



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

L'efficacia della NMES nella stimolazione del quadricipite dopo ricostruzione del LCA: revisione sistematica della letteratura

Candidato:

Dott. FT Simone Carrera

Relatore:

Dott. FT OMPT Jacopo Disarò

INDICE

ABSTRACT	4
INTRODUZIONE	6
2. MATERIALI E METODI	10
2.1 Strategie di ricerca	10
2.2 Criteri di inclusione ed esclusione	10
2.3 Stringa di ricerca	11
3. RISULTATI	14
3.1 Risultati della valutazione qualitativa	14
3.2 Risultati della ricerca	15
4. DISCUSSIONE	26
5. CONCLUSIONI	30
6. ALLEGATI	32
6.1 Joanna Briggs Institute Clinical Appraisal Tools	32
7. BIBLIOGRAFIA	33

ABSTRACT

Background: la rottura del legamento crociato anteriore (LCA) è una problematica sempre più comune ed altamente impattante tra gli sportivi, determinando una lunga assenza dal campo da gioco. Seppur in letteratura siano proposte varie tipologie di terapia, il trattamento maggiormente effettuato è la ricostruzione del sopracitato legamento attraverso un'operazione in artroscopia. In seguito all'intervento si viene ad instaurare l'inibizione muscolare artrogenica (AMI) che determina l'insorgenza di un importante deficit di reclutamento del muscolo quadricipite.

Obiettivi: lo scopo di questa review sistematica è di indagare le evidenze presenti in letteratura sull'efficacia dell'implementazione della stimolazione elettrica neuro-muscolare durante il percorso riabilitativo in seguito ad intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore al fine di favorire un recupero precoce.

Materiali e metodi: la ricerca bibliografica è stata condotta sulla banca dati di *Medline* a partire da settembre 2022 a maggio 2023. Sono stati inclusi tutti gli RCT e studi pilota che prendevano in considerazione il trattamento con NMES in seguito a ricostruzione del legamento crociato anteriore. Nella totalità degli articoli presi in considerazione venivano esclusi i soggetti che si sottoponevano ad ulteriori riparazioni delle strutture dell'articolazione del ginocchio. Sono stati invece esclusi dal test studi secondari (linee guida, revisioni narrative). La selezione è stata condotta eliminando i doppi. Poi è stata svolta leggendo prima il titolo e l'abstract ed infine con la lettura del *full-text*. In ultima istanza è stata eseguita la valutazione qualitativa degli articoli inclusi.

Risultati: la ricerca ha prodotto in tutto 2894 *records*, con l'eliminazione dei duplicati si sono poi ridotti a 2031. Attraverso la lettura di titolo ed abstract sono stati esclusi altri 2005 articoli. Dei 26 articoli rimanenti 4 sono stati esclusi per l'impossibilità a reperire gli articoli, mentre altri 4 sono stati esclusi in quanto proposte per la stesura di futuri studi scientifici. Dunque gli studi che rientravano nei criteri di eleggibilità erano 18. La qualità metodologica è quindi buona per quanto riguarda gli RCT.

Conclusioni: nella popolazione presa in considerazione l'implementazione della NMES è risultata essere efficace nel ridurre il deficit di forza e l'atrofia muscolare nei primi sei mesi post operatori. È stato dimostrato da plurimi studi che ad un anno di distanza dall'intervento gli effetti della stessa si appiattiscono ai risultati del gruppo controllo.

INTRODUZIONE

La lesione del legamento crociato anteriore (LCA) è una condizione frequente e altamente impattante sullo stato di salute degli atleti amatoriali, ma soprattutto professionisti.

Questo tipo di problematica spesso porta all'allontanamento dalle attività sportive per un lungo periodo di tempo.

Nonostante esistano molti studi che riconoscono le modalità di insorgenza degli eventi lesivi e definiscono il miglioramento delle strategie di prevenzione per gli stessi, il numero di questo tipo di infortuni non è diminuito in maniera così consistente con il passare degli anni rispetto a quanto si potrebbe pensare. Anzi al contrario, le routine di allenamento, soprattutto negli ultimi anni, hanno richiesto agli atleti un impegno maggiore sia dal punto di vista dell'intensità degli allenamenti che degli incontri.

Ciò ha portato gli sportivi a sovraccaricare le loro strutture corporee; tra queste il legamento crociato anteriore, il cui tasso di rottura è aumentato notevolmente.

Basti pensare che in una squadra di calcio composta da 25 giocatori la probabilità di incorrere in tale infortunio ammonterebbe a circa un episodio ogni due anni, rendendo così questa condizione altamente limitante sia per il singolo atleta che per la società sportiva. ⁽¹⁾

In seguito all'infortunio, il trattamento principalmente proposto e cui si sottopone la maggior parte degli atleti è l'intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore, un'operazione ormai diventata di routine per le equipe ortopediche.

I pazienti scelgono la soluzione chirurgica basandosi sulla convinzione che ciò possa aumentare la loro possibilità di ritorno allo sport ai livelli precedenti all'infortunio, o comunque molto simili, e che possa ridurre il rischio d'insorgenza precoce dell'osteoartrosi post-traumatica.

Tuttavia, soprattutto quest'ultima convinzione risulta essere errata in quanto alcuni studi hanno dimostrato che la chirurgia sembrerebbe invece favorire l'insorgenza di osteoartrite anche a 10 anni di distanza dalla ricostruzione dell'LCA.

Si è inoltre rilevato che non tutti i pazienti tornano a praticare sport; al contrario, molti di essi hanno un peggioramento della qualità di vita a lungo termine correlata alle problematiche del loro ginocchio.

Per esempio, il 35% dei pazienti sviluppa sintomi a livello tibio-femorale, come dolore e gonfiore.

Per quanto concerne il rientro in campo dell'atleta, esistono in letteratura dati differenti tra la popolazione sportiva professionistica e quella amatoriale.

Nonostante la lesione del legamento crociato anteriore abbia un notevole impatto sulla salute della persona e obblighi spesso a un lungo percorso riabilitativo per l'atleta, tra i giocatori professionisti vi è un ritorno allo sport nel 95-100% dei soggetti.

Nel caso di chi pratica lo sport a livello amatoriale, il ritorno all'attività si avvicinerebbe comunque a circa l'80% dei casi se si opta per l'approccio chirurgico.

Solo il 65% della totalità dei pazienti presi in esame ritorna realmente ai livelli precedenti all'infortunio e il 55% a una qualche forma agonistica di attività.

Per chi opta per la ricostruzione chirurgica del legamento crociato anteriore, il tasso di recidiva è comunque alto, così come la probabilità di sviluppare altri tipi d'infortunio al ginocchio e aumenta, come detto in precedenza, il rischio di sviluppare un precoce esordio di osteoartrosi, determinando così una riduzione della lunghezza della carriera.

I dati indicano, inoltre, che una riabilitazione inadeguata, combinata a un altrettanto inadeguato processo di ritorno allo sport, possa determinare un peggioramento delle prestazioni sportive e predisporre a ulteriori futuri infortuni o recidive: un percorso fisioterapico frettoloso porta a una maggiore possibilità di lesione recidiva dell'LCA omolaterale, a una lesione controlaterale dello stesso o altri tipi di infortuni correlati al ginocchio, tra cui anche lesioni di vario grado ai muscoli che agiscono su questa articolazione.

I dati riportano che circa il 20% degli atleti che torna a praticare sport precocemente subisce una seconda lesione di LCA, omolaterale o controlaterale. ^(2,3)

Per porre l'accento sugli aspetti di cui sopra, sempre nello studio di **Grindem H. et al**, è stato dimostrato che a un ritorno alle competizioni sportive ad alto livello in un tempo che non rispetta il totale recupero e rinforzo dopo la ricostruzione di LCA, è spesso associato un aumento di oltre quattro volte dei tassi di recidiva nei due anni successivi.

Un adeguato e corretto percorso riabilitativo, invece, può favorire il ritorno alle attività sportive pre-lesionali e una riduzione dell'insorgenza di possibili ulteriori infortuni muscolari o articolari.

I clinici specializzati seguono particolari e rigidi criteri di progressione graduale nella riabilitazione, i quali devono essere completamente rispettati per poter far passare l'atleta agli step successivi.

