)) OR (Exercises, Stretch-Shortening)) OR (Stretch Shortening Exercise)) OR (Stretch-Shortening Exercises)) OR (Stretch-Shortening Cycle Exercise)) OR (Cycle Exercise, Stretch-Shortening)) OR (Cycle Exercises, Stretch-Shortening)) OR (Exercise, Stretch-Shortening Cycle)) OR (Exercises, Stretch-Shortening Cycle)) OR (Stretch Shortening Cycle Exercise)) OR (Stretch-Shortening Cycle Exercises)) OR (Stretch-Shortening Drill)) OR (Drill, Stretch-Shortening)) OR (Drills, Stretch-Shortening)) OR (Stretch Shortening Drill)) OR (Stretch-Shortening Drills)) OR ((Jump Training) OR (Jump Trainings) OR (Jump Exercise) OR (Jump Exercises) OR (Landing Training) OR (Landing Trainings) OR (Landing Exercise) OR (Landing Exercises))) OR (((((((((((((((((((((((((((((((((((((((Resistance Training[MeSH Terms]) OR (Resistance Training)) OR (Training, Resistance)) OR (Strength Training)) OR (Training, Strength)) OR (Weight-Lifting Strengthening Program)) OR (Strengthening Program, Weight-Lifting)) OR (Strengthening Programs, Weight-Lifting)) OR (Weight Lifting Strengthening Program)) OR (Weight-Lifting Strengthening Programs)) OR (Weight-Lifting Exercise Program)) OR (Exercise Program, Weight-Lifting)) OR (Exercise Programs, Weight-Lifting)) OR (Weight Lifting Exercise Program)) OR (Weight-Lifting Exercise Programs)) OR (Weight-Bearing Strengthening Program)) OR (Strengthening Program, Weight-Bearing)) OR (Strengthening Programs, Weight-Bearing)) OR (Weight Bearing Strengthening Program)) OR (Weight-Bearing Strengthening Programs)) OR (Weight-Bearing Exercise Program)) OR (Exercise Program, Weight-Bearing)) OR (Exercise Programs, Weight-Bearing)) OR (Weight Bearing Exercise Program)) OR (Weight-Bearing Exercise Programs)) OR ((Resistance Program) OR (Resistance Programs) OR (Resistance Exercise) OR (Resistance Exercises) OR (Strength Exercise) OR (Strength Exercises) OR (Strengthening Training) OR (Strengthening Trainings) OR (Strengthening Exercise) OR (Strengthening Exercises) OR (Strengthening Program) OR (Strengthening Programs) OR(High Intensity Training) OR (High Intensity Trainings)))) OR ((Neuromuscular Training) OR (Neuromuscular Trainings) OR (Neuromuscular Exercise) OR (Neuromuscular Exercises) OR (Neuromuscular Retraining) OR (Balance Training) OR (Balance Trainings) OR (Balance Exercise) OR (Balance Exercises) OR (Stability Training) OR (Stability Trainings) OR (Proprioceptive Training) OR (Proprioceptive Trainings) OR (Proprioceptive Exercise) OR (Proprioceptive Exercises) OR (Neuromuscular Control Exercise) OR (Neuromuscular Control Exercises) OR (Sensorimotor Training) OR (Sensorimotor Exercise) OR (Sensorimotor Exercises))) OR (((((((((((((((Exercise Therapy[MeSH Terms]) OR (Exercise Therapy)) OR (Remedial Exercise)) OR (Exercise, Remedial)) OR (Exercises, Remedial)) OR (Remedial Exercises)) OR (Therapy, Exercise)) OR (Exercise Therapies)) OR (Therapies, Exercise)) OR (Rehabilitation Exercise)) OR (Exercise, Rehabilitation)) OR (Exercises, Rehabilitation)) OR (Rehabilitation Exercises)) OR (Exercise)) OR (Exercises)) OR (((((((((((Isotonic Contraction[MeSH Terms]) OR (Isotonic Contraction)) OR (Contraction, Isotonic)) OR (Contractions, Isotonic)) OR (Isotonic Contractions)) OR (Isometric Contraction[MeSH Terms])) OR (Isometric Contraction)) OR (Contraction, Isometric)) OR (Contractions, Isometric)) OR (Isometric Contractions)) OR ((Concentric Exercise) OR (Concentric Exercises) OR (Concentric Training) OR (Concentric Trainings) OR (Eccentric Exercise) OR (Eccentric Exercises) OR (Eccentric Training) OR (Eccentric Trainings) OR (Isometric Training) OR (Isometric Trainings) OR (Isometric Exercise) OR (Isometric Exercises) OR (Isometric Training) OR (Isometric Trainings) OR (Heavy Slow Resistance Training)))) AND (((((((((((anterior cruciate ligament[MeSH Terms]) OR (anterior cruciate ligament injury[MeSH Terms])) OR (anterior cruciate ligament reconstruction[MeSH Terms])) OR (anterior cruciate ligament)) OR (anterior cruciate ligament injury)) OR (anterior cruciate ligament reconstruction)) OR (ACL)) OR (ACL reconstruction)) OR (ACL injury))

