



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE BIOMEDICHE E NEUROMOTORIE**

**CORSO DI LAUREA IN FISIOTERAPIA**

**EFFICACIA DELLA MOBILIZZAZIONE NEURALE NEL  
MIGLIORAMENTO DELLA FLESSIBILITA' DEI  
MUSCOLI POSTERIORI DELLA COSCIA PER IL  
TRATTAMENTO E PER LA PREVENZIONE DEGLI  
INFORTUNI SPORTIVI: UNA REVISIONE SISTEMATICA**

**Tesi di laurea in Fisioterapia Speciale**

**Relatrice  
Prof. Francesca Piraccini**

**Presentata da  
Giada Ferruzzi Rambaldi  
Guidasci**

---

**Sessione Novembre 2024  
Anno accademico 2023/2024**



## ABSTRACT

**Background:** Gli infortuni ai muscoli posteriori della coscia costituiscono una porzione consistente delle lesioni a cui vanno incontro gli sportivi, soprattutto a livelli di competizione elevati. Il loro trattamento e la loro prevenzione rappresentano una sfida per i fisioterapisti, in quanto queste lesioni sono caratterizzate spesso da tempistiche di guarigione lunghe, alle quali si associano in molti casi situazioni di recidive.

**Obiettivo:** La ridotta flessibilità degli ischiocrurali è stata individuata come fattore di rischio primario per le lesioni a queste componenti muscolari. Questa Revisione Sistemática indaga le evidenze presenti in letteratura riguardo l'efficacia di tecniche neurodinamiche nella riduzione della tensione ai muscoli posteriori della coscia.

**Metodi:** Sono state condotte le ricerche su diverse banche dati tra giugno e settembre 2024. Sono stati inclusi trial clinici che utilizzavano tecniche neurodinamiche per migliorare la flessibilità dei muscoli ischiocrurali. La valutazione della qualità metodologica di ciascuno studio è stata eseguita somministrando la Scala di Pedro. È stata condotta una sintesi quantitativa dei risultati attraverso una meta-analisi.

**Risultati:** sono stati inclusi 16 studi primari: 9 studi confrontavano un intervento di neural sliding o neural tensioning ad altri interventi di allungamento; 2 studi hanno confrontato interventi neurodinamici in aggiunta a stretching statico rispetto al solo stretching statico. In 3 studi venivano valutati gli effetti di una tecnica di scorrimento neurodinamico rispetto ad un gruppo di controllo che non eseguiva esercizi o a cui veniva somministrato un intervento placebo; infine in 2 studi venivano indagati su 3 gruppi diversi gli effetti di una tecnica neurodinamica, di un intervento di stretching e di un trattamento placebo. La scala di Pedro ha riportato differenze nella qualità metodologica dei vari studi. Tutti gli studi hanno riportato miglioramenti nella flessibilità degli Hamstrings a seguito del trattamento con interventi neurodinamici.

**Conclusioni:** i risultati degli studi hanno dimostrato che gli interventi neurodinamici promuovono un aumento della flessibilità dei muscoli posteriori della coscia; tuttavia la presenza di eterogeneità degli studi inseriti nella Revisione non ha permesso di affermare che questi approcci siano superiori come efficacia rispetto ad altri interventi proposti. È quindi necessario continuare ad indagare

l'efficacia di queste tecniche, per verificare se queste possano effettivamente rappresentare un approccio migliore rispetto ad altri interventi nel miglioramento e mantenimento della flessibilità degli ischiocrurali.

**Parole chiave:** Revisione Sistemica, Ischiocrurali, Flessibilità, Neurodinamica

## ABSTRACT

**Background:** Hamstring injuries stand for a large portion of the injuries that athletes face, especially at high levels of competition. Their treatment and prevention represent a challenge for physiotherapists, as these injuries are often characterized by long healing times, which are often associated with recurrence.

**Objective:** Reduced flexibility of Hamstrings has been identified as a primary risk factor for injuries to these muscle components. This Systematic Review investigates the evidence in the literature regarding the effectiveness of neurodynamic techniques in reducing tension in the Hamstrings, in order to promote a decrease in the incidence of injuries.

**Methods:** Searches were conducted on several databases between June and October 2024. Clinical trials and observational studies using neurodynamic techniques to improve Hamstring flexibility were included. The evaluation of the methodological quality of each study was performed by administering the Pedro Scale.

**Results:** 16 primary studies were included: 9 studies compared a neural sliding or neural tensioning intervention to other stretching interventions; 2 studies compared neurodynamic interventions in addition to static stretching versus static stretching alone. In 3 studies, the effects of a neurodynamic gliding technique were evaluated compared to a control group that did not perform exercises or was administered a placebo intervention; finally, in 2 studies, the effects of a neurodynamic technique, a stretching intervention and a placebo treatment were investigated on 3 different groups. Pedro's scale reported differences in the methodological quality of the various studies. All studies have reported improvements in the flexibility of Hamstrings following treatment with neurodynamic interventions.