Tuttavia, allo stato attuale, esiste ancora una notevole eterogeneità nei protocolli riabilitativi disponibili nella letteratura scientifica relativi al percorso di recupero in seguito alla soluzione chirurgica dell'ACL.

Questa moltitudine di terapie differenti lascia a ogni terapeuta la libertà di scegliere il percorso riabilitativo che ritiene più opportuno.⁽³⁾

In seguito alla ricostruzione dell'LCA, anche il tempo di ripresa con conseguente ritorno all'attività sportiva di un atleta non è d'aiuto nell'individuare il protocollo più giusto per tutti da seguire.

Infatti, il tempo di cui sopra è compreso in un range temporale che va dalle 16 alle 52 settimane.

Questa ampia differenza di durata è dovuta a diversi fattori che influenzano la velocità di recupero quali: l'età del paziente, la presenza di un danno concomitante (ad esempio, lesioni condrali o danni al corno posterolaterale) e la difficoltà di raggiungere gli obiettivi in base ai criteri stabiliti durante il programma riabilitativo (tra questi la forza, la potenza, il ROM e la capacità di carico).

È importante anche sottolineare che un maggior tempo di recupero è associato ad un ridotto rischio di recidiva.

Attualmente la letteratura scientifica sostiene che la durata corretta di un percorso riabilitativo dopo la ricostruzione di LCA è compresa tra i 9 e i 12 mesi.

Tale durata è giustificata dal fatto che si debba passare attraverso differenti fasi di carico che rispettino i tempi fisiologici di riparazione dei tessuti.

Per questo motivo richiede più tempo raggiungere in modo completo tutti gli obiettivi che portano al recupero e rinforzo totale.

Come dicevamo precedentemente, il percorso riabilitativo è un continuum che vede diverse fasi. In quella iniziale (post-operatoria), l'atleta è completamente immobile oppure solo parzialmente mobile a livello dell'articolazione del ginocchio, anche a causa del gonfiore e del dolore presenti. Questo limita fortemente l'uso dei gruppi muscolari degli arti inferiori e provoca un periodo di disuso muscolare importante.

In tali circostanze, c'è una progressiva perdita di massa magra, un declino della forza funzionale, una riduzione locale del metabolismo muscolare, un declino nella sensibilità insulinica e un aumento della deposizione locale di grasso.⁽⁴⁾

La forza e la resistenza del quadricipite sono di vitale importanza per il ripristino di una normale funzionalità dell'articolazione del ginocchio; sarà, quindi, fondamentale un recupero completo delle strutture periarticolari.

Una debolezza post-traumatica di questo tipo rappresenta quindi una problematica altamente impattante per il percorso fisioterapico.

Tuttavia, percepire debolezza persistente a livello del quadricipite dopo un infortunio del ginocchio, o in seguito a un'operazione, è molto frequente tra i pazienti.

Un importante fattore di fondo che contribuisce alla persistenza della debolezza, di cui abbiamo parlato sopra, è l'inibizione muscolare artrogenica (AMI), una risposta riflessa che si presenta in seguito ad una lesione articolare.

Questa condizione, nonostante l'alta incidenza, rimane sotto studiata negli attuali *outcome* clinici ricercati nei pazienti con infortuni articolari del ginocchio.

Riferendosi all'AMI si parla di "inibizione" perché risulta essere al di là del controllo volontario e cosciente del soggetto interessato.

Il termine descrive l'incapacità di eseguire una contrazione completa di un muscolo nonostante non ci sia un danno strutturale muscolare o di innervazione.

Clinicamente, i preparatori atletici e le altre figure sanitarie vedono l'AMI del quadricipite manifestarsi come debolezza post-traumatica e atrofia muscolare, le quali possono persistere a lungo dopo la lesione originale, rallentando il programma riabilitativo e il ritorno alle attività sportive.

Sebbene l'AMI sia molto probabilmente un meccanismo protettivo post-lesionale, bisogna comunque ricordare che potrebbe diventare una limitazione durante tutta la riabilitazione. ⁽⁵⁾

Una delle tante proposte di trattamento per questa condizione, che negli anni ha preso sempre più piede negli ambienti sanitari e di preparazione atletica, è la stimolazione elettrica neuromuscolare. Questa tipologia di trattamento è stata proposta in accordo con plurimi studi che riportavano la sua capacità ed efficacia nell'indurre i potenziali d'azione nei nervi motori, riducendo l'inibizione corticale e periferica presente, permettendo quindi al soggetto di eseguire l'esercizio di forza richiesto. ⁽⁶⁾

2. MATERIALI E METODI

2.1 Strategie di ricerca

La ricerca degli studi è stata effettuata sulla banca dati di *Medline*, utilizzando il motore di ricerca *PubMed*.

Per l'individuazione del quesito clinico è stato utilizzato il modello P.I.C.O..

Questo metodo è stato poi utilizzato nella ricerca bibliografica per strutturare una migliore strategia di ricerca. Gli elementi del modello P.I.C.O. sono stati così composti:

- **Popolazione:** La popolazione presa in considerazione in questo studio è composta da quei pazienti che sono stati trattati con ricostruzione del legamento crociato anteriore in seguito a rottura;
- **Intervento:** viene preso in esame il trattamento che utilizza la NMES (*neuromuscular electrical stimulation*) per favorire un recupero dall'AMI (*Arthogenic Muscle Inhibition*);
- **Comparazione:** il confronto viene fatto con i trattamenti tradizionali proposti in letteratura;
- **Outcome:** la misura di *outcome* presa in considerazione da questo elaborato è il recupero precoce del soggetto rispetto alla riabilitazione standard.

La ricerca bibliografica è stata condotta in un periodo di tempo compreso tra settembre 2022 e maggio 2023.

2.2 Criteri di inclusione ed esclusione

Gli studi presi in considerazione per questa ricerca soddisfano i seguenti criteri d'inclusione:

- studi scritti in lingua italiana o inglese;
- studi sperimentali: RCT e studi osservazionali analitici;
- utilizzo della NMES in pazienti che hanno subito una ricostruzione dell'LCA.

Vengono esclusi gli studi che rientrano nei seguenti criteri:

- studi che non sono stati scritti in lingua inglese o in italiano;
- studi secondari (revisioni narrative, linee guida);
- studi non eseguiti su esseri umani;

- studi che non prendono in considerazione la popolazione target o l'utilizzo della NMES nel trattamento.

2.3 Stringa di ricerca

Per l'individuazione dei *records* su *Medline* è stata creata una stringa di ricerca sulla base del quesito costruito attraverso il modello P.I.C.O.: sono state individuate delle parole chiave e dei relativi sinonimi (*Mesh Terms*), che sono stati poi messi in collegamento attraverso gli operatori booleani "OR" ed "AND".

Gli studi sono stati, poi, scremati sulla base dei criteri d'inclusione ed esclusione.

Di seguito viene riportata una tabella con la stringa di ricerca utilizzata nella banca dati:

Database	Stringa di ricerca
Pubmed	(((((((((anterior cruciate ligament reconstruction[mesh terms]) OR (aclr)) OR (anterior cruciate ligament surgery)) AND (arthrogenic muscle inhibition[mesh terms])) AND (NMES[mesh terms])) OR (electrical stimulation[mesh terms])) AND (anterior cruciate ligament rehabilitation [mesh terms])) OR (rehabilitation anterior cruciate ligament reconstruction [mesh terms])) OR (ACL rehabilitation[mesh terms]))

Tabella 1: identificazione delle stringhe di ricerca.

2.4 Selezione degli studi

La selezione degli studi è avvenuta attraverso il seguente processo:

- **Immissione della stringa di ricerca** nel database di *Medline*;
- **Selezione per titolo e abstract:** gli articoli che sono risultati dalla ricerca sono stati scremati sulla base della lettura del titolo dell'articolo e dell'abstract;
- **Selezione per *full-text*:** gli articoli risultati dalla precedente selezione sono stati ulteriormente scremati sulla base della lettura del *full-text* e applicando i criteri di eleggibilità.

Dalla ricerca sulla banca dati di *Medline* sono risultati in totale 2894 studi. Dopo la rimozione dei duplicati nel numero di 863, sono stati analizzati i titoli e gli abstract di 2031 articoli, di cui ne sono stati esclusi 2005. È stato quindi analizzato il *full-text* di 26 articoli, di cui 18 sono stati valutati compatibili rispetto ai criteri di eleggibilità.