	OR (anterior cruciate ligament surgery)) OR (ACL surgery)) OR (anterior cruciate ligament injuries))) AND (((((((((((("randomized controlled trial") OR ("randomised controlled trial")) OR ("randomised controlled study")) OR ("randomized controlled trial")) OR ("randomised controlled clinical trial")) OR ("randomized controlled clinical trial")) OR ("randomized controlled clinical study")) OR ("randomised controlled clinical trial")) OR (RCT)) OR (RCTs)) OR (Random Allocation[MeSH Terms])) OR (Pragmatic Clinical Trials as Topic[MeSH Terms])) OR (Clinical Trials as Topic[MeSH Terms])) OR (Randomized Controlled Trials as Topic[MeSH Terms])) OR (Randomized Controlled Trial[MeSH Terms])) Risultati: 469
PEDro	Anterior cruciate ligament – Filtro: Clinical Trial Risultati: 279
Cochrane	#1: MeSH descriptor: [Anterior Cruciate Ligament] explode all trees #2: MeSH descriptor: [Anterior Cruciate Ligament Injuries] explode all trees #3: MeSH descriptor: [Anterior Cruciate Ligament Reconstruction] explode all trees #4: (anterior cruciate ligament) OR (anterior cruciate ligament injury) OR (anterior cruciate ligament reconstruction) OR (ACL) OR (ACL reconstruction) OR (ACL injury) OR (anterior cruciate ligament surgery) OR (ACL surgery) OR (anterior cruciate ligament injuries) #5: MeSH descriptor: [Plyometric Exercise] explode all trees #6: (Plyometric Exercise) OR (Exercise, Plyometric) OR (Exercises, Plyometric) OR (Plyometric Exercises) OR (Plyometric Drill) OR (Drill, Plyometric) OR (Drills, Plyometric) OR (Plyometric Drills) OR (Plyometric Training) OR (Plyometric Trainings) OR (Training, Plyometric) OR (Trainings, Plyometric) OR (Stretch-Shortening Exercise) OR (Exercise, Stretch-Shortening) OR (Exercises, Stretch-Shortening) OR (Stretch Shortening Exercise) OR (Stretch-Shortening Exercises) OR (Stretch-Shortening Cycle Exercise) OR (Cycle Exercise, Stretch-Shortening) OR (Cycle Exercises, Stretch-Shortening) OR (Exercise, Stretch-Shortening Cycle) OR (Exercises, Stretch-Shortening Cycle) OR (Stretch Shortening Cycle Exercise) OR (Stretch-Shortening Cycle Exercises) OR (Stretch-Shortening Drill) OR (Drill, Stretch-Shortening) OR (Drills, Stretch-Shortening) OR (Stretch Shortening Drill) OR (Stretch-Shortening Drills) OR (Jump Training) OR (Jump Trainings) OR (Jump Exercise) OR (Jump Exercises) OR (Landing Training) OR (Landing Trainings) OR (Landing Exercise) OR (Landing Exercises) #7: MeSH descriptor: [Resistance Training] explode all trees #8: (Resistance Training) OR (Training, Resistance) OR (Strength Training) OR (Training, Strength) OR (Weight-Lifting Strengthening Program) OR (Strengthening Program, Weight-Lifting) OR (Strengthening Programs, Weight-Lifting) OR (Weight Lifting Strengthening Program) OR (Weight-Lifting Strengthening Programs) OR (Weight-Lifting Exercise Program) OR (Exercise Program, Weight-Lifting) OR (Exercise Programs, Weight-Lifting) OR (Weight Lifting Exercise Program) OR (Weight-Lifting Exercise Programs) OR (Weight-Bearing Strengthening Program) OR (Strengthening Program, Weight-Bearing) OR (Strengthening Programs, Weight-Bearing) OR (Weight-Bearing Strengthening Program) OR (Weight-Bearing Strengthening Programs) OR (Weight-Bearing Exercise Program) OR (Exercise Program, Weight-Bearing) OR (Exercise Programs, Weight-Bearing) OR (Weight Bearing Exercise Program) OR (Weight-Bearing Exercise Programs) OR (Resistance Program) OR (Resistance Programs) OR (Resistance Exercise) OR (Resistance Exercises) OR (Strength Exercise) OR (Strength Exercises) OR (Strengthening Training) OR (Strengthening Trainings) OR (Strengthening Exercise) OR (Strengthening Exercises) OR (Strengthening Program) OR (Strengthening Programs) OR (High Intensity Training) OR (High Intensity Trainings) #9: MeSH descriptor: [Exercise Therapy] explode all trees #10: (Exercise Therapy) OR (Remedial Exercise) OR (Exercise, Remedial) OR (Exercises, Remedial) OR (Remedial Exercises) OR (Therapy, Exercise) OR (Exercise Therapies) OR (Therapies, Exercise) OR (Rehabilitation Exercise) OR (Exercise, Rehabilitation) OR (Exercises, Rehabilitation) OR (Rehabilitation Exercises) OR (Exercise) OR (Exercises) #11: MeSH descriptor: [Isotonic Contraction] explode all trees #12: MeSH descriptor: [Isometric Contraction] explode all trees #13: (Isotonic Contraction) OR (Contraction, Isotonic) OR (Contractions, Isotonic) OR (Isotonic Contractions) OR (Isometric Contraction) OR (Contraction, Isometric) OR (Contractions, Isometric) OR (Isometric Contractions) OR (Concentric Exercise) OR (Concentric Exercises) OR (Concentric Training) OR (Concentric Trainings) OR (Eccentric Exercise) OR (Eccentric Exercises) OR (Eccentric Training) OR (Eccentric Trainings) OR (Isometric Training) OR (Isometric Trainings) OR (Isometric Exercise) OR (Isometric