**Conclusions:** The results of the studies have shown that neurodynamic interventions promote an increase in flexibility of the hamstrings; however, the presence of heterogeneity of the studies included in the Review did not allow us to affirm that these approaches are superior in effectiveness compared to other proposed interventions. It is therefore necessary to continue to investigate the effectiveness of these techniques, to verify whether they can actually represent a better approach than other interventions in improving and maintaining the flexibility of hamstrings,

**Keys words:** Systematic Review, Hamstrings, Flexibility, Neurodynamic

## Indice

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPITOLO 1: INTRODUZIONE.....</b>                   | <b>9</b>  |
| 1.1 Epidemiologia.....                                 | 9         |
| 1.2 Anatomia.....                                      | 10        |
| 1.3 Fattori di rischio.....                            | 11        |
| 1.4 Neurodinamica.....                                 | 15        |
| 1.5 Possibili tecniche di trattamento.....             | 17        |
| 1.7 Obiettivo.....                                     | 20        |
| <br>   |           |
| <b>CAPITOLO 2: MATERIALI E METODI.....</b>             | <b>21</b> |
| 2.1 Criteri di eleggibilità.....                       | 21        |
| 2.2. Fonti di informazione e strategie di ricerca..... | 23        |
| 2.3 Selezione degli studi.....                         | 25        |
| 2.4 Rischio di bias.....                               | 25        |
| 2.5 Sintesi dei risultati.....                         | 27        |
| <br>   |           |
| <b>CAPITOLO 3: RISULTATI.....</b>                      | <b>29</b> |
| 3.1 Selezione degli studi.....                         | 29        |
| 3.2 Tabella sinottica.....                             | 31        |
| 3.3 Estrazione dei dati.....                           | 34        |
| 3.4 Rischio di bias.....                               | 35        |
| 3.5 Risultati dei singoli studi.....                   | 35        |
| 3.6 Sintesi dei risultati.....                         | 51        |
| 3.6.1 Sintesi qualitativa.....                         | 50        |
| 3.6.2 Sintesi quantitativa.....                        | 52        |
| <br>   |           |
| <b>CAPITOLO 4: DISCUSSIONE.....</b>                    | <b>54</b> |
| 4.1 Interpretazione dei risultati.....                 | 54        |
| 4.2 Limiti della revisione.....                        | 56        |
| 4.3 Implicazioni per la pratica clinica.....           | 58        |
| <br>   |           |
| <b>CAPITOLO 5: CONCLUSIONI.....</b>                    | <b>61</b> |

**BIBLIOGRAFIA.....62**

## **CAPITOLO 1: INTRODUZIONE**

### **1.1 Epidemiologia**

Le lesioni ai muscoli ischiocrurali sono un problema complesso per atleti, medici, fisioterapisti e allenatori in quanto rappresentano una porzione consistente degli infortuni sportivi.

Uno studio di coorte condotto da *Jones et. al* nel 2019 **(1)**, che indagava l'epidemiologia degli infortuni nei calciatori professionisti inglesi, ha individuato che gli stiramenti dei muscoli posteriori della coscia rappresentano il 39,5% di tutti gli stiramenti muscolari e il 16,3% di tutti gli infortuni.

Lo studio di *Alvares et. al* **(2)** riporta che la lesione dei muscoli posteriori della coscia è la più diffusa nel calcio, e costituisce il 12% di tutti gli infortuni che avvengono ad alto livello.

Spesso inoltre queste lesioni sono seguite da un processo di guarigione lento a cui non di rado fanno seguito sintomi persistenti e recidive, i quali determinano una limitazione alla partecipazione nelle competizioni. Alcune stime mostrano che circa un terzo delle lesioni agli Hamstrings subite dagli atleti studenti universitari erano ricorrenti. **(3,4)**

Lo studio di *Elliot et al.* **(5)**, che ha indagato la prevalenza degli infortuni ai muscoli posteriori della coscia tra calciatori professionisti australiani nell'arco di 10 anni, ha rilevato che più della metà di questi (51,3%) si era verificato durante la preseason; questo probabilmente è da ricondursi al decondizionamento a cui si va incontro a seguito di un prolungato periodo di inattività. Lo studio riporta inoltre che gli stiramenti ai muscoli posteriori della coscia hanno causato una media di 2222 giorni persi all'anno e che il 16,5% degli infortuni totali erano rappresentati da recidive.

Il meccanismo principale individuato come causa di infortuni agli Hamstrings è quello che si verifica durante la corsa ad alta velocità e gli sprint, quando si assiste ad un rapido allungamento della muscolatura. Durante la deambulazione, e in particolare durante l'ultimo terzo della fase di oscillazione, gli Hamstrings infatti si attivano eccentricamente al fine di decelerare l'oscillazione in avanti della tibia, e continuano ad essere attivi durante l'appoggio del piede per controllare e facilitare l'estensione dell'anca e la flessione del ginocchio. **(5)**

## 1.2 Anatomia

Il gruppo degli ischiocrurali è costituito da 3 muscoli: bicipite femorale, con i suoi capi lungo e breve, semimembranoso e semitendinoso; questi hanno origine da una massa tendinea incompletamente separata sul margine laterale e prossimale della tuberosità ischiatica, che si estende all'interno del ventre muscolare per ciascuna delle 3 componenti.

Il capo lungo del bicipite femorale, il semitendinoso e il semimembranoso, sono definiti muscoli bi-articolari, in quanto, originando a livello della pelvi, e inserendosi su tibia e perone, agiscono sia sull'articolazione del ginocchio, flettendola, sia sull'articolazione dell'anca, estendendola. Il capo breve del bicipite femorale, originando a livello del femore, sulla linea aspra, svolge solo la funzione di flessore del ginocchio.