Di seguito la *flow-chart* dove viene descritto il percorso di selezione degli studi:

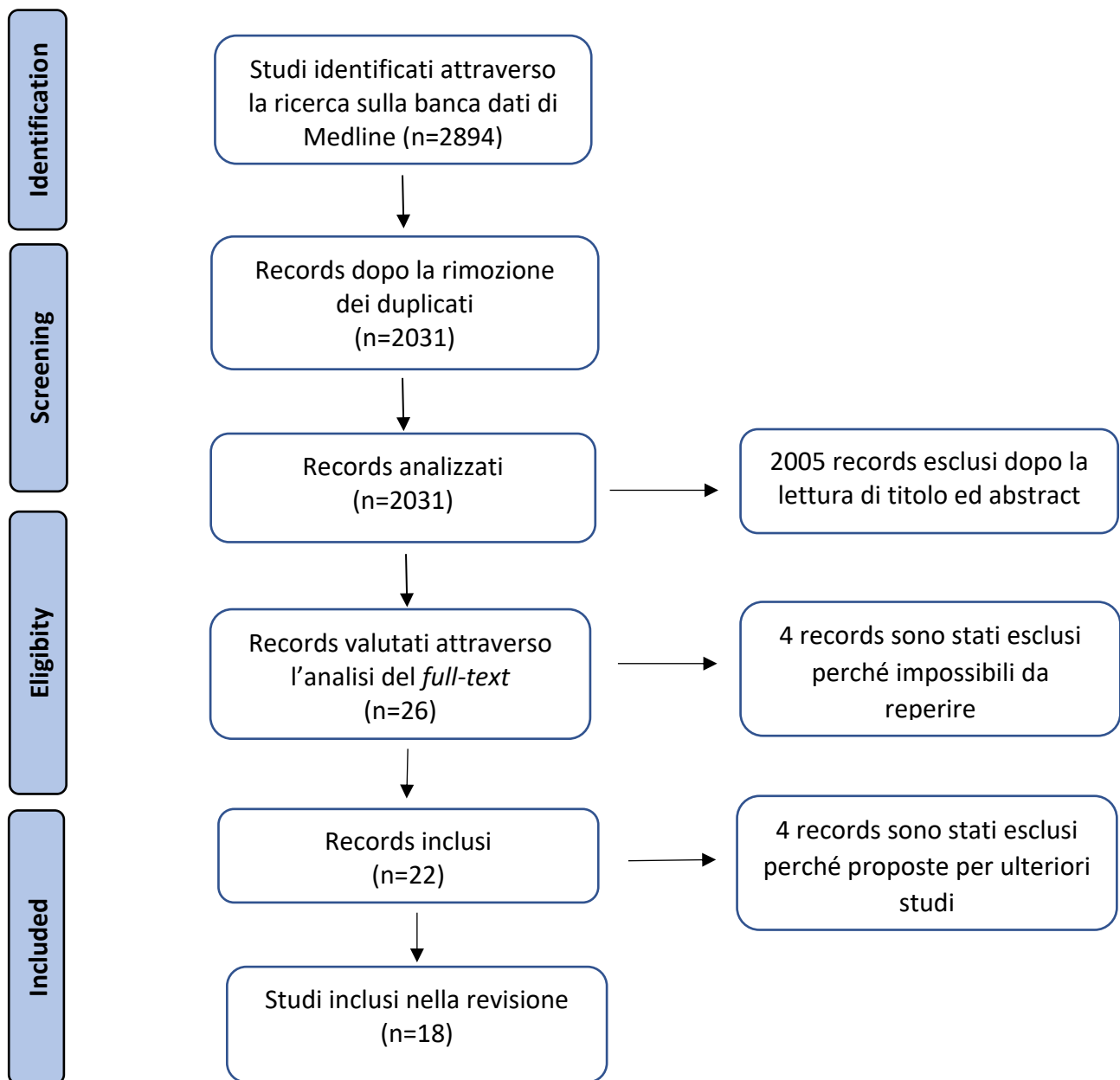


Figura 1: *flow chart* rappresentativa del processo di selezione degli studi.

3. RISULTATI

3.1 Risultati della valutazione qualitativa

Di seguito sono riportate le tabelle riassuntive della valutazione qualitativa dei diversi articoli.

Autore e anno	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10	Item 11	Item 12	Item 13
Ediz et al., 2011													
R.L. Lieber et al., 1995													
Draper, Ballard, 1995													
Fitzgerald, 2003													
Snyder-Mackler, 1994													
Delitto, 1988													
Morrissey, 1985													
Sisk et al., 1987													
Toth et al., 2020													
S. Hasegawa et al., 2011													
Rodriguez et al., 2020													
Feil et al., 2011													
Labanca et al., 2017													
Eriksson, Haggmark, 1979													
Currier et al., 1993													
Moran et al., 2019													
Rebai et al., 2002													
Kong et al., 2022													

Figura 2: grafico che riassume l'analisi qualitativa dei vari studi mettendoli a confronto.

Dall'analisi qualitativa degli RCT effettuata attraverso la *Joanna Briggs Institute (JBI) clinical appraisal tools*.

Questa metodologia di analisi delle evidenze scientifiche serve per valutare la qualità metodologica di uno studio e determinare la misura in cui uno studio ha affrontato la possibilità di bias nella sua progettazione conduzione ed analisi.

Questo strumento di valutazione, composto da 13 domande, analizza la modalità di randomizzazione seguita durante l'esecuzione dello studio, definendo con specifiche domande se i ricercatori, i soggetti ed in seguito i valutatori siano cechi al trattamento o se invece possano incorrere in bias.

Viene, inoltre, indagato se ambo due i gruppi, quello trattamento e quello controllo, siano stati trattati egualmente lungo tutto lo studio e se i gruppi abbiano ricevuto le stesse tipologie di valutazione durante il corso dello studio.

Infine, viene indagata l'affidabilità della misurazione ottenuta e l'appropriatezza dell'analisi statistica effettuata dal singolo studio.

3.2 Risultati della ricerca

Dalla ricerca sul database *PubMed* sono risultati in totale 18 studi: 17 RCT e uno studio pilota.

Dall'analisi del *full-text* è risultato che i 18 di questi studi prendevano in considerazione una popolazione che aveva subito ricostruzione del legamento crociato anteriore,

Inoltre, nella totalità degli articoli veniva specificato come i pazienti che avessero avuto in concomitanza anche ulteriori lesioni legamentose o strutturali del ginocchio sarebbero stati esclusi dal studio.

In 13 articoli veniva paragonato il trattamento con l'utilizzo della NMES al trattamento fisioterapico standard; mentre negli altri 5 venivano confrontate: due modalità di utilizzo della NMES a differenti valori di Hz (Rebai et al. 2002); l'uso della NMES e della *functional electrical stimulation* (FES) al quadricipite durante il cammino, nell'articolo di Moran et al. 2019; l'efficacia dell'applicazione di un *EMG biofeedback* rispetto alla sola NMES (Draper, Ballard 1993); l'utilizzo precoce della NMES in contrapposizione ad un utilizzo, anch'esso precoce, di una NMES *sham* ed infine un ultimo studio, quello di Kong et al. 2020, comparava l'efficacia della NMES con l'utilizzo della tecnica *bloody flow restriction* (BFR).

In tutti i precedenti articoli veniva valutata la capacità delle terapie di trattamento sperimentali proposte di aumentare la velocità di recupero del soggetto.

Le misure di *outcome* principali rilevate all'interno degli studi riguardano la forza espressa dal paziente, la disabilità e l'ipotonia.

Di seguito viene mostrata una tabella riassuntiva rispetto agli studi presi in analisi.