	Exercises) OR (Isometric Training) OR (Isometric Trainings) OR (Heavy Slow Resistance Training) #14: (Neuromuscular Training) OR (Neuromuscular Trainings) OR (Neuromuscular Exercise) OR (Neuromuscular Exercises) OR (Neuromuscular Retraining) OR (Balance Training) OR (Balance Trainings) OR (Balance Exercise) OR (Balance Exercises) OR (Stability Training) OR (Stability Trainings) OR (Proprioceptive Training) OR (Proprioceptive Trainings) OR (Proprioceptive Exercise) OR (Proprioceptive Exercises) OR (Neuromuscular Control Exercise) OR (Neuromuscular Control Exercises) OR (Sensorimotor Training) OR (Sensorimotor Exercise) OR (Sensorimotor Exercises) #15: MeSH descriptor: [Randomized Controlled Trial] explode all trees #16: MeSH descriptor: [Randomized Controlled Trials as Topic] explode all trees #17: MeSH descriptor: [Random Allocation] explode all trees #18: MeSH descriptor: [Clinical Trial] explode all trees #19: MeSH descriptor: [Clinical Trials as Topic] explode all trees #20: MeSH descriptor: [Pragmatic Clinical Trials as Topic] explode all trees #21: ("randomized controlled trial") OR ("randomised controlled trial") OR ("randomised controlled study") OR ("randomized controlled trial") OR ("randomised controlled clinical trial") OR ("randomized controlled clinical trial") OR ("randomized controlled clinical study") OR ("randomised controlled clinical trial") OR (RCT) OR (RCTs) #22: (#1 or #2 or #3 or #4) AND (#5 or #6 or #7 or #8 or #9 or #10 or #11 or #12 or #13 or #14) AND (#15 or #16 or #17 or #18 or #19 or #20 or #21) Resultati: 442 – 416 trials
Scopus	(TITLE-ABS-KEY((anterior cruciate ligament) OR (anterior cruciate ligament injury) OR (anterior cruciate ligament reconstruction) OR (ACL) OR (ACL reconstruction) OR (ACL injury) OR (anterior cruciate ligament surgery) OR (ACL surgery) OR (anterior cruciate ligament injuries)) AND TITLE-ABS-KEY((Plyometric Exercise) OR (Exercise, Plyometric) OR (Exercises, Plyometric) OR (Plyometric Exercises) OR (Plyometric Drill) OR (Drill, Plyometric) OR (Drills, Plyometric) OR (Plyometric Drills) OR (Plyometric Training) OR (Plyometric Trainings) OR (Training, Plyometric) OR (Trainings, Plyometric) OR (Stretch-Shortening Exercise) OR (Exercise, Stretch-Shortening) OR (Exercises, Stretch-Shortening) OR (Stretch Shortening Exercise) OR (Stretch-Shortening Exercises) OR (Stretch-Shortening Cycle Exercise) OR (Cycle Exercise, Stretch-Shortening) OR (Cycle Exercises, Stretch-Shortening) OR (Exercise, Stretch-Shortening Cycle) OR (Exercises, Stretch-Shortening Cycle) OR (Stretch Shortening Cycle Exercise) OR (Stretch-Shortening Cycle Exercises) OR (Stretch-Shortening Drill) OR (Drill, Stretch-Shortening) OR (Drills, Stretch-Shortening) OR (Stretch Shortening Drill) OR (Stretch-Shortening Drills) OR (Jump Training) OR (Jump Trainings) OR (Jump Exercise) OR (Jump Exercises) OR (Landing Training) OR (Landing Trainings) OR (Landing Exercise) OR (Landing Exercises) OR (Resistance Training) OR (Training, Resistance) OR (Strength Training) OR (Training, Strength) OR (Weight-Lifting Strengthening Program) OR (Strengthening Program, Weight-Lifting) OR (Strengthening Programs, Weight-Lifting) OR (Weight Lifting Strengthening Program) OR (Weight-Lifting Strengthening Programs) OR (Weight-Lifting Exercise Program) OR (Exercise Program, Weight-Lifting) OR (Exercise Programs, Weight-Lifting) OR (Weight Lifting Exercise Program) OR (Weight-Lifting Exercise Programs) OR (Weight-Bearing Strengthening Program) OR (Strengthening Program, Weight-Bearing) OR (Strengthening Programs, Weight-Bearing) OR (Weight Bearing Strengthening Program) OR (Weight-Bearing Strengthening Programs) OR (Weight-Bearing Exercise Program) OR (Exercise Program, Weight-Bearing) OR (Exercise Programs, Weight-Bearing) OR (Weight Bearing Exercise Program) OR (Weight-Bearing Exercise Programs) OR (Resistance Program) OR (Resistance Programs) OR (Resistance Exercise) OR (Resistance Exercises) OR (Strength Exercise) OR (Strength Exercises) OR (Strengthening Training) OR (Strengthening Trainings) OR (Strengthening Exercise) OR (Strengthening Exercises) OR (Strengthening Program) OR (Strengthening Programs) OR (High Intensity Training) OR (High Intensity Trainings) OR (Exercise Therapy) OR (Remedial Exercise) OR (Exercise, Remedial) OR (Exercises, Remedial) OR (Remedial Exercises) OR (Therapy, Exercise) OR (Exercise Therapies) OR (Therapies, Exercise) OR (Rehabilitation Exercise) OR (Exercise, Rehabilitation) OR (Exercises, Rehabilitation) OR (Rehabilitation Exercises) OR (Exercise) OR (Exercises) OR (Isotonic Contraction) OR (Contraction, Isotonic) OR (Contractions, Isotonic) OR (Isotonic Contractions) OR (Isometric Contraction) OR (Contraction, Isometric) OR (Contractions, Isometric) OR (Isometric Contractions) OR (Concentric Exercise) OR (Concentric Exercises) OR (Concentric Training) OR (Concentric Trainings) OR (Eccentric Exercise) OR (Eccentric Exercises) OR (Eccentric