Gli ischiocrurali sono anche responsabili di limitare, attraverso la loro messa in tensione, i movimenti svolti dai loro muscoli antagonisti; in particolare limitano l'eccessiva flessione d'anca e l'estensione del ginocchio. Viene considerato un range articolare del ginocchio nella norma un'escursione di movimento compresa tra gli 0° di estensione e i 135° di flessione; viene considerata una condizione di tensione degli Hamstrings una limitazione nell'estensione del ginocchio maggiore di 20°, quando l'anca si trova in flessione. Per l'anca sono considerati intervalli fisiologici quelli compresi tra 80° e 90° di flessione a ginocchio esteso ed intorno ai 130° a ginocchio flesso; se a ginocchio esteso il ROM di flessione dell'anca è minore di 70° ciò è indice di retrazione degli ischiocrurali, se supera i 90° è indice di iper-estensibilità. (6)

I muscoli posteriori della coscia devono la loro innervazione al nervo sciatico, nervo misto che origina dal plesso sacrale e contiene gli assoni dei rami anteriori delle radici L4-S4. Il nervo sciatico esce dalla pelvi tramite il foro ischiatico, sotto al muscolo piriforme, passa fra il gran trocantere del femore e la grande tuberosità ischiatica, a stretto contatto con i muscoli pelvitrocanterici e percorre la parte posteriore della coscia, lungo la linea aspra del femore, fino alla zona poplitea, dove si divide in nervo peroneo comune e nervo tibiale. Nel suo percorso entra in contatto con i muscoli grande adduttore e capo breve del bicipite femorale, i quali possono rappresentare un'interfaccia meccanica per il nervo, causandone degli intrappolamenti o ostacolando il suo decorso. (6)

### 1.3 Fattori di rischio

Sono state postulate diverse possibili cause per un infortunio iniziale ai muscoli posteriori della coscia, tra cui la loro caratteristica poli-articolare, l'alta percentuale di fibre a contrazione rapida, la doppia innervazione del bicipite femorale e la ridotta lunghezza delle sue fibre. Essendo queste caratteristiche proprie del distretto muscolare in questione, vengono identificate come fattori non modificabili, sui quali quindi non è possibile agire per cercare di prevenire gli infortuni.

Le componenti su cui invece è necessario concentrarsi sono tutti quei fattori definiti modificabili, e che possiamo suddividere principalmente in due grandi categorie: fattori di rischio estrinseci, ovvero quegli eventi peculiari alle modalità di attività sportiva, tra cui riscaldamento e allenamento inadeguati, e fattori di rischio intrinseci, vale a dire le caratteristiche individuali di ogni individuo.

(4)

I fattori intrinseci sono attualmente considerati più predittivi per lo stiramento degli ischiocrurali; tra questi individuiamo in particolare la **ridotta flessibilità**, la quale determina rigidità e tensione muscolare.

Distinguiamo la flessibilità in statica e dinamica: la flessibilità statica è definita come il range di movimento disponibile per un'articolazione; la flessibilità dinamica si riferisce alla facilità con cui si esegue il movimento all'interno del ROM ottenibile. (7)

Il muscolo possiede la capacità di deformarsi, grazie ad alcune proprietà intrinseche, proprie di questo tessuto (6); le principali sono:

- la **contrattilità**, ovvero la capacità di una cellula muscolare di accorciarsi quando viene stimolata dai neuroni motori del SNC
- l'**estensibilità**, definita come la capacità del tessuto muscolare di allungarsi o distendersi oltre la sua lunghezza di riposo (8)
- l'**elasticità**, vale a dire la capacità del muscolo di tornare alla sua lunghezza di riposo a seguito di un allungamento, grazie alle sue proprietà viscoelastiche

L'estensibilità passiva viene definita come la distanza tra una lunghezza muscolare iniziale e la lunghezza massima, entrambe dipendenti dalla **resistenza passiva allo stiramento**; è la capacità dei muscoli scheletrici di allungarsi senza attivazione muscolare. L'allungamento oltre il punto di lunghezza massima provoca la rottura alle estremità delle fibre muscolari associate alla giunzione muscolo-tendinea.

La **rigidità** viene definita come la resistenza di una struttura alla deformazione di un muscolo. La rigidità passiva è la capacità del tessuto all'interno e attorno a un muscolo di consentire l'allungamento. La capacità di deformare transitoriamente il muscolo contratto viene definita rigidità attiva. **(8)**

Un aumento della rigidità muscolare si verifica a causa di una riduzione della capacità del muscolo di deformarsi, con conseguente diminuzione dell'intervallo di movimento in cui opera. **(9)**.

La **tensione muscolo-tendinea** è il rapporto tra la deformazione della lunghezza muscolo-tendinea e la lunghezza ottimale del muscolo in questione; pertanto, per un dato movimento, una lunghezza muscolo-tendinea ottimale più lunga si tradurrà in una minore tensione tissutale per la stessa deformazione. **(10)**

*Mizutani et. al* **(3)** suggeriscono che i muscoli posteriori della coscia con minore flessibilità potrebbero essere relativamente più allungati nella fase di swing tardivo del passo, facilitando così il meccanismo lesivo.

Uno studio prospettico di *Witvrouw et al.* **(11)** ha indicato che i giocatori di calcio con una maggiore rigidità del tendine posteriore del ginocchio hanno un rischio statisticamente più elevato di sviluppare una lesione su quel gruppo muscolare.

Lo studio di *Henderson* **(12)** ha indagato l'influenza di una serie di parametri fisici in una squadra di giocatori di calcio inglesi, sull'incidenza di lesioni ai muscoli posteriori della coscia, ottenendo come risultati che le probabilità di subire una lesione sono aumentate di 1,29 per ogni diminuzione di 1° nell'intervallo attivo di flessione dell'anca.

Diversi test clinici vengono comunemente utilizzati per la valutazione della flessibilità dei muscoli posteriori della coscia: tra questi i principali sono il test dell'angolo di estensione del ginocchio ed il test di sollevamento della gamba tesa (Straight Leg Raise).