Autore	Tipo di studio	Popolazione	Intervento vs. Controllo	Obiettivo dello studio	Follow-up	Risultati
Ediz et al. (2011)	Studio pilota / Trial controllato randomizzato.	29 soggetti che hanno subito esclusivamente ricostruzione del legamento crociato anteriore (LCAr).	Sono stati applicati 2 interventi: - <i>programma fisioterapico standard</i> : la popolazione di questo campione ha eseguito per 6 settimane un percorso riabilitativo standard senza l'utilizzo di elettrostimolazione placebo - <i>riabilitazione standard con aggiunta elettrostimolazione</i> : i soggetti di questo gruppo hanno eseguito un percorso fisioterapico standard, con l'aggiunta dell'elettrostimolazione.	Vedere gli effetti di un programma di elettrostimolazione e in aggiunta a un programma di esercizi su gonfiore, dolore, ROM e atrofia muscolare in seguito a LCAr.	Le misure di <i>outcome</i> venivano rilevate rispettivamente il primo giorno post-intervento, a 7 giorni, a 14 giorni, a 8 settimane, a 12 settimane e a 6 mesi.	Come misure di <i>outcome</i> vengono prese in considerazione: il gonfiore, il dolore, il deficit di estensione, il ROM e l'atrofia muscolare della coscia. Il controlaterale funge da controllo. Si è potuto notare che l'utilizzo dell'elettrostimolazione a 4 giorni dall'operazione sia in grado di ridurre il gonfiore, il dolore, il deficit di estensione e prevenire una maggiore perdita di volume muscolare rispetto ai soli esercizi.
R.L. Lieber et al. (1995)	Trial controllato randomizzato.	Sono stati reclutati 40 pazienti che hanno subito un LCAr e che sono in grado di piegare il ginocchio a 90° entro le prime 2-6 settimane.	I pazienti sono stati inseriti in 2 tipologie di interventi: - <i>massima contrazione volontaria</i> : alla popolazione presa in esame veniva chiesto di eseguire la contrazione volontaria massima in maniera graduale col passare delle settimane. - <i>elettrostimolazione</i> : i soggetti di questo gruppo hanno eseguito un percorso di elettrostimolazione. Ad entrambi i gruppi è stato permesso di eseguire un percorso riabilitativo di esercizi domiciliari.	Determinare l'efficacia di entrambi i trattamenti proposti: contrazione volontaria massima ed elettrostimolazione.	È stata registrato il picco di forza in estensione a 6, 8, 12, 24, 52 settimane dall'operazione con lo stesso device.	Da questo studio non emerge una differenza significativa a 1 anno dall'operazione. Entrambe le modalità di trattamento hanno riportato un equivalente effetto nel lungo termine.

Draper, Ballard (1995)	Trial controllato randomizzato.	In questo studio sono stati inclusi 30 pazienti che hanno subito un LCAr con bone-tendon-bone patellar autograft.	I pazienti sono stati inseriti in 2 tipologie di interventi: - <i>elettrostimolazione in aggiunta a un programma di esercizi</i> : alla popolazione presa in esame venivano fatti eseguire esercizi isometrici mentre era operativo il trattamento con elettrostimolazione. - <i>EMG biofeedback da usare durante gli esercizi riabilitativi</i> : i soggetti di questo gruppo eseguivano esercizi attivi con attaccato un dispositivo EMG che rivelava l'attivazione muscolare.	Confrontare l'efficacia di un trattamento con l'utilizzo di elettrostimolazione e uno con l'utilizzo di un biofeedback EMG in aggiunta ad un percorso di rinforzo muscolare del quadricipite. Inoltre, lo studio punta ad evidenziare se esistono nel tempo di recupero del picco di forza e del ROM nelle 6 settimane di trattamento.	È stato registrato il picco di forza in estensione a 1, 2, 4 e 6 settimane. La misurazione del ROM in estensione, invece, è stata eseguita settimanalmente.	Gli autori concludono che il <i>biofeedback</i> sia maggiormente efficace nel facilitare il recupero del picco di forza rispetto all'elettrostimolazione. Non si evidenziano differenze significative nelle due tipologie di trattamento per quanto concerne il recupero del ROM in estensione.
Fitzgerald (2003)	Trial controllato randomizzato.	In questo studio sono stati inclusi 43 pazienti che hanno subito esclusivamente un LCAr.	I pazienti sono stati inseriti in 2 tipologie di interventi: - <i>elettrostimolazione in aggiunta a un programma di esercizi</i> : in aggiunta ad un programma fisioterapico standard veniva aggiunto un programma di rinforzo con l'utilizzo di un elettrostimolatore. - <i>programma riabilitativo standard</i> : i soggetti di questo gruppo eseguivano un normale percorso riabilitativo post LCAr.	Determinare l'efficacia dell'aggiunta di un programma modificato di elettrostimolazione e nel miglioramento della forza del quadricipite e della funzionalità/autonomia del paziente nelle ADL in seguito ad LCAr.	Sono stati registrati i valori di forza del quadricipite, scale per la valutazione delle ADL e la NPRS. Tutte le misurazioni sono state eseguite a 12 e a 16 settimane.	I risultati di questo studio indicano che i soggetti che hanno eseguito il programma riabilitativo con l'aggiunta dell'elettrostimolazione abbiano ottenuto una maggiore forza del quadricipite e un risultato migliore nelle scale di valutazione delle ADL.

Snyder-Mackler (1994)	Trial controllato randomizzato.	In questo studio sono stati inclusi 110 pazienti che hanno subito esclusivamente un LCAr.	I pazienti sono stati inseriti in 3 tipologie di interventi: - <i>elettrostimolazione ad alta intensità in aggiunta a un programma di esercizi</i> : 31 pazienti hanno eseguito, in aggiunta ad un programma fisioterapico standard, un programma di rinforzo con l'utilizzo di un elettrostimolatore ad alto voltaggio. - <i>elettrostimolazione a bassa intensità con apparecchio portatile in aggiunta a un programma riabilitativo standard</i> : 21 soggetti in questo gruppo seguivano un normale percorso riabilitativo post LCAr con aggiunta di percorso con elettrostimolazione a voltaggio inferiore rispetto al gruppo precedente. - <i>programma riabilitativo con contrazioni volitive massime</i> : in questo gruppo i pazienti eseguivano un percorso riabilitativo standard con contrazioni volitive massimali.	Stabilire una curva dose-risposta per percorso di elettrostimolazione e al fine di migliorare il recupero della contrazione del quadricipite post LCAr.	Dopo 4 settimane di trattamento sono stati registrati i valori di forza del quadricipite ed eseguita un'analisi del passo.	I risultati di questo studio supportano l'utilizzo di un elettrostimolatore ad alta intensità, rispetto all'utilizzo di un elettrostimolatore a bassa intensità portatile.
Delitto (1988)	Trial controllato randomizzato.	Questo studio ha incluso 20 pazienti che hanno subito un LCAr.	I pazienti sono stati inseriti in 2 tipologie di interventi: - <i>elettrostimolazione in aggiunta a un programma di esercizi</i> : alla popolazione presa in esame venivano fatti eseguire esercizi isometrici mentre era operativo il trattamento con elettrostimolazione. - <i>programma riabilitativo standard con contrazioni volontarie massimali</i> : i soggetti di questo gruppo eseguivano esercizi attivi con	Comparare l'efficacia di un trattamento con l'utilizzo di elettrostimolazione e a un programma di esercizi con contrazione volontaria massimale appena successivamente ad un LCAr.	Dopo 3 settimane di trattamento è stato registrato il picco di forza in estensione ed in flessione attraverso un dinamometro.	Gli autori concludono che l'utilizzo dell'elettrostimolazione possa essere maggiormente efficace del recupero della forza muscolare della coscia rispetto al solo programma di contrazioni massime volontarie.

			contrazione volontaria massimale.			
Morrissey (1985)	Trial controllato randomizzato.	Questo studio ha incluso 15 pazienti che hanno subito una LCAr.	I pazienti sono stati inseriti in 2 tipologie di interventi: - <i>elettrostimolazione in aggiunta a un programma di esercizi</i> : alla popolazione presa in esame venivano fatti eseguire esercizi isometrici mentre era operativo il trattamento con elettrostimolazione. - <i>programma riabilitativo standard con contrazioni volontarie massimali</i> : i soggetti di questo gruppo eseguivano esercizi attivi con contrazione volontaria massimale.	Valutare l'efficacia della NMES al quadricipite, comparato al non esercizio, nella riduzione della circonferenza e della forza isometrica del quadricipite durante l'immobilizzazione post LCAr.	Il giorno precedente l'operazione sono state misurate le circonferenze della coscia e la forza isometrica prodotta dal quadricipite e dagli hamstring. Le stesse valutazioni sono state ripetute a 6, 9 e 12 settimane.	Gli autori concludono che l'utilizzo dell'elettrostimolazione possa essere maggiormente efficace al fine di ridurre la diminuzione del picco di forza del quadricipite rispetto ai pazienti che non usano NMES. Non risulta essere utile, invece, nel mantenere la circonferenza muscolare durante l'immobilizzazione.
Sisk et al. (1987)	Trial controllato randomizzato.	Questo studio ha incluso 15 pazienti che hanno subito una LCAr.	I pazienti sono stati inseriti in 2 tipologie di interventi: - <i>elettrostimolazione in aggiunta a un programma di esercizi</i> : alla popolazione presa in esame venivano fatti eseguire esercizi isometrici mentre era operativo il trattamento con elettrostimolazione. - <i>programma riabilitativo standard con contrazioni volontarie massimali</i> : i soggetti di questo gruppo eseguivano esercizi attivi con contrazione volontaria massimale.	Valutare se la combinazione di esercizi isometrici associati a all'elettrostimolazione possa essere maggiormente efficace rispetto ad un trattamento basato solo su esercizi isometrici per quanto riguarda la forza isometrica del quadricipite dopo LCAr.	La valutazione della forza è stata eseguita attraverso un dinamometro isokinetic alla 7a, 8a e 9a settimana post operazione.	Lo studio evidenzia come non ci siano state differenze significative nell'espressione di forza in seguito alle due differenti tipologie di trattamento proposte.