	Training) OR (Eccentric Trainings) OR (Isometric Training) OR (Isometric Trainings) OR (Isometric Exercise) OR (Isometric Exercises) OR (Isometric Training) OR (Isometric Trainings) OR (Heavy Slow Resistance Training) OR (Neuromuscular Training) OR (Neuromuscular Trainings) OR (Neuromuscular Exercise) OR (Neuromuscular Exercises) OR (Neuromuscular Retraining) OR (Balance Training) OR (Balance Trainings) OR (Balance Exercise) OR (Balance Exercises) OR (Stability Training) OR (Stability Trainings) OR (Proprioceptive Training) OR (Proprioceptive Trainings) OR (Proprioceptive Exercise) OR (Proprioceptive Exercises) OR (Neuromuscular Control Exercise) OR (Neuromuscular Control Exercises) OR (Sensorimotor Training) OR (Sensorimotor Exercise) OR (Sensorimotor Exercises)) AND TITLE-ABS-KEY: ("randomized controlled trial") OR ("randomised controlled trial") OR ("randomised controlled study") OR ("randomized controlled trial") OR ("randomised controlled clinical trial") OR ("randomized controlled clinical trial") OR ("randomized controlled clinical study") OR ("randomised controlled clinical trial") OR (RCT) OR (RCTs))) Risultati: 481
CINAHL	S1: (MH "Anterior Cruciate Ligament") OR "anterior cruciate ligament" OR (MH "Anterior Cruciate Ligament Injuries") OR (MH "Anterior Cruciate Ligament Reconstruction") OR (anterior cruciate ligament injury) OR (anterior cruciate ligament reconstruction) OR (ACL) OR (ACL reconstruction) OR (ACL injury) OR (anterior cruciate ligament surgery) OR (ACL surgery) OR (anterior cruciate ligament injuries) S2: (MH "Plyometrics") OR "plyometric exercise" OR (Exercise, Plyometric) OR (Exercises, Plyometric) OR (Plyometric Exercises) OR (Plyometric Drill) OR (Drill, Plyometric) OR (Drills, Plyometric) OR (Plyometric Drills) OR (Plyometric Training) OR (Plyometric Trainings) OR (Training, Plyometric) OR (Trainings, Plyometric) OR (Stretch- Shortening Exercise) OR (Exercise, Stretch- Shortening) OR (Exercises, Stretch- Shortening) OR (Stretch Shortening Exercise) OR (Stretch-Shortening Exercises) OR (Stretch-Shortening Cycle Exercise) OR (Cycle Exercise, Stretch-Shortening) OR (Cycle Exercises, Stretch-Shortening) OR (Exercise, Stretch-Shortening Cycle) OR (Exercises, Stretch-Shortening Cycle) OR (Stretch Shortening Cycle Exercise) OR (Stretch-Shortening Cycle Exercises) OR (Stretch-Shortening Drill) OR (Drill, Stretch- Shortening) OR (Drills, Stretch-Shortening) OR (Stretch Shortening Drill) OR (Stretch- Shortening Drills) OR (Jump Training) OR (Jump Trainings) OR (Jump Exercise) OR (Jump Exercises) OR (Landing Training) OR (Landing Trainings) OR (Landing Exercise) OR (Landing Exercises) S3: (MH "Resistance Training") OR Resistance Training) OR (Training, Resistance) OR (Strength Training) OR (Training, Strength) OR (Weight-Lifting Strengthening Program) OR (Strengthening Program, Weight-Lifting) OR (Strengthening Programs, Weight-Lifting) OR (Weight Lifting Strengthening Program) OR (Weight-Lifting Strengthening Programs) OR (Weight-Lifting Exercise Program) OR (Exercise Program, Weight-Lifting) OR (Exercise Programs, Weight-Lifting) OR (Weight Lifting Exercise Program) OR (Weight-Lifting Exercise Programs) OR (Weight-Bearing Strengthening Program) OR (Strengthening Program, Weight-Bearing) OR (Strengthening Programs, Weight-Bearing) OR (Weight Bearing Strengthening Program) OR (Weight-Bearing Strengthening Programs) OR (Weight-Bearing Exercise Program) OR (Exercise Program, Weight- Bearing) OR (Exercise Programs, Weight-Bearing) OR (Weight Bearing Exercise Program) OR (Weight-Bearing Exercise Programs) OR (Resistance Program) OR (Resistance Programs) OR (Resistance Exercise) OR (Resistance Exercises) OR (Strength Exercise) OR (Strength Exercises) OR (Strengthening Training) OR (Strengthening Trainings) OR (Strengthening Exercise) OR (Strengthening Exercises) OR (Strengthening Program) OR (Strengthening Programs) OR (High Intensity Training) OR (High Intensity Trainings) S4: (MH "Therapeutic Exercise+") OR (Exercise Therapy)) OR (Remedial Exercise)) OR (Exercise, Remedial)) OR (Exercises, Remedial)) OR (Remedial Exercises)) OR (Therapy, Exercise)) OR (Exercise Therapies)) OR (Therapies, Exercise)) OR (Rehabilitation Exercise)) OR (Exercise, Rehabilitation)) OR (Exercises, Rehabilitation)) OR (Rehabilitation Exercises)) OR (Exercise)) OR (Exercises) S5: (MH "Isometric Exercises") OR (MH "Isotonic Exercises") OR (Isotonic Contraction) OR (Contraction, Isotonic) OR (Contractions, Isotonic) OR (Isotonic Contractions) OR (Isometric Contraction) OR (Contraction, Isometric) OR (Contractions, Isometric) OR (Isometric Contractions) OR (Concentric Exercise) OR (Concentric Exercises) OR (Concentric Training) OR (Concentric Trainings) OR (Eccentric Exercise) OR (Eccentric Exercises) OR (Eccentric Training) OR (Eccentric Trainings) OR (Isometric Training) OR (Isometric Trainings) OR

	(Isometric Exercise) OR (Isometric Exercises) OR (Isometric Training) OR (Isometric Trainings) OR (Heavy Slow Resistance Training) S6: (MH "Neuromuscular Facilitation") OR (Neuromuscular Training) OR (Neuromuscular Trainings) OR (Neuromuscular Exercise) OR (Neuromuscular Exercises) OR (Neuromuscular Retraining) OR (Balance Training) OR (Balance Trainings) OR (Balance Exercise) OR (Balance Exercises) OR (Stability Training) OR (Stability Trainings) OR (Proprioceptive Training) OR (Proprioceptive Trainings) OR (Proprioceptive Exercise) OR (Proprioceptive Exercises) OR (Neuromuscular Control Exercise) OR (Neuromuscular Control Exercises) OR (Sensorimotor Training) OR (Sensorimotor Exercise) OR (Sensorimotor Exercises) S7: (MH "Randomized Controlled Trials+") OR (MH "Clinical Trials+") OR "randomized controlled trial" OR ("randomized controlled trial") OR ("randomised controlled trial") OR ("randomised controlled study") OR ("randomized controlled trial") OR ("randomised controlled clinical trial") OR ("randomized controlled clinical trial") OR ("randomised controlled clinical study") OR ("randomised controlled clinical trial") OR (RCT) OR (RCTs) Stringa finale: ((S1) AND (S2 OR S3 OR S4 OR S5 OR S6)) AND (S7) Risultati: 292
TOTALE ARTICOLI	1937

Appendice 2: valutazione del rischio di bias (ROB 2.0)

Dominio 1: rischio di bias derivante dal processo di randomizzazione

DOMINIO 1	1.1 La sequenza di allocazione è stata casuale?	1.2 La sequenza di allocazione è stata nascosta fino a quando i pazienti sono stati inseriti nei vari gruppi?	1.3: le differenze alla baseline hanno determinato un problema nella randomizzazione?	Rischio di bias complessivo
Elias, 2018	✓	✓	✗	Basso
Chmielewski, 2016	✓	✗	✗	Alto
Cooper, 2014	✓	✓	✓	Incerto
Mohammadi, 2022	✓	✗	✗	Alto
Ghaderi, 2021	✓	✓	✗	Basso
Khalid, 2022	✓	✓	✗	Basso
Risberg, 2007	✓	✓	✗	Basso
Risberg, 2009	✓	✓	✗	basso
Liu-Ambrose, 2017	✓	✗	✓	Alto
Kaya, 2019	✓	✓	✗	Basso
Arundale, 2017	✓	✓	✗	Basso
Capin, 2019	✓	✓	✗	Basso
Perry, 2005	✓	✗	✗	Alto
Shaw, 2005	✓	✓	✗	Basso
Gerber, 2007	✓	✓	✗	Basso
Gerber, 2009	✓	✗	✓	Alto
Souissi, 2011	✓	✗	✓	Alto
Vidmar, 2020	✓	✓	✓	Basso
Fukuda, 2013	✓	✓	✓	Basso
Kinikli, 2014	✓	✓	✓	Basso
Bieler, 2014	✓	✗	✓	Alto
Oliveira, 2022	✓	✓	✓	Basso
Minshull, 2021	✓	✓	✓	Basso
Harput, 2019	✓	✓	✓	Basso
Shaarani, 2013	✓	✓	✓	Basso
Kim, 2015	✓	✗	✓	Alto
Cristiani, 2021	✓	✓	✓	Basso
Patterson, 2021	✓	✓	✗	Incerto
Ebert, 2022	✓	✓	✓	Basso
Labanca, 2022	✓	✗	✓	Alto
Legenda: ✓: Sì/probabilmente sì; ✗ No/probabilmente no; NI: nessuna informazione				