Lo Straight Leg Raise fornisce informazioni sulla lunghezza dei muscoli ischiocrurali tramite la misura dell'angolo di flessione dell'anca con il ginocchio tenuto in estensione. È considerato un test indiretto perché è stato dimostrato che il bacino si muove durante il test e poiché la massima ampiezza di movimento della flessione dell'anca può essere limitata da strutture diverse dai muscoli, come la fascia profonda dell'arto inferiore e il tessuto nervoso. Entro queste potenziali limitazioni, tuttavia, è stato ampiamente indicato che il test fornisce un'indicazione clinicamente valida della lunghezza degli ischiocrurali. **(13)**

L'angolo di estensione del ginocchio viene misurato a partire da una posizione di flessione di anca e ginocchio, solitamente a 90°, con il soggetto solitamente in decubito supino: si può eseguire il test in maniera passiva (PKET, Passive Knee Extension Test) o attiva (AKET, Active Knee Extension Test), a seconda che al soggetto venga richiesto di sollevare il ginocchio in autonomia, o al contrario, che sia il terapeuta ad eseguire un'estensione passiva dell'articolazione. Il PKET è stato suggerito come la misura che più probabilmente rappresenta l'estensibilità massima, mentre l'AKET può indicare il punto di resistenza iniziale. **(13)**

In diversi studi è stato riconosciuto il ruolo che le strutture nervose possono svolgere nel determinare un'aumentata rigidità dei muscoli posteriori della coscia; precisamente si afferma che l'aumento della tensione nelle strutture neurali adiacenti, in particolar modo a livello del nervo sciatico, determini una ridotta flessibilità degli ischio-crurali, predisponendo quindi queste componenti ad un aumentato rischio di subire lesioni. **(4,7,14,15)**

Gli Autori parlano precisamente di "**neurotensione anomala**", intesa come un insieme di risposte fisiologiche e meccaniche anomale prodotte dalle strutture del sistema nervoso, durante la valutazione della loro normale escursione di movimento e delle possibilità di allungamento. Queste risposte sono dovute da una ridotta mobilità neurale e causano un aumento di tono nella muscolatura, rendendola più sensibile allo stiramento e al dolore.

Tra le suddette risposte fisiologiche e meccaniche individuiamo:

- aumento della **sensibilità meccanica** dei tessuti nervosi, in particolare della zona posteriore della coscia, dei glutei e del canale vertebrale, la quale determina l'invio di comandi alterati alla muscolatura, che a sua volta risponderà aumentando la tensione prodotta e generando di conseguenza maggior rigidità a livello degli ischio-crurali **(16)**
- **sensibilizzazione periferica**, determinata probabilmente da input dolorosi sostenuti alla muscolatura, causati da irritazione dei neuroni motori e sensoriali dei livelli che servono un determinato distretto muscolare **(17)**

Esistono 2 possibili meccanismi attraverso i quali la tensione neurale avversa può essere un fattore eziologico:

- il **meccanismo intra-neurale**: si verifica quando, a seguito di una lesione al tessuto nervoso si sviluppa un'eccessiva tensione a livello del nervo, correlata ad una riduzione dell'apporto vascolare, con diminuzione della perfusione di sangue al SN e interruzione del trasporto assonale citoplasmatico. Le alterazioni possono avvenire a livello dei tessuti di trasmissione degli impulsi oppure nei tessuti di rivestimento e possono essere causate da un'eccessiva trazione sul nervo, oppure da compressione del nervo a seguito di processi infiammatori
- il **meccanismo extra-neurale**, nel quale si verifica l'ancoraggio del nervo alle strutture circostanti, definite interfaccia, determinando la riduzione della normale mobilità neurale. L'interfaccia è costituita da tutte quelle strutture adiacenti ai nervi, che si muovono solitamente in maniera indipendente da essi, vale a dire ossa, tendini, legamenti, muscoli, dischi intervertebrali, fascia e vasi. Esistono interfacce di natura patologica come osteofiti, cicatrici, edemi o più in generale l'infiltrazione di un qualsiasi tipo di fluido che causa restringimento del letto nervoso

*De Ridder et al. (18)* suggeriscono che aderenze tra i muscoli posteriori della coscia e il nervo sciatico, causati da interfacce di tipo patologico e non, potrebbero determinare un aumento della mecano-sensibilità, a causa di un ridotto scorrimento del nervo nel suo letto. In questo caso, la flessibilità dei muscoli posteriori della coscia potrebbe essere limitata perché la mecano-sensibilità alterata causerà un inizio anticipato della sensazione di disagio all'interno del range di movimento, causando una contrazione muscolare protettiva precoce dei muscoli posteriori della coscia.

Spesso i processi intra-neurale ed extra-neurali avvengono contemporaneamente.

In questo contesto sono importanti i risultati di uno studio, condotto da *McHugh et.al (19)*, che indagava in maniera diretta il ruolo della tensione neurale nel determinare cambiamenti della flessibilità degli ischio-crurali. Il suo obiettivo era quello di verificare se la tensione neurale, riprodotta con il test di accasciamento (SLUMP), durante lo stiramento passivo dei muscoli posteriori della coscia, influenzasse il range dell'articolazione del ginocchio, determinandone in particolare una riduzione dell'estensione. I risultati hanno confermato l'ipotesi, riportando che il ROM massimo di estensione del ginocchio quando veniva applicata tensione neurale era inferiore del 9% (circa 8°) rispetto a quello ottenuto in posizione neutra, nella quale non avveniva il tensionamento delle strutture neurali. È stato anche notato che non erano stati riportati cambiamenti significativi nell'attività elettromiografica dei muscoli in nessuno dei due gruppi. Si era quindi concluso che in assenza di significativa attività contrattile, una maggiore resistenza all'allungamento dei muscoli posteriori della coscia nella posizione di tensione neurale poteva essere attribuita ad un'aumentata trazione sulle strutture nervose.