Toth et al. (2020)	Trial controllato randomizzato.	Questo studio ha incluso 25 pazienti che hanno subito una LCAR con o senza lesione meniscale.	I pazienti sono stati inseriti in 2 tipologie di interventi: - <i>protocollo di elettrostimolazione</i> : alla popolazione presa in esame veniva fatto seguire un protocollo di elettrostimolazione 5 giorni/sett per 60 min al giorno. – <i>protocollo elettrostimolazione sham</i> : i soggetti di questo gruppo si sottoponevano ad intervento sham con le stesse modalità del gruppo in trattamento.	Esaminare se l'utilizzo precoce della NMES, subito dopo l'infortunio e mantenuto per le 3 settimane precedenti all'operazione di LCAR, possa preservare la dimensione del quadricipite e la contrazione muscolare delle fibre rispetto alla gamba non lesionata.	I pazienti sono stati esaminati nella fase di reclutamento, una settimana prima dell'operazione, a 3 settimane e a 6 mesi. Come misure di <i>outcome</i> sono state usate la forza estensoria, l'attività fisica, la grandezza muscolare della coscia, la biopsia muscolare, la grandezza della fibra muscolare e la capacità contrattile della fibra stessa.	Lo studio ha evidenziato come l'utilizzo precoce della NMES sia in grado di ridurre l'atrofia delle fibre muscolari di tipo II e preservare la capacità contrattile delle fibre di tipo I. Non risultano differenze significative nella forza isometrica e isocinetica a 6 mesi post LCAR.
S. Hasegawa et al. (2011)	Trial controllato randomizzato.	Per la partecipazione a questo studio sono stati selezionati 20 soggetti che hanno subito LCAR con semitendinoso-gracile.	I pazienti sono stati inseriti in 2 tipologie di interventi: - <i>protocollo di elettrostimolazione</i> : alla popolazione presa in esame veniva fatto seguire un protocollo di elettrostimolazione in aggiunta ad un percorso riabilitativo standard. – <i>trattamento riabilitativo standard</i> : i soggetti di questo gruppo si sottoponevano ad un programma fisioterapico standard post LCAR.	Esaminare se l'utilizzo della NMES possa ridurre l'atrofia muscolare del paziente nelle prime fasi post LCAR.	Ai pazienti è stato misurato lo spessore del retto del femore, del vasto intermedio, del vasto laterale e del polpaccio, la forza isometrica e isocinetica prima dell'operazione, a 4 settimane e a 3 mesi. È stata, inoltre, somministrata la scala di <i>Lysholm</i> prima e 6 mesi post-operazione.	Lo studio ha evidenziato come l'utilizzo della NMES nelle prime fasi post LCAR sia in grado di ridurre l'atrofia muscolare e la debolezza. Non risultano differenze significative, invece, per quanto riguarda la scala di valutazione <i>Lysholm</i> .

Rodriguez et al. (2020)	Trial controllato randomizzato in doppio cieco.	Hanno partecipato allo studio 112 pazienti che sono stati sottoposti a LCAr.	I pazienti sono stati inseriti in 2 tipologie di interventi: - <i>NMES in aggiunta ad esercizi eccentrici</i> : alla popolazione presa in esame veniva fatto seguire un protocollo di elettrostimolazione in aggiunta ad un programma di allenamento con esercizi eccentrici. – <i>NMES placebo in aggiunta ad esercizi eccentrici placebo</i> : i soggetti di questo gruppo si sottoponevano allo stesso protocollo del gruppo in trattamento ma con carichi inferiori incapaci di generare modifiche.	Valutare l'efficacia della NMES in combinazione con esercizi eccentrici al fine di recuperare la forza del quadricipite, la simmetria biomeccanica e mantenere la salute della cartilagine articolare a 9 e 18 mesi dall'operazione.	Come misure di <i>outcome</i> sono stati registrati i valori di forza isocinetica del quadricipite, la cross-section area del quadricipite e il ROM a 9 e 18 mesi post- LCAr. Sono state, inoltre, sottoposte <i>Knee Osteoarthritis and Outcome Scale, PROMIS Physical Function, Tegner Activity Scale, Marx Activity Scale</i> , e la <i>Tampa Scale of Kinesiophobia</i> .	I risultati di questo studio suggeriscono che l'utilizzo della NMES in combinazione con un piano di trattamento comprendente esercizi eccentrici porti ad un miglioramento della forza muscolare del 26% rispetto al trattamento standard.
Feil et al. (2011)	Studio cieco controllato randomizzato.	Hanno partecipato allo studio 96 pazienti che sono stati sottoposti a LCAr.	I pazienti sono stati inseriti in 3 tipologie di interventi: - <i>NMES KB in aggiunta ad esercizi</i> : alla popolazione presa in esame veniva fatto seguire un protocollo di elettrostimolazione utilizzando un indumento in aggiunta ad un programma di allenamento. - <i>NMES PS in aggiunta ad esercizi</i> : ai pazienti di questo gruppo veniva assegnato lo stesso piano di esercizi del precedente gruppo ma veniva assegnato un differente elettrostimolatore impostato con gli stessi parametri dell'altro - <i>programma di esercizi</i> : i soggetti di questo gruppo si sottoponevano allo stesso protocollo di esercizi dato agli altri pazienti.	Valutare l'efficacia dell'utilizzo di una NMES tradizionale e di una NMES sviluppata all'interno di un indumento rispetto ad un piano di trattamento tradizionale.	È stata valutata la forza del quadricipite a 90° e 180° di entrambe le gambe, oltre che un test di propriocezione. Inoltre sono state sottoposte al paziente anche <i>Tegner score, Lysholm score, the IKDC Knee Examination Form</i> e la <i>KT-1000 arthrometer measurement</i> . In aggiunta, è stato chiesto al paziente di redigere un diario in cui segnava informazioni circa gli allenamenti e ulteriori informazioni circa il ritorno alle normali attività di vita quotidiana. Le valutazioni sono state eseguite a 6, 12 e 24 settimane.	I risultati di questo studio suggeriscono che l'utilizzo della NMES porti ad un miglioramento della forza muscolare nei primi periodi post-op. L'utilizzo dell'elettrostimolazione KB ha dimostrato una maggiore compliance dei pazienti ed un minor deficit di forza a 6 settimane, oltre che un ritorno precoce di 7 giorni alle attività di vita quotidiana rispetto agli altri due interventi.