Dominio 2: rischio di bias causati da variazioni degli interventi previsti (effetto dell'assegnazione dell'intervento)

DOMINIO 2	2.1: i pazienti erano a conoscenza del trattamento a loro indicato?	2.2 I caregiver che erogavano i trattamenti erano a conoscenza del trattamento indicato ai partecipanti?	2.3: se V/Ni alla 2.1 o 2.2: ci sono state modifiche nel trattamento rispetto a quello previsto?	2.4: se V/Ni alla 2.3: è probabile che queste variazioni abbiano influito sui risultati	2.5: se V/Ni alla 2.4: queste variazioni sono state equilibrate tra i due gruppi?	2.6: è stata effettuata un'analisi appropriata per stimare l'effetto dell'assegnazione all'intervento?	2.7: Se X/Ni alla 2.6: c'era il potenziale per un impatto sostanziale sul risultato per la mancata analisi dei partecipanti al gruppo a cui erano stati randomizzati?	Rischio di bias complessivo
Elias, 2018	✗	✗	-	-	-	✓	-	Basso
Chmielewski, 2016	✗	✗	-	-	-	✓	-	Basso
Cooper, 2014	✓	✓	✗	-	-	✗	✗	Incerto
Mohammadi, 2022	✓	✓	✗	-	-	✗	✗	Incerto
Ghaderi, 2021	✓	✓	✗	-	-	✓	-	Basso
Khalid, 2022	✓	✓	✗	-	-	✓	-	Basso
Risberg, 2007	✗	✓	✗	-	-	✗	✗	Alto
Risberg, 2009	✗	✓	✗	-	-	✓	-	Basso
Liu-Ambrose, 2017	✓	✓	✗	-	-	✗	✗	incerto
Kaya, 2019	✓	✗	✗	-	-	✗	✗	incerto
Arundale, 2017	✓	✗	✗	-	-	✗	✗	incerto
Capin, 2019	✓	✓	✗	-	-	✗	✗	incerto
Perry, 2005	✓	✓	✗	-	-	✓	-	Basso
Shaw, 2005	✓	✓	✗	-	-	✓	-	Basso
Gerber, 2007	✓	✓	✗	-	-	✗	✗	incerto
Gerber, 2009	✓	✓	✗	-	-	✓	-	Basso
Souissi, 2011	✓	✓	✗	-	-	✗	✗	incerto
Vidmar, 2020	✓	✓	✗	-	-	✗	✗	incerto
Fukuda, 2013	✓	✓	✗	-	-	✓	-	Basso
Kinikli, 2014	✗	✓	✗	-	-	✗	✓	incerto
Bieler, 2014	✓	✓	✗	-	-	✗	✓	incerto
Oliveira, 2022	✓	✓	✗	-	-	✗	✓	incerto
Minshull, 2021	✓	✓	✗	-	-	✗	✓	incerto
Harput, 2019	✗	✓	✗	-	-	✗	✗	incerto
Shaarani, 2013	✓	✓	✗	-	-	✗	✓	incerto
Kim, 2015	✓	✓	✗	-	-	✗	✗	incerto
Cristiani, 2021	✓	✓	✗	-	-	✗	✗	incerto
Patterson, 2021	✗	✓	✗	-	-	✗	✓	incerto
Ebert, 2022	✓	✓	✗	-	-	✓	-	Basso
Labanca, 2022	✓	✓	✗	-	-	✗	✓	incerto
Legenda: ✓: Si/probabilmente sì; ✗ No/probabilmente no; NI: nessuna informazione								

Dominio 3: Rischio di bias dovuto alla mancanza di dati degli outcome

DOMINIO 3	3.1: i dati per questo risultato erano disponibili per tutti o quasi tutti i partecipanti randomizzati?	3.2: Se X/Ni alla 3.1: c'è evidenza del fatto che i dati non sono stati modificati dalla mancanza di dati degli outcome?	3.3: Se X/Ni alla 3.2: la mancanza del risultato potrebbe dipendere dal suo vero valore?	3.4: se V/Ni alla 3.3: è probabile che la mancanza del risultato dipendesse dal suo vero valore?	Rischio di bias complessivo
Elias, 2018	✓	-	-	-	Basso
Chmielewski, 2016	✓	-	-	-	Basso
Cooper, 2014	✓	-	-	-	Basso
Mohammadi, 2022	✓	-	-	-	Basso
Ghaderi, 2021	✓	-	-	-	Basso
Khalid, 2022	✓	-	-	-	Basso
Risberg, 2007	✓	-	-	-	Basso
Risberg, 2009	✓	-	-	-	Basso
Liu-Ambrose, 2017	✓	-	-	-	Basso
Kaya, 2019	✗	✗	✗	-	Basso
Arundale, 2017	✓	-	-	-	Basso
Capin, 2019	✓	-	-	-	Basso
Perry, 2005	✓	-	-	-	Basso
Shaw, 2005	✗	✓	-	-	Basso
Gerber, 2007	✓	-	-	-	Basso
Gerber, 2009	✗	✗	✗	-	Basso
Souissi, 2011	✓	-	-	-	Basso
Vidmar, 2020	✓	-	-	-	Basso
Fukuda, 2013	✗	✓	-	-	Basso
Kinikli, 2014	✗	✗	✗	-	basso
Bieler, 2014	✗	✗	✗	-	basso
Oliveira, 2022	✗	✓	-	-	Basso
Minshull, 2021	✗	✗	✗	-	Basso
Harput, 2019	✓	-	-	-	Basso
Shaarani, 2013	✗	✗	✗	-	Basso
Kim, 2015	✓	-	-	-	Basso
Cristiani, 2021	✗	✗	✗	-	Basso
Patterson, 2021	✗	✓	-	-	Basso
Ebert, 2022	✓	-	-	-	Basso
Labanca, 2022	✗	✗	✗	-	Basso
Legenda: ✓: Sì/probabilmente sì; ✗ No/probabilmente no; NI: nessuna informazione					