#### **1.4 Neurodinamica**

La neurodinamica è la scienza che studia le relazioni tra l'anatomia, la fisiologia e la meccanica dei nervi.

Il sistema nervoso rappresenta un continuum dal punto di vista tissutale, chimico ed elettrico: ciò determina il fatto che quando in un distretto si genera tensione, questa si trasmette all'intero sistema. Inoltre, questo consente anche di differenziare il sistema nervoso dalle strutture corporee circostanti. (17)

Durante il movimento umano, il sistema nervoso si muove insieme, e a volte contro, il tessuto adiacente ed è soggetto a forze compressive e di trazione. Il nervo si adatta ai movimenti del corpo grazie ad un insieme di meccanismi che prendono il nome di neuromeccanica e che includono lo scivolamento e l'allungamento; a sua volta l'allungamento è possibile grazie a:

- movimento macroscopico, vale a dire lo scorrimento del nervo nel proprio letto, e movimento microscopico, ossia quello delle componenti nervose rispetto ai tessuti connettivi che le rivestono

- sviluppo o crescita di tensione all'interno del nervo, attraverso l'aumento della pressione che si sviluppa come conseguenza dell'allungamento

La presenza di **meccanosensibilità** del sistema nervoso viene valutata attraverso i test neurodinamici, che indagano la capacità dei nervi di adattarsi ai movimenti in relazione alle interfacce che li circondano. (20)

Durante i test neurodinamici si utilizzano strategie di “**differenziazione strutturale**”, le quali consistono nell'aggiunta o nella rimozione di tensione a diversi distretti corporei, attraverso modifiche della posizione o del movimento. In questo modo è possibile determinare una struttura corporea o uno specifico distretto nervoso come responsabile per la riproduzione della sintomatologia dolorosa o per la riduzione dell'intervallo di movimento.

Un test neurodinamico viene considerato positivo quando:

- riproduce i sintomi
- le risposte del test possono essere modificate dal movimento di parti distanti del corpo
- ci sono differenze di escursione di movimento, di resistenza o di sintomatologia tra la parte destra e la parte sinistra
- il risultato del test è coerente con il quadro di segni e sintomi del paziente

Un test di tensione positivo può indicare la presenza sia di un disturbo meccanico al nervo (dato da intrappolamenti o cicatrizzazioni), sia di alterazioni a livello vascolare o di trasporto assonale.

Tra i test clinici più comunemente utilizzati per indagare un potenziale coinvolgimento delle strutture nervose nelle problematiche della zona posteriore della coscia individuiamo:

- **SLR (Straight Leg Raise; sollevamento a gamba tesa dell'arto inferiore):** il soggetto viene posizionato in decubito supino, con anche e tronco in posizione neutra; l'esaminatore pone una mano sotto il tendine d'Achille e l'altra sopra il ginocchio. Si solleva la gamba da esaminare prestando attenzione a mantenere il ginocchio in estensione, fino al punto di sintomatologia massima (P2) o fino a quando la resistenza fornita dagli ischiocrurali lo consente (R2)

- **SLUMP** test (o test di abbassamento): è una misura dell'estensibilità neurale che viene eseguita in posizione seduta estendendo il ginocchio con la caviglia posizionata a 90° di dorsiflessione e mantenendo la flessione toraco-lombare; questa posizione consente di valutare la tensione dei tessuti neurali senza ulteriore allungamento dei muscoli posteriori della coscia.

Il test è considerato positivo se i sintomi vengono prodotti quando il ginocchio si trova in estensione e il rachide cervicale viene flesso, mentre diminuiscono o scompaiono con l'estensione cervicale. Durante la flessione del collo infatti la tensione si trasmette sino alle strutture nervose a livello lombare. Si ritiene che il dolore provocato dal test sia dovuto da un eccessivo allungamento dei nervi (causa intra-neurale) o da una ridotta mobilità neurale rispetto all'interfaccia con il tessuto muscolare circostante (causa extra-neurale).

### **1.5 Possibili tecniche di trattamento**

Sono stati proposti diversi trattamenti per l'incremento della flessibilità degli ischio-crurali; tra gli interventi che sono maggiormente stati indagati in letteratura troviamo lo stretching statico, dinamico e balistico, la facilitazione neuromuscolare propriocettiva (PNF), il rilascio mio-fasciale e le tecniche neurodinamiche.

Lo stretching statico prevede il mantenimento del muscolo in una posizione di allungamento per un determinato periodo di tempo, nel quale non viene eseguito alcun tipo di movimento del distretto corporeo che si sta allungando. Si suppone che lo stretching statico migliori le proprietà viscoelastiche e la tolleranza allo stiramento del muscolo: quando il muscolo è tenuto in una posizione allungata, la tensione passiva al suo interno diminuisce; questo meccanismo viene definito rilassamento dello stress viscoelastico e si traduce con un'aumentata flessibilità. Si suppone che lo stretching statico presenti lo svantaggio di una perdita di forza della muscolatura, compromettendo quindi le prestazioni muscolari successive alla sua esecuzione; una possibile spiegazione a ciò potrebbe essere una disfunzione temporanea della coordinazione neuromuscolare dovuta a un nervo irritato e a una funzione efferente anomala come risultato della tensione prolungata imposta sul nervo sciatico durante l'allungamento. **(13)**