Labanca et al. (2017)	Studio controllato randomizzato.	Hanno partecipato allo studio 63 pazienti che sono stati sottoposti esclusivamente a LCAr.	I pazienti sono stati inseriti in 3 tipologie di interventi: - <i>NMES+STSTS+normale riabilitazione</i> : alla popolazione presa in esame veniva fatto seguire un protocollo di elettrostimolazione in aggiunta ad un programma precoce di STSTS e ad un programma riabilitativo classico. – <i>programma di esercizi</i> : i soggetti di questo gruppo si sottoponevano allo stesso protocollo di esercizi dato ai pazienti del primo gruppo - <i>STSTS senza NMES+ normale riabilitazione</i> : a questo gruppo di pazienti viene dato lo stesso programma di trattamento standard dato agli altri gruppi con l'aggiunta del STSTS precoce.	Valutare l'efficacia della NMES + STSTS, durante le prime fasi della riabilitazione post-op LCA, comparato ad un tradizionale protocollo di trattamento con l'aggiunta del STSTS senza NMES e ad un protocollo riabilitativo standard.	È stata valutata la massima forza isometrica dei muscoli flessori ed estensori a 60 e 180 giorni post-op. L'asimmetria di carico negli AAIL è stata misurata durante uno sit-to stand a 15, 30, 60 e 180 giorni post-op e attraverso un CMJ 180 giorni dopo l'intervento attraverso due pedane di forza adiacenti.	Lo studio dimostra come un intervento basato sulla NMES + STSTS, in aggiunta ad un protocollo riabilitativo tradizionale sia maggiormente efficace rispetto ad un percorso fisioterapico standard e ad uno stesso con l'aggiunta di STSTS senza NMES.
Eriksson, Haggmark (1979)	Trial controllato randomizzato in doppio cieco.	Hanno partecipato allo studio 8 pazienti che sono stati sottoposti a LCAr in seguito a rottura cronica.	I pazienti sono stati inseriti in 2 tipologie di interventi: - <i>NMES in aggiunta ad esercizi isometrici</i> : alla popolazione presa in esame veniva fatto seguire un protocollo di elettrostimolazione in aggiunta ad un programma di allenamento con esercizi isometrici. – <i>esercizi isometrici</i> : i soggetti di questo gruppo si sottoponevano allo stesso protocollo di esercizi isometrici proposto al precedente gruppo.	Valutare l'efficacia della NMES in combinazione con esercizi eccentrici al fine di ridurre l'atrofia muscolare.	Come misure di <i>outcome</i> sono state eseguite delle biopsie muscolari prima dell'intervento, 1 settimana post-intervento e a 5 settimane post-op in seguito a rimozione del gesso.	I risultati di questo studio suggeriscono che l'utilizzo della NMES sia efficace nel prevenire l'atrofia muscolare.

Currier et al. (1993)	Studio pilota.	Hanno partecipato allo studio 17 pazienti che sono stati sottoposti a LCAr.	I pazienti sono stati inseriti in 3 tipologie di interventi: <i>-NMES in aggiunta ad un protocollo riabilitativo standard</i> : alla popolazione presa in esame veniva fatto seguire un protocollo di elettrostimolazione in aggiunta ad un programma riabilitativo standard; <i>-NMES+ campo magnetico in aggiunta ad esercizi riabilitativi standard</i> : in questo gruppo i pazienti venivano trattati attraverso un programma di elettrostimolazione e con un campo magnetico, in aggiunta al medesimo piano riabilitativo proposto per gli altri gruppi. <i>– programma riabilitativo standard</i> : i soggetti di questo gruppo si sottoponevano allo stesso protocollo riabilitativo degli altri gruppi.	Valutare l'efficacia di un programma NMES e di un programma NMES+campo magnetico per ridurre la perdita di circonferenza, ridurre il dolore e la debolezza muscolare degli estensori nelle prime 6 settimane post LCAr.	Come misure di <i>outcome</i> è stata eseguita una valutazione della forza espressa, prima dell'operazione e 6 settimane post LCAr.	I risultati di questo studio suggeriscono che entrambe le modalità di elettrostimolazione siano in grado di ridurre la perdita di circonferenza della coscia rispetto al gruppo controllo.
Moran et al. (2019)	Studio pilota trial controllato randomizzato.	Hanno partecipato allo studio 23 pazienti che sono stati sottoposti a LCAr.	I pazienti sono stati inseriti in 2 tipologie di interventi: <i>-NMES al quadricipite in aggiunta ad un piano riabilitativo standard</i> : alla popolazione presa in esame veniva fatto seguire un protocollo di elettrostimolazione al quadricipite in aggiunta ad un piano fisioterapico standard; <i>-FES sincronizzata durante il cammino in aggiunta ad un programma riabilitativo standard</i> : in questo gruppo i pazienti venivano trattati attraverso una stimolazione elettrica funzionale durante l'atto del cammino.	Valutare l'efficacia della FES durante il cammino, in aggiunta ad un percorso riabilitativo standard, nelle prime fasi post LCAr.	Come misure di <i>outcome</i> sono state registrate la velocità del passo, la simmetria dello stesso, il picco di forza isometrica e la simmetria della forza. Gli <i>outcomes</i> sono stati registrati 2 settimane prima dell'operazione e 4 settimane dopo la stessa.	I risultati di questo studio suggeriscono che la FES aggiunta al normale percorso riabilitativo sia una modalità efficace di trattamento. Inoltre, a 4 settimane la FES al quadricipite è risultata più efficace nel recupero della forza muscolare e della simmetria rispetto al trattamento con la NMES.

Rebai et al. (2002)	Trial controllato randomizzato.	Hanno partecipato allo studio 10 pazienti che sono stati sottoposti a LCAr.	I pazienti sono stati inseriti in 2 tipologie di interventi: - <i>NMES al quadricipite a 80Hz</i> : alla popolazione presa in esame veniva fatto seguire un protocollo di elettrostimolazione al quadricipite a 80 Hz in aggiunta ad un piano fisioterapico standard; - <i>NMES al quadricipite a 20 Hz</i> : al secondo gruppo veniva fatto eseguire un protocollo di elettrostimolazione al quadricipite a 20 Hz in aggiunta ad un piano fisioterapico standard.	Comparare l'efficacia di due protocolli di riabilitazione con contrazione volontarie ed elettrostimolazione e rispettivamente a 20 e 80 Hz.	Come misure di <i>outcome</i> sono state registrate la forza di quadricipite e ischiocrurali attraverso l'utilizzo di una macchina isocinetica e la misurazione della quantità di muscolo e grasso presenti nella coscia, attraverso l'utilizzo della RM. Gli <i>outcome</i> sono stati registrati una settimana prima dell'operazione e 12 settimane dopo la stessa.	I risultati di questo studio dimostrano come l'utilizzo della NMES sia maggiormente efficace nel recupero della forza del quadricipite nonostante permanga una marcata atrofia muscolare. Il protocollo che prevedeva l'utilizzo della NMES 20 Hz ha dimostrato essere più efficace ne contrastare l'accumulo di grasso all'interno del muscolo, mentre non c'è differenza tra i due protocolli per quanto riguarda i miglioramenti della forza e del volume muscolare della coscia.
Kong et al. (2022)	Trial controllato randomizzato.	Hanno partecipato allo studio 45 pazienti che sono stati sottoposti a LCAr.	I pazienti sono stati inseriti in 3 tipologie di interventi: - <i>NMES + esercizi riabilitativi</i> : alla popolazione presa in esame veniva fatto seguire un protocollo di elettrostimolazione in aggiunta ad un piano fisioterapico standard; - <i>BFR + esercizi riabilitativi</i> : al secondo gruppo veniva fatto eseguire un protocollo fisioterapico standard con l'utilizzo del BFR; - <i>Protocollo di esercizi riabilitativi</i> : il gruppo controllo eseguiva un piano di trattamento standard 3 volte alla settimana come gli altri gruppi di trattamento.	Valutare e comparare gli effetti di un programma riabilitativo che prevedano l'utilizzo della NMES e del BFR rispetto ad un programma di trattamento standard per quanto riguarda la funzione del quadricipite e le abilità funzionali del ginocchio del paziente in seguito a LCAr.	Come misure di <i>outcome</i> sono state usate la <i>Lysholm score</i> , <i>IKDC score</i> e la misurazione della circonferenza della coscia a 5 cm e 15 cm sulla coscia, dopo 12 settimane di trattamento. Inoltre, la forza e la resistenza muscolare sono state valutate attraverso l'uso di una macchina isocinetica, l'equilibrio è stato misurato con l'Y-balance test.	I risultati di questo studio confermano che l'utilizzo della NMES e del BFR siano strategie maggiormente efficaci nel recupero in seguito a LCAr. La forza e la resistenza del quadricipite e degli ischiocrurali, e hanno mostrato un significativo miglioramento grazie all'uso del BFR e della NMES rispetto al gruppo controllo.