Dominio 4: Rischio di bias dovuto alla misurazione degli outcome

DOMINIO 4	4.1: il metodo di misurazione del risultato è stato inappropriato?	4.2: la misurazione o l'accertamento del risultato potrebbero differire tra i gruppi di intervento?	4.3: se X/Ni alla 4.1 e 4.2: i valutatori del risultato erano a conoscenza dell'intervento ricevuto dai partecipanti allo studio?	4.4: se V/Ni alla 4.3: la valutazione del risultato potrebbe essere influenzata dalla conoscenza dell'intervento ricevuto?	4.5: Se V/Ni alla 4.4: è probabile che la valutazione del risultato sia stata influenzata dalla conoscenza dell'intervento ricevuto	Rischio di bias complessivo
Elias, 2018	X	X	X	-	-	Basso
Chmielewski, 2016	X	X	X	-	-	Basso
Cooper, 2014	X	X	X	-	-	Basso
Mohammadi, 2022	X	X	✓	✓	X	Basso
Ghaderi, 2021	X	X	✓	X	-	basso
Khalid, 2022	X	X	X	-	-	Basso
Risberg, 2007	X	X	X	-	-	Basso
Risberg, 2009	X	X	✓	✓	X	Basso
Liu-Ambrose, 2017	X	X	✓	X	-	Basso
Kaya, 2019	X	X	X	-	-	Basso
Arundale, 2017	X	X	X	-	-	Basso
Capin, 2019	X	X	X	-	-	Basso
Perry, 2005	X	X	X	-	-	Basso
Shaw, 2005	X	X	X	-	-	Basso
Gerber, 2007	X	X	NI	X	-	basso
Gerber, 2009	X	X	✓	✓	X	Basso
Souissi, 2011	X	X	X	-	-	Basso
Vidmar, 2020	X	X	X	-	-	Basso
Fukuda, 2013	X	X	X	-	-	Basso
Kinikli, 2014	X	X	✓	X	-	Basso
Bieler, 2014	X	X	X	-	-	Basso
Oliveira, 2022	X	X	X	-	-	Basso
Minshull, 2021	X	X	X	-	-	Basso
Harput, 2019	X	X	X	-	-	Basso
Shaarani, 2013	X	X	✓	X	-	Basso
Kim, 2015	X	X	✓	X	-	Basso
Cristiani, 2021	X	X	✓	X	-	Basso
Patterson, 2021	X	X	X	-	-	Basso
Ebert, 2022	X	X	X	-	-	Basso
Labanca, 2022	X	X	X	-	-	Basso
Legenda: ✓: Sì/probabilmente sì; X No/probabilmente no; NI: nessuna informazione						

Dominio 5: Rischio di bias nella selezione del risultato riportato

DOMINIO 5	5.1: 5.1 I dati che hanno prodotto questo risultato sono stati analizzati in conformità con un piano di analisi pre-specificato che è stato finalizzato prima che i dati sugli esiti non in cieco fossero disponibili per l'analisi?	È probabile che il risultato numerico oggetto di valutazione sia stato selezionato sulla base dei risultati, da...	5.2: ...più misure di risultato ammissibili (ad esempio scale, definizioni, punti temporali) all'interno del dominio dei risultati?	5.3: ...più analisi ammissibili dei dati?	Rischio di bias complessivo
Elias, 2018	✓		✗	✗	Basso
Chmielewski, 2016	✓		✗	✗	Basso
Cooper, 2014	✓		✗	✗	Basso
Mohammadi, 2022	✓		✗	✗	basso
Ghaderi, 2021	✓		✗	✗	Basso
Khalid, 2022	✓		✗	✗	Basso
Risberg, 2007	✓		✗	✗	Basso
Risberg, 2009	✓		✗	✗	Basso
Liu-Ambrose, 2017	✓		✗	✗	Basso
Kaya, 2019	✓		✗	✗	Basso
Arundale, 2017	✓		✗	✗	Basso
Capin, 2019	✓		✗	✗	Basso
Perry, 2005	✓		✗	✗	Basso
Shaw, 2005	✓		✗	✗	Basso
Gerber, 2007	✓		✗	✗	Basso
Gerber, 2009	✓		✗	✗	Basso
Souissi, 2011	✓		✗	✗	Basso
Vidmar, 2020	✓		✗	✗	Basso
Fukuda, 2013	✓		✗	✗	Basso
Kinikli, 2014	✓		✗	✗	Basso
Bieler, 2014	✓		✗	✗	Basso
Oliveira, 2022	✓		✗	✗	Basso
Minshull, 2021	✓		✗	✗	Basso
Harput, 2019	✓		✗	✗	Basso
Shaarani, 2013	✓		✗	✗	Basso
Kim, 2015	✓		✗	✗	Basso
Cristiani, 2021	✓		✗	✗	Basso
Patterson, 2021	✓		✗	✗	Basso
Ebert, 2022	✓		✗	✗	Basso
Labanca, 2022	✓		✗	✗	Basso
Legenda: ✓: Si/probabilmente sì; ✗ No/probabilmente no; NI: nessuna informazione					

BIBLIOGRAFIA

1. Jenkins, S. M. *et al.* Rehabilitation After Anterior Cruciate Ligament Injury: Review of Current Literature and Recommendations. *Curr Rev Musculoskelet Med* 15, 170–179 (2022).
2. Duthon, V. B. *et al.* Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 14, 204–213 (2006).
3. Acevedo, R. J., Rivera-Vega, A., Miranda, G. & Micheo, W. Anterior Cruciate Ligament Injury: Identification of Risk Factors and Prevention Strategies. 13, 6 (2014).
4. Montalvo, A. M. *et al.* Anterior Cruciate Ligament Injury Risk in Sport: A Systematic Review and Meta-Analysis of Injury Incidence by Sex and Sport Classification. *Journal of Athletic Training* 54, 472–482 (2019).
5. Kaeding, C. C., Léger-St-Jean, B. & Magnussen, R. A. Epidemiology and Diagnosis of Anterior Cruciate Ligament Injuries. *Clinics in Sports Medicine* 36, 1–8 (2017).
6. Montalvo, A. M. *et al.* “What’s my risk of sustaining an ACL injury while playing sports?” A systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med* 53, 1003–1012 (2019).
7. Della Villa, F. *et al.* Systematic video analysis of ACL injuries in professional male football (soccer): injury mechanisms, situational patterns and biomechanics study on 134 consecutive cases. *Br J Sports Med* 54, 1423–1432 (2020).
8. Della Villa, F. *et al.* Systematic Video Analysis of Anterior Cruciate Ligament Injuries in Professional Male Rugby Players: Pattern, Injury Mechanism, and Biomechanics in 57 Consecutive Cases. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine* 9, 232596712110481 (2021).
9. Waldén, M. *et al.* Three distinct mechanisms predominate in non-contact anterior cruciate ligament injuries in male professional football players: a systematic video analysis of 39 cases. *Br J Sports Med* 49, 1452–1460 (2015).
10. Song, Y. *et al.* Indirect contact matters: Mid-flight external trunk perturbation increased unilateral anterior cruciate ligament loading variables during jump-landings. *Journal of Sport and Health Science* S2095254622001193 (2022).
11. Griffin, L. Y. *et al.* Understanding and Preventing Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries: A Review of the Hunt Valley II Meeting, January 2005. *Am J Sports Med* 34, 1512–1532 (2006).
12. Pfeifer, C. E., Beattie, P. F., Sacko, R. S. & Hand, A. Risk factors associated with non-contact anterior cruciate ligament injury: a systematic review. *Intl J Sports Phys Ther* 13, 575–587 (2018).
13. Buckthorpe, M. Optimising the Late-Stage Rehabilitation and Return-to-Sport Training and Testing Process After ACL Reconstruction. *Sports Med* 49, 1043–1058 (2019).