Lo stretching dinamico prevede un movimento graduale, in cui si sfruttano contrazioni muscolari per muovere l'articolazione attraverso un ROM attivo completo. **(21)** È stato suggerito che lo stretching dinamico produca un aumento minore della flessibilità rispetto allo stretching statico, ma che questo sia più duraturo nel tempo. **(22)** Inoltre, studi recenti hanno rivelato che lo stretching dinamico può

fornire un aumento acuto della contrattilità muscolare degli sprint, dei salti e dell'equilibrio; pertanto, tale modalità sembra essere più favorevole dello stretching statico per preparare il sistema muscolo-tendineo agli esercizi successivi. **(21)**

La facilitazione neuromuscolare propriocettiva (PNF) è una forma di allenamento della flessibilità che coinvolge sia lo stretching sia la contrazione del gruppo muscolare bersaglio. Quando i muscoli si contraggono, producono tensione a livello della giunzione mio-tendinea; questa tensione incoraggia l'allungamento dell'unità attraverso il processo dell'inibizione autogenica: si verifica una riduzione dell'eccitabilità grazie ai segnali inibitori inviati dagli OTG (organi tendinei del Golgi) e questo si traduce con un allungamento graduale delle fibre muscolari. **(23)**

Il rilascio mio-fasciale (MFR) è una tecnica manuale volta a promuovere lo stiramento ininterrotto dei tessuti molli e a migliorarne la flessibilità. Utilizzando la compressione per facilitare lo stiramento continuo dei tessuti aiuta a ripristinare la fascia ristretta e ad incrementare la lunghezza muscolare, consentendo così di alleviare il dolore muscolare e fasciale; viene applicata una pressione graduale e continua sugli strati fasciali ristretti per 120-300". **(9)**

Lo stretching balistico utilizza lo slancio creato da movimenti di rimbalzo ripetitivi per produrre allungamento muscolare; questa tecnica non è ampiamente utilizzata in quanto si ritiene che una sua non corretta esecuzione determini facilmente danni muscolari. **(22)**

Gli **interventi neurodinamici** sono tecniche che promuovono il movimento e il tensionamento dei nervi, sfruttando la relazione di continuità presente tra i vari distretti del sistema nervoso. E' stato suggerito che gli esercizi di mobilizzazione neurale promuovono una maggior flessibilità grazie allo spostamento che determinano nel nervo sciatico nella zona posteriore della coscia; ciò sembrerebbe infatti determinare un aumento della mobilità del tessuto neurale ed una diminuzione della sensibilità di questo agli stimoli meccanici. **(16,24)**.

L'obiettivo di queste tecniche è quello di ripristinare, attraverso la mobilizzazione nervosa, l'equilibrio tra il movimento dei tessuti neurali e le interfacce meccaniche circostanti. I benefici ipotizzati da tali tecniche includono la facilitazione dello scorrimento e la riduzione dell'aderenza dei nervi, la dispersione di fluidi nocivi, l'aumento della vascolarizzazione neurale e il miglioramento del flusso assoplasmatico.

Gli interventi neurodinamici si basano sulle proprietà intrinseche del sistema nervoso, che questo utilizza per adattarsi al movimento, vale a dire lo scorrimento e la messa in tensione. Distinguiamo quindi due tecniche principali di mobilizzazione nervosa:

- **Neural Sliding:** lo scorrimento neurale è una tecnica di mobilizzazione applicata allo stelo neurale per far scorrere il corpo neurale in cui un'estremità dello stelo è estesa mentre l'altra estremità è rilassata.

E' stato suggerito che questa tecnica sia efficace nel massimizzare l'escursione nervosa, allungando simultaneamente il letto nervoso da un'estremità del nervo e rilasciando la tensione dall'altra estremità e in seguito invertendo le componenti; questa azione combinata dovrebbe comportare la massima quantità di escursione nervosa. (24)

Gli slider potrebbero agire a livello dell'interfaccia extra-neurale dove le aderenze tra il tessuto neurale e quello circostante potrebbero limitare le escursioni del nervo e determinare una maggiore tensione durante lo stretching passivo. Fornendo un'escursione del nervo sciatico si potrebbe prevenire o modificare queste aderenze, portando ad una diminuzione della mecano-sensibilità del tessuto neurale e ad un aumento della mobilità dei muscoli posteriori della coscia. (18)

Si suggerisce che le tecniche di scorrimento siano utili in condizioni acute e situazioni che possono portare a irritazione e intrappolamento dei nervi: queste possono infatti limitare l'attività fibroblastica e minimizzare la formazione di cicatrici, oltre che prevenire aderenze e ridurre la pressione del fluido endoneurale. (25)

- **Neural Tensioning:** il tensionamento neurale è una tecnica di mobilizzazione applicata allo stelo neurale per allungare il corpo neurale in cui entrambe le estremità dello stelo sono estese; due componenti vengono quindi mosse in modo da allungare il letto neurale ad entrambi i capi. Sono tecniche più vigorose, in cui si mette in allungamento l'intero letto del nervo e si enfatizza la componente di tensione; possono essere utilizzate al fine di ridurre il gonfiore intra-neurale e la compromissione circolatoria. (24)

Basandosi quindi sul principio che il sistema nervoso dovrebbe essere mobilizzato correttamente al fine di mantenere una buona estensibilità muscolare e garantire una fisiologica gamma di movimento, l'utilizzo di interventi neurodinamici potrebbe rappresentare un'aggiunta significativa o una valida alternativa alle routinarie tecniche di stretching nel trattamento delle lesioni ai muscoli posteriori della coscia.