Abbreviazioni: LCAr=Ricostruzione del legamento crociato anteriore, NMES=neuromuscular electrical stimulation, EMG=electromyography, ADL=activities of daily living, ROM=Range Of Motion, BFR=bloody flow restriction, FES=functional electrical stimulation, KB= KneeHab, PS=Polystim, STSTS=sit-to-stand-to-sit exercises.

Tabella 2: tabella che riassume il contenuto dei diversi studi.

4. DISCUSSIONE

Lo scopo di questo elaborato è di valutare l'efficacia dell'implementazione dell'elettrostimolazione muscolare (NMES) per favorire un recupero precoce del paziente in seguito a ricostruzione chirurgica del legamento crociato anteriore.

La ricerca bibliografica effettuata per la stesura di questo elaborato ha evidenziato come questo argomento sia di ampio interesse clinico e scientifico e quanto la letteratura si ponga il suddetto quesito già da parecchi anni.

Il risultato di questo scritto mette in luce come ci siano forti evidenze che sostengano positivamente l'utilizzo dell'elettrostimolazione neuro-muscolare, come anche espresso in altre revisioni sistematiche analizzate dal tesista. ^(3,6,7)

Infatti, 14 dei 18 articoli, revisionati e che rispettavano i criteri di eleggibilità, davano un parere favorevole sull'implementazione di un programma di elettrostimolazione in combinazione ad un percorso fisioterapico standard.

In particolare, la totalità degli studi analizzati nei loro criteri di inclusione prevede che la popolazione partecipante aveva subito una rottura isolata del legamento crociato anteriore trattata poi attraverso una ricostruzione dello stesso in artroscopia.

In ognuna delle fonti precedentemente citata veniva riportato che, qualora i soggetti fossero andati incontro ad un'ulteriore operazione di sutura meniscale o legamentosa, sarebbero stati esclusi dal programma di trattamento.

Gli studi analizzati non hanno riportato all'interno della loro stesura quali fossero i parametri ideali per l'utilizzo dell'elettrostimolazione e non è stato possibile definirli con l'analisi dei singoli articoli, come viene anche riportato dalla revisione di **Andrade et al.** del 2020.

Negli studi riportati vi era un'eterogeneità degli elementi: ogni gruppo di ricerca utilizzava attrezzature, settaggi e tempistiche di trattamento differenti l'uno dagli altri.

L'analisi degli articoli ha portato ad evidenziare l'efficacia della NMES prevalentemente nella riduzione della perdita di forza e dell'atrofia muscolare specialmente nel primo periodo post-operatorio, rispetto ai gruppi controllo che non ne facevano uso. ⁽²⁰⁾

Analizzando più nel dettaglio i vari articoli e gli *outcome* presi in considerazione è possibile notare ulteriori effetti di questa modalità di trattamento sui tessuti target.

Lo studio di **Toth et al.** del 2020 ha infatti messo in luce come l'utilizzo di questa tecnica sia in grado di ridurre l'atrofia delle fibre muscolari di tipo II e preservare la capacità contrattile delle fibre di tipo I.

L'articolo di **Fitzgerald et al.** del 2003 riporta che, oltre ad un miglioramento della forza del quadricipite, i soggetti ottenevano anche una valutazione maggiore alla fine del percorso nelle scale che analizzavano le ADL, anche se queste variazioni erano di modeste entità.

Non è stato possibile definire quali *item* abbiano avuto un cambiamento significativo in quanto questo articolo, come anche altri ^(19,20,26), non ha approfondito particolarmente le informazioni provenienti dai PROMS.

Oltre ciò, in due studi ^(18,26) non sono state invece trovate differenze significative tra i gruppi in trattamento e il gruppo controllo per ciò che concerne la somministrazione della *Lysholm score*.

Neanche la *IKDC score* ha riportato cambiamenti statisticamente significativi in seguito al trattamento proposto. ⁽²⁰⁾

E ancora, nello studio di **Ediz et al.** del 2011 si sottolinea quanto questa tecnica di trattamento sia efficace nel ridurre il gonfiore, il dolore, il deficit di estensione oltre che a prevenire una maggiore perdita di forza rispetto ad un piano composto di soli esercizi.

Tuttavia è importante porre l'attenzione sul fatto che alcuni degli studi presi in considerazione ^(19, 21) evidenziano quanto esercizi specifici, quali sit-to-stand-to-sit o esercizi eccentrici, siano maggiormente efficaci rispetto all'esecuzione di un normale percorso riabilitativo fisioterapico.

I dati relativi, nello specifico, alla seconda modalità di trattamento, cioè quella basata sull'esecuzione di esercizi eccentrici, hanno riportato nei pazienti un miglioramento del 26% della forza muscolare espressa rispetto a quella sviluppata dal gruppo controllo composto da pazienti soggetti ad un trattamento riabilitativo di tipo standard.

In controtendenza rispetto alle evidenze sopra riportate, numerose revisioni sistematiche analizzate non sono riuscite a dimostrare che una modalità particolare di allenamento sia statisticamente significativa rispetto alle altre. ⁽³⁾

Tra le forme di esercizio valutate ci sono: l'utilizzo di tutte le possibili forme di contrazione e l'introduzione sia della catena cinetica chiusa che della catena cinetica aperta. ^(3,7,8)

Oppure ancora, un altro trattamento studiato da **Kong et al.** del 2022 è quello del BFR (*bloody flow restriction*), messo a confronto con NMES e a un gruppo controllo basato sull'*usual care*.

Lo studio afferma che, con l'introduzione di una delle due modalità di trattamento sopra citate, indifferentemente da quale essa sia, il percorso riabilitativo sia più efficace dal punto di vista dell'aumento della forza e della resistenza del quadricipite e degli ischiocrurali, oltre che ad un significativo miglioramento dell'Y-balance test, rispetto al non utilizzo.

Alla luce delle precedenti affermazioni verrebbe da affermare che l'utilizzo della NMES abbia una considerevole efficacia di trattamento e che andrebbe fin da subito maggiormente implementata nei percorsi riabilitativi.

La maggioranza degli articoli presi in esame, tuttavia, sottolinea come l'utilizzo della NMES abbia effetti statisticamente significativi solo nel primo periodo post-intervento, ma che questi si appiattiscono ai risultati ottenuti dai gruppi controllo già dopo 6 mesi di distanza dall'operazione.
(17,20)

A questo proposito, lo studio di **Lieber et al.** del 1995 afferma che proprio a distanza di un anno dall'operazione non emerga alcuna differenza rilevante tra le due tipologie di trattamento.

Altri studi, rispettivamente quello di **Draper e Ballard** del 1995 e quello di **Moran et.** del 2019, hanno evidenziato, però, come altre strategie potrebbero essere maggiormente efficaci nel percorso riabilitativo a lungo/medio termine.

Lo studio dei primi due afferma come un biofeedback legato all'attività muscolare del quadricipite sia più efficiente nel recupero del picco di forza.

Il terzo, invece, evidenzia come un'elettrostimolazione funzionale (FES) durante le attività riabilitative sia anch'essa più utile nel recuperare la forza e la simmetria del passo rispetto al trattamento eseguito con la NMES.

Il seguente elaborato riconosce di non essere esente dalla presenza di limitazioni rispetto agli articoli presi in considerazione.

Ad esempio, molti degli studi citati sono stati eseguiti 40-50 anni fa quando la principale tecnica di trattamento post-operatorio era l'immobilizzazione con valva gessata dell'intero arto inferiore, seguendo un iter assolutamente diverso da quelli proposti ad oggi nella clinica.

Inoltre, la quasi totalità degli scritti analizzati non riportavano se il paziente e il fisioterapista che eseguivano il trattamento fossero ciechi allo studio.

Solo 7 studi dichiaravano di aver reso ciechi i valutatori. (12,13,14,20)

Questa problematica potrebbe portare a mostrare effetti maggiori di quello che nella realtà sono.

5. CONCLUSIONI

La presente revisione prende in considerazione una popolazione di soggetti che ha subito una rottura isolata del legamento crociato anteriore e che è stata trattata con un intervento di ricostruzione.

Gli studi presi in considerazione riportano come l'introduzione di un protocollo di elettrostimolazione neuro-muscolare sia utile ed efficace nel recupero, specialmente se affiancato ad un programma di esercizi di rinforzo.