14. Kaplan, Y. & Witvrouw, E. When Is It Safe to Return to Sport After ACL Reconstruction? Reviewing the Criteria. *Sports Health* 11, 301–305 (2019).
15. Liew, B. X. W., Feller, J. A. & Webster, K. E. Understanding the psychological mechanisms of return to sports readiness after anterior cruciate ligament reconstruction. *PLoS ONE* 17, e0266029 (2022).
16. Tortoli, E., Francini, L., Giovannico, G. & Ramponi, C. Translation, cross-cultural adaptation and validation of the Italian version of the anterior cruciate ligament-return to sport after injury (ACL-RSI) scale. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 30, 1180–1186 (2020).
17. Kotsifaki, A. *et al.* Single leg vertical jump performance identifies knee function deficits at return to sport after ACL reconstruction in male athletes. *Br J Sports Med* 56, 490–498 (2022).
18. Fields, K. B., Bloom, O. J., Priebe, D. & Foreman, B. Basic Biomechanics of the Lower Extremity. *Primary Care: Clinics in Office Practice* 32, 245–251 (2005).
19. Mackala, K., Stodółka, J., Siemienski, A. & Čoh, M. Biomechanical Analysis of Squat Jump and Countermovement Jump From Varying Starting Positions. *Journal of Strength and Conditioning Research* 27, 2650–2661 (2013).
20. Baus, J., Harry, J. R. & Yang, J. Jump and Landing Biomechanical Variables and Methods: A Literature Review. *Crit Rev Biomed Eng* 48, 211–222 (2020).
21. Granacher, U. *et al.* Effects of Resistance Training in Youth Athletes on Muscular Fitness and Athletic Performance: A Conceptual Model for Long-Term Athlete Development. *Front. Physiol.* 7, (2016).
22. Stojanović, E., Ristić, V., McMaster, D. T. & Milanović, Z. Effect of Plyometric Training on Vertical Jump Performance in Female Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* 47, 975–986 (2017).
23. Khelifa, R. *et al.* Effects of a Plyometric Training Program With and Without Added Load on Jumping Ability in Basketball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 24, 2955–2961 (2010).
24. Makaruk, H., Starzak, M., Suchecki, B., Czaplicki, M. & Stojiljković, N. The Effects of Assisted and Resisted Plyometric Training Programs on Vertical Jump Performance in Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. 11.
25. Pardos-Mainer, E., Lozano, D., Torrontegui-Duarte, M., Cartón-Llorente, A. & Roso-Moliner, A. Effects of Strength vs. Plyometric Training Programs on Vertical Jumping, Linear Sprint and Change of Direction Speed Performance in Female Soccer Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. *IJERPH* 18, 401 (2021).
26. Rago, V. *et al.* Countermovement Jump Analysis Using Different Portable Devices:

Implications for Field Testing. *Sports* 6, 91 (2018).

27. Linthorne, N. P. Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics* 69, 1198–1204 (2001).
28. Choukou, M. A., Laffaye, G. & Taiar, R. Reliability and validity of an accelerometric system for assessing vertical jumping performance. *Biol Sport* 31, 55–62 (2014).
29. Haynes, T., Bishop, C., Antrobus, M. & Brazier, J. The validity and reliability of the My Jump 2 app for measuring the reactive strength index and drop jump performance. *J Sports Med Phys Fitness* 59, (2019).
30. Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J. & Altman, D. G. Linee guida per il reporting di revisioni sistematiche e meta-analisi: il PRISMA Statement. *OPEN ACCESS* 7, 8 (2015).
31. Elias, A. R. C., Harris, K. J., LaStayo, P. C. & Mizner, R. L. Clinical Efficacy of Jump Training Augmented With Body Weight Support After ACL Reconstruction: A Randomized Controlled Trial. *Am J Sports Med* 46, 1650–1660 (2018).
32. Chmielewski, T. L. *et al.* Low- Versus High-Intensity Plyometric Exercise During Rehabilitation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med* 44, 609–617 (2016).
33. Cooper, R. L., Taylor, N. F. & Feller, J. A. A Randomised Controlled Trial of Proprioceptive and Balance Training after Surgical Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament. *Research in Sports Medicine* 13, 217–230 (2005).
34. Khalid, K., Anwar, N., Saqulain, G. & Afzal, M. F. Neuromuscular Training following Anterior Cruciate Ligament reconstruction – Pain, Function, Strength, Power & Quality of Life Perspective: A Randomized Control Trial. *Pak J Med Sci* 38, (2022).
35. Kaya, D., Guney-Deniz, H., Sayaca, C., Calik, M. & Doral, M. N. Effects on Lower Extremity Neuromuscular Control Exercises on Knee Proprioception, Muscle Strength, and Functional Level in Patients with ACL Reconstruction. *BioMed Research International* 2019, 1–7 (2019).
36. Liu-Ambrose, T., Taunton, J. E., MacIntyre, D., McConkey, P. & Khan, K. M. The effects of proprioceptive or strength training on the neuromuscular function of the ACL reconstructed knee: a randomized clinical trial: Two types of training after ACL reconstruction. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 13, 115–123 (2003).
37. Risberg, M. A., Holm, I., Myklebust, G. & Engebretsen, L. Neuromuscular Training Versus Strength Training During First 6 Months After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Randomized Clinical Trial. *Physical Therapy* 87, 737–750 (2007).
38. Ghaderi, M., Letafatkar, A., Thomas, A. C. & Keyhani, S. Effects of a neuromuscular training program using external focus attention cues in male athletes with anterior cruciate ligament