## 1.6 Obiettivo

La ridotta flessibilità dei muscoli ischiocrurali è stata ampiamente riconosciuta come fattore di rischio per le lesioni a questa componente muscolare; ad oggi queste rappresentano una porzione consistente degli infortuni a cui vanno incontro gli atleti. È stato inoltre osservato che la rigidità dei muscoli posteriori della coscia determina non poche problematiche secondarie: la dolorabilità muscolare e una maggiore perdita di forza in soggetti con rigidità indica che questi hanno subito danni muscolari maggiori, nonostante l'esecuzione di attività a stessa intensità, permettendo quindi di dedurre che muscoli meno flessibili sono più suscettibili ai danni dopo l'esercizio. L'attività in presenza di danno muscolare comporta inoltre un maggiore stress metabolico e limita l'intensità e la durata dell'esercizio, compromettendo così un'adeguata formazione fisica. **(26)**

La lunghezza ridotta dei muscoli posteriori della coscia causa inoltre diversi problemi muscoloscheletrici come il dolore lombare, la disfunzione dell'articolazione sacroiliaca, la sindrome del dolore femoro-rotuleo, la tendinopatia rotulea e la fascite plantare. **(14,26)**

Obiettivo della tesi è quello di verificare l'efficacia degli interventi neurodinamici nel miglioramento della lunghezza e dell'elasticità delle strutture muscolo-tendinee della loggia posteriore della coscia al fine di garantirne una buona flessibilità. Si vuole quindi indagare se questi possano essere adottati sia come approccio alla riabilitazione post-infortuni che come tecnica preventiva.

## **CAPITOLO 2: MATERIALI E METODI**

La revisione è stata condotta seguendo le linee guida PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). (27)

### **2.1 Criteri di eleggibilità**

Il quesito iniziale dal quale è stata sviluppata la tesi è stato il seguente: “Esistono delle correlazioni tra sofferenze e/o anomalie delle strutture nervose e un rischio maggiore di infortuni tra gli atleti?” Si è focalizzata la ricerca in particolar modo sulla componente dei muscoli posteriori della coscia.

Una ricerca preliminare è stata quindi condotta sulla banca dati PubMed utilizzando i seguenti termini liberi:

(athletes) AND (neural structures) AND (hamstring injuries)

Effettuata questa prima analisi si è osservato che non c'è letteratura scientifica sufficiente per rispondere al quesito che ci si poneva.

È stata quindi eseguita un'ulteriore ricerca, con l'obiettivo di indagare quali fossero le principali cause di infortuni ai muscoli posteriori della coscia; da questa si è evinto che proprio la scarsa flessibilità è riconosciuta come uno dei principali fattori di rischio per le lesioni agli Hamstrings.

La stringa di ricerca utilizzata su PubMed è stata la seguente:

("Hamstring Tendons"[MeSH Terms] OR "Hamstring Muscles"[MeSH Terms]) AND "Athletic Injuries"[MeSH Terms]

Da questi presupposti si è quindi sviluppato il seguente quesito di ricerca, su cui si basa l'obiettivo della tesi: “Qual è l'efficacia degli interventi neurodinamici rispetto a qualsiasi altro tipo di trattamento nell'incrementare la flessibilità degli Hamstrings?”. Dal quesito è stato estrapolato il seguente P.I.C.O.S.:

Popolazione: Atleti

Intervento: Neurodinamica

Confronto: Altri trattamenti

Outcome: Flessibilità degli Hamstrings

Studi: Trial Clinici

Al fine di rendere la ricerca più ampia ed esaustiva sono stati inclusi sia studi i cui interventi erano diretti esclusivamente ad atleti, sia studi che eseguivano la sperimentazione su individui non sportivi. In tutti gli studi inclusi sono stati reclutati soggetti sani: non affetti ovvero da alcun tipo di patologia (ortopedica, neurologica, metabolica, reumatica), che non fossero stati sottoposti recentemente ad interventi chirurgici e che non soffrissero di dolore alla schiena acuto o cronico. In tutti gli studi considerati erano stati inoltre esclusi individui che stessero partecipando o avessero recentemente preso parte a programmi fisici volti a migliorare la flessibilità degli ischiocrurali.

Non sono stati posti limiti di età o di sesso nella popolazione; sono stati inclusi nella revisione studi i cui soggetti analizzati avessero una riduzione della lunghezza dei muscoli posteriori della coscia, misurata attraverso i principali test di outcome (AKET, SLR, SLUMP).

Sono stati inclusi tutti gli studi che indagavano l'efficacia di una tecnica neurodinamica rispetto a qualsiasi altro intervento proposto, oppure anche a nessun altro intervento, per migliorare la flessibilità dei muscoli posteriori della coscia. In ogni studio quindi, il gruppo di intervento era sottoposto ad un intervento di neural sliding o di neural tensioning, e veniva confrontato con un gruppo di controllo, al quale poteva essere somministrato un altro trattamento, o anche un semplice intervento placebo. Sono stati inclusi anche studi in cui nel gruppo sperimentale gli interventi di mobilizzazione neurodinamica venivano somministrati in aggiunta al trattamento che veniva proposto al gruppo di controllo. I trattamenti proposti come alternativa agli interventi neurodinamici sono stati: stretching statico (SS), stretching dinamico (SD), facilitazione neuromuscolare propriocettiva (PNF), auto-rilascio mio-fasciale (MFR).