La NMES è in grado di diminuire l'atrofia muscolare nei primi periodi post intervento, determinando anche un aumento della forza ^(9,12-15,17-23,25), seppur questa tenda ad appiattirsi a quella del gruppo controllo ad 1 anno di distanza dall'intervento. ⁽¹⁰⁾

La principale limitazione emersa in questa revisione è data dal fatto che molti articoli sono stati eseguiti quando ancora le tecniche riabilitative post intervento erano diverse e comprendevano l'immobilizzazione dell'intero arto inferiore per 40 giorni, oltre che molti studi non riportavano se il terapeuta e il soggetto erano ciechi allo studio.

Sono quindi necessari ulteriori approfondimenti che vadano ad analizzare programmi di applicazione più strutturati ed eseguiti con una migliore metodologia.

6. ALLEGATI

6.1 Joanna Briggs Institute Clinical Appraisal Tools



JBI Critical Appraisal Checklist for Randomized Controlled Trials

Reviewer _____ Date _____

Author _____ Year _____ Record Number _____

	Yes	No	Unclear	NA
1. Was true randomization used for assignment of participants to treatment groups?	☐	☐	☐	☐
2. Was allocation to treatment groups concealed?	☐	☐	☐	☐
3. Were treatment groups similar at the baseline?	☐	☐	☐	☐
4. Were participants blind to treatment assignment?	☐	☐	☐	☐
5. Were those delivering treatment blind to treatment assignment?	☐	☐	☐	☐
6. Were outcomes assessors blind to treatment assignment?	☐	☐	☐	☐
7. Were treatment groups treated identically other than the intervention of interest?	☐	☐	☐	☐
8. Was follow up complete and if not, were differences between groups in terms of their follow up adequately described and analyzed?	☐	☐	☐	☐
9. Were participants analyzed in the groups to which they were randomized?	☐	☐	☐	☐
10. Were outcomes measured in the same way for treatment groups?	☐	☐	☐	☐
11. Were outcomes measured in a reliable way?	☐	☐	☐	☐
12. Was appropriate statistical analysis used?	☐	☐	☐	☐
13. Was the trial design appropriate, and any deviations from the standard RCT design (individual randomization, parallel groups) accounted for in the conduct and analysis of the trial?	☐	☐	☐	☐

Overall appraisal: Include ☐ Exclude ☐ Seek further info ☐

Comments (Including reason for exclusion)

7. BIBLIOGRAFIA

1. Della Villa F, Buckthorpe M, Grassi A, Nabiuzzi A, Tosarelli F, Zaffagnini S, et al. (2020) 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.*;
2. Grindem H, Snyder-Mackler L, Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA. (2016) Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. *Br J Sports Med.*;
3. Andrade R, Pereira R, Van Cingel R, Staal JB, Espregueira-Mendes J. (2020) How should clinicians rehabilitate patients after ACL reconstruction? A systematic review of clinical practice guidelines (CPGs) with a focus on quality appraisal (AGREE II). *Br J Sports Med.*;
4. Nørregaard AJ, Gram M, Vigelse A, Wiuff C, Birk A. (2014) Case Study: Muscle Atrophy, Hypertrophy and Energy Expenditure of a Premier League Soccer Player During Rehabilitation From ACL Injury.;
5. Hart JM, Pietrosimone B, Hertel J IC. (2010) Quadriceps activation following knee injuries: a systematic review. *J Athl Train.*;
6. Hauger A V., Reiman MP, Bjordal JM, Sheets C, Ledbetter L, Goode AP. (2018) Neuromuscular electrical stimulation is effective in strengthening the quadriceps muscle after anterior cruciate ligament surgery. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.*;
7. Van Melick N, van Cingel RE, Brooijmans F, Neeter C, van Tienen T, Hullegie W, Nijhuis-van der Sanden MW. Evidence-based clinical practice update: practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *Br J Sports Med.* 2016 Dec;
8. Kotsifaki R, Korakakis V, King E, Barbosa O, Maree D, Pantouveris M, Bjerregaard A, Luomajoki J, Wilhelmsen J, Whiteley R. Aspetar clinical practice guideline on rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Br J Sports Med.* 2023 May;
9. Ediz L, Ceylan MF, Turktas U, Yanmis I, Hiz O. (2012) A randomized controlled trial of electrostimulation effects on effusion, swelling and pain recovery after anterior cruciate ligament reconstruction: a pilot study. *Clin Rehabil.*;
10. Lieber RL, Silva PD, Daniel DM. (1996) Equal effectiveness of electrical and volitional strength training for quadriceps femoris muscles after anterior cruciate ligament surgery. *J*

Orthop Res.;

11. Draper V, Ballard L. (1991) Electrical stimulation versus electromyographic biofeedback in the recovery of quadriceps femoris muscle function following anterior cruciate ligament surgery. *Phys Ther.*;
12. Fitzgerald GK, Piva SR, Irrgang JJ. (2003) A modified neuromuscular electrical stimulation protocol for quadriceps strength training following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther.*;
13. Snyder-Mackler L, Delitto A, Stralka SW, Bailey SL. (1994) Use of electrical stimulation to enhance recovery of quadriceps femoris muscle force production in patients following anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther.*;
14. Delitto A, Rose SJ, McKowen JM, Lehman RC, Thomas JA, Shively RA. (1988) Electrical stimulation versus voluntary exercise in strengthening thigh musculature after anterior cruciate ligament surgery. *Phys Ther.*;
15. Morrissey MC, Brewster CE, Shields CL Jr, Brown M. (1985) The effects of electrical stimulation on the quadriceps during postoperative knee immobilization. *Am J Sports Med.*;
16. Sisk TD, Stralka SW, Deering MB, Griffin JW. (1987) Effect of electrical stimulation on quadriceps strength after reconstructive surgery of the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med.*;
17. Toth MJ, Tourville TW, Voigt TB, Choquette RH, Anair BM, Falcone MJ, Failla MJ, Stevens-Laplaey JE, Endres NK, Slauterbeck JR, Beynnon BD. (2020) Utility of Neuromuscular Electrical Stimulation to Preserve Quadriceps Muscle Fiber Size and Contractility After Anterior Cruciate Ligament Injuries and Reconstruction: A Randomized, Sham-Controlled, Blinded Trial. *Am J Sports Med.*;
18. Hasegawa S, Kobayashi M, Arai R, Tamaki A, Nakamura T, Moritani T. (2011) Effect of early implementation of electrical muscle stimulation to prevent muscle atrophy and weakness in patients after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Electromyogr Kinesiol.*;
19. Rodriguez K, Garcia SA, Spino C, Lepley LK, Pang Y, Wojtys E, Bedi A, Angelini M, Ruffino B, Bolley T, Block C, Kellum J, Swartout A, Palmieri-Smith RM. (2020) Michigan Initiative for Anterior Cruciate Ligament Rehabilitation (MiACLR): A Protocol for a Randomized Clinical Trial. *Phys Ther.*;

20. Feil S, Newell J, Minogue C, Paessler HH. (2011) The effectiveness of supplementing a standard rehabilitation program with superimposed neuromuscular electrical stimulation after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized, single-blind study. *Am J Sports Med.*;
21. Labanca L, Rocchi JE, Laudani L, Guitaldi R, Virgulti A, Mariani PP, Macaluso A. (2018) Neuromuscular Electrical Stimulation Superimposed on Movement Early after ACL Surgery. *Med Sci Sports Exerc.*;
22. Eriksson E, Häggmark T. (1979) Comparison of isometric muscle training and electrical stimulation supplementing isometric muscle training in the recovery after major knee ligament surgery. A preliminary report. *Am J Sports Med.*;
23. Currier DP, Ray JM, Nyland J, Rooney JG, Noteboom JT, Kellogg R. (1993) Effects of electrical and electromagnetic stimulation after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther.*;
24. Moran U, Gottlieb U, Gam A, Springer S. (2019) Functional electrical stimulation following anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled pilot study. *J Neuroeng Rehabil.*;
25. Rebai H, Barra V, Laborde A, Bonny JM, Poumarat G, Coudert J. (2002) Effects of two electrical stimulation frequencies in thigh muscle after knee surgery. *Int J Sports Med.*;
26. Kong DH, Jung WS, Yang SJ, Kim JG, Park HY, Kim J. (2022) Effects of Neuromuscular Electrical Stimulation and Blood Flow Restriction in Rehabilitation after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Int J Environ Res Public Health.*