- reconstruction: a randomized clinical trial. *BMC Sports Sci Med Rehabil* 13, 49 (2021).
39. Fallah Mohammadi, M. *et al.* Does core stability training improve hopping performance and kinetic asymmetries during single-leg landing in anterior cruciate ligament reconstructed patients? *Research in Sports Medicine* 1–11 (2022).
 40. Oliveira, M. *et al.* Unilateral Versus Bilateral Resistance Exercise in Postoperative Rehabilitation After ACL Reconstruction With Bone–Patellar Tendon–Bone Graft: A Randomized Controlled Trial. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine* 10, 232596712210888 (2022).
 41. Bieler, T. *et al.* The Effects of High-Intensity versus Low-Intensity Resistance Training on Leg Extensor Power and Recovery of Knee Function after ACL-Reconstruction. *BioMed Research International* 2014, 1–11 (2014).
 42. Kinikli, G. I. The effect of progressive eccentric and concentric training on functional performance after autogenous hamstring anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled study. *Acta Orthop Traumatol Turc* 48, 283–289 (2014).
 43. Vidmar, M. F. *et al.* Isokinetic eccentric training is more effective than constant load eccentric training for quadriceps rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial. *Brazilian Journal of Physical Therapy* 24, 424–432 (2020).
 44. Gerber, J. P. *et al.* Safety, Feasibility, and Efficacy of Negative Work Exercise Via Eccentric Muscle Activity Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 37, 10–18 (2007).
 45. Gerber, J. P. *et al.* Effects of Early Progressive Eccentric Exercise on Muscle Size and Function After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A 1-Year Follow-up Study of a Randomized Clinical Trial. *Physical Therapy* 89, 51–59 (2009).
 46. Fukuda, T. Y. *et al.* Open Kinetic Chain Exercises in a Restricted Range of Motion After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Randomized Controlled Clinical Trial. *Am J Sports Med* 41, 788–794 (2013).
 47. Perry, M. C., Morrissey, M. C., King, J. B., Morrissey, D. & Earnshaw, P. Effects of closed versus open kinetic chain knee extensor resistance training on knee laxity and leg function in patients during the 8- to 14-week post-operative period after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 13, 357–369 (2005).
 48. Shaw, T., Williams, M. T. & Chipchase, L. S. Do early quadriceps exercises affect the outcome of ACL reconstruction? A randomised controlled trial. *Australian Journal of Physiotherapy* 51, 9–17 (2005).
 49. Souissi, S. *et al.* Improving functional performance and muscle power 4-to-6 months after anterior cruciate ligament reconstruction.

50. Patterson, B. E., Barton, C. J., Culvenor, A. G., Cooper, R. L. & Crossley, K. M. Exercise-therapy and education for individuals one year after anterior cruciate ligament reconstruction: a pilot randomised controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord* 22, 64 (2021).
51. Harput, G. *et al.* Cross-education improves quadriceps strength recovery after ACL reconstruction: a randomized controlled trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 27, 68–75 (2019).
52. Minshull, C. *et al.* Contralateral strength training attenuates muscle performance loss following anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction: a randomised-controlled trial. *Eur J Appl Physiol* 121, 3551–3559 (2021).
53. Shaarani, S. R. *et al.* Effect of Prehabilitation on the Outcome of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med* 41, 2117–2127 (2013).
54. Kim, D. K., Hwang, J. H. & Park, W. H. Effects of 4 weeks preoperative exercise on knee extensor strength after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Phys Ther Sci* 27, 2693–2696 (2015).
55. Ebert, J. R., Edwards, P., Joss, B. & Annear, P. T. A structured accelerated versus control rehabilitation pathway after anterior cruciate ligament reconstruction using autologous hamstrings demonstrates earlier improvement in physical outcomes without increasing graft laxity: A randomized controlled trial. *Physical Therapy in Sport* 55, 271–281 (2022).
56. Cristiani, R. *et al.* Autograft type affects muscle strength and hop performance after ACL reconstruction. A randomised controlled trial comparing patellar tendon and hamstring tendon autografts with standard or accelerated rehabilitation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 29, 3025–3036 (2021).
57. Labanca, L. *et al.* Early Superimposed NMES Training is Effective to Improve Strength and Function Following ACL Reconstruction with Hamstring Graft regardless of Tendon Regeneration. *jsportscimed* 91–103 (2022).
58. White, K., Di Stasi, S. L., Smith, A. H. & Snyder-Mackler, L. Anterior cruciate ligament-specialized post-operative return-to-sports (ACL-SPORTS) training: a randomized control trial. *BMC Musculoskelet Disord* 14, 108 (2013).
59. Arundale, A. J. H., Cummer, K., Capin, J. J., Zarzycki, R. & Snyder-Mackler, L. Report of the Clinical and Functional Primary Outcomes in Men of the ACL-SPORTS Trial: Similar Outcomes in Men Receiving Secondary Prevention With and Without Perturbation Training 1 and 2 Years After ACL Reconstruction. *Clinical Orthopaedics & Related Research* 475, 2523–2534 (2017).
60. Capin, J. J. *et al.* Superior 2-Year Functional Outcomes Among Young Female Athletes After ACL Reconstruction in 10 Return-to-Sport Training Sessions: Comparison of ACL-SPORTS

- Randomized Controlled Trial With Delaware-Oslo and MOON Cohorts. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine* 7, 232596711986131 (2019).
61. Ramirez-Campillo, R. *et al.* Effects of Plyometric Jump Training on Jump and Sprint Performance in Young Male Soccer Players: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med* 50, 2125–2143 (2020).
 62. Buckthorpe, M. & Della Villa, F. Recommendations for Plyometric Training after ACL Reconstruction – A Clinical Commentary. *International Journal of Sports Physical Therapy* 16, (2021).
 63. Van Melick, N. *et al.* Evidence-based clinical practice update: practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *Br J Sports Med* 50, 1506–1515 (2016).
 64. Miraglia N. e coll. *Legamento crociato anteriore. Dalle basi teoriche all'approccio evidence-based: un percorso guidato dall'infortunio al ritorno allo sport*. capitolo 14. 1a edizione. FisioScience srl. 2023
 65. Kotsifaki, A., Korakakis, V., Graham-Smith, P., Sideris, V. & Whiteley, R. Vertical and Horizontal Hop Performance: Contributions of the Hip, Knee, and Ankle. *Sports Health* 13, 128–135 (2021).
 66. Kotsifaki, A. *et al.* Single leg hop for distance symmetry masks lower limb biomechanics: time to discuss hop distance as decision criterion for return to sport after ACL reconstruction? *Br J Sports Med* 56, 249–256 (2022).