La misura di outcome principale era il miglioramento della flessibilità degli ischiocrurali, misurato attraverso:

- Straight Leg Raise attivo (SLR) o passivo (PSLR)
- Sit and Reach Test (SRT)
- Test di estensione (attiva o passiva) del ginocchio (AKET o PKET) o limitazione dell'estensione del ginocchio (AKEL o PKEL)
- SLUMP test
- Lunghezza del bicipite femorale e del semitendinoso

Sono stati inclusi sia studi che valutavano solamente l'efficacia a breve termine degli interventi neurodinamici, sia studi con follow-up di varie settimane, nei quali quindi si indagava il mantenimento più o meno significativo dell'eventuale aumento della flessibilità muscolare guadagnata.

## **2.2 Fonti di informazione e strategie di ricerca**

Le ricerche sono state condotte sulle seguenti banche dati: PubMed, PEDro, Cinahl, Cochrane Library, Google Scholar.

Sono state utilizzate le seguenti parole chiave:

athletes, neural structures, neural tension, neurodynamic, neurodynamic technique, nerve mobilization, nerve stretch, neural mobilization, glid, slid, tension, flexibility, hamstring tendons, hamstring muscles, hamstring injuries, hamstring flexibility, athletic injuries

Sono stati inclusi trial clinici e studi osservazionali, delle revisioni sistematiche trovate sono stati analizzati gli studi primari inclusi. Sono stati inoltre analizzati i riferimenti bibliografici degli studi trovati, così come anche gli articoli correlati.

Si riportano le stringhe di ricerca utilizzate in ciascuna delle banche dati:

- Nella banca dati **PubMed** è stata condotta la seguente ricerca avanzata:

(((((athletes) OR ("Athletes"[Mesh])) AND ((Neurodynamic\*) OR ("nerve mobilization") OR ("nerve stretch") OR ("neural mobilization") OR (glid\*) OR (slid\*) OR (tension\*))) AND (hamstring flexibility)) OR ("Hamstring Muscles"[Mesh])) AND (flexibility)

Era stata inoltre effettuata la ricerca preliminare con i seguenti termini liberi:

(athletes) AND (neural structures) AND (hamstring injuries)

- Nella banca dati **PEDro** è stata condotta la seguente ricerca semplice:

athletes\*neurodynamic\*hamstring flexibility\*

- Nella banca dati **Cinahl** è stata condotta una ricerca semplice con la seguente stringa:

(athletes) AND (neurodynamic) AND (hamstring injury OR hamstring strain OR hamstring tear)

- Nella banca dati **Cochrane** è stata condotta la ricerca semplice:

\*hamstring

applicando i seguenti filtri: “All Text” e “Orthopaedics & trauma”

- Sul motore di ricerca Google Scholar è stata condotta una ricerca con la stringa:

(athletes) AND (neurodynamic technique) AND (hamstring flexibility)

applicando i seguenti filtri: “articoli scientifici” e “dal 2010 ad oggi”

## 2.3 Selezione degli studi

Il processo di selezione si è svolto in 3 fasi

- Identificazione: fase in cui è stato identificato il numero totale degli studi risultanti dalle diverse banche dati e si è proceduti con l'eliminazione dei duplicati
- Screening: fase che ha permesso una prima eliminazione di diversi studi attraverso la lettura del titolo e poi una seconda eliminazione attraverso la lettura degli abstract
- Inclusione: fase che ha permesso l'identificazione degli studi da includere nella revisione attraverso la lettura dei full text

Al termine di questo processo sono stati selezionati 11 studi primari e 3 revisioni, dalle quali sono stati estrapolati complessivamente 5 studi, per un totale di 16 studi primari inclusi nella revisione sistematica.

Il processo di selezione degli studi è stato schematizzato nel diagramma di flusso (**Figura I**)

I dati di ciascuno studio sono stati estrapolati e riportati nella tabella dei risultati (**Tabella I**); per ogni studio è stato indicato:

- Primo autore e anno di pubblicazione
- Popolazione indagata e numero di campioni
- Trattamento eseguito nel gruppo sperimentale e nel gruppo di controllo
- Misure di outcome che interessavano il quesito di ricerca della tesi
- Risultati

## 2.4 Rischio di Bias (Risk of Bias, RoB)

Per valutare il RoB degli studi inclusi in questa tesi è stata utilizzata la Scala di Pedro, la quale assegna da 0 a 10 punti. Per ciascun criterio rispettato dallo studio si assegna 1 punto se lo studio soddisfa il criterio, 0 punti se non soddisfa il criterio.

Si riportano di seguito gli items della scala

1. I criteri di eleggibilità sono stati specificati
2. I soggetti sono stati assegnati in maniera randomizzata ai gruppi
3. L'assegnazione dei soggetti era nascosta
4. I gruppi erano simili all'inizio dello studio per quanto riguarda i più importanti indicatori prognostici
5. Tutti i soggetti erano "ciechi" rispetto al trattamento
6. Tutti i terapisti erano "ciechi" rispetto al tipo di trattamento somministrato
7. Tutti i valutatori erano "ciechi" rispetto ad almeno uno degli obiettivi principali dello studio
8. I risultati di almeno un obiettivo dello studio sono stati ottenuti in più dell'85% dei soggetti inizialmente assegnati ai gruppi
9. Tutti i soggetti analizzati al termine dello studio hanno ricevuto il trattamento cui erano stati assegnati oppure, se non è stato così, i dati di almeno uno degli obiettivi principali sono stati analizzati per "intenzione al trattamento"
10. I risultati della comparazione statistica tra i gruppi sono riportati per almeno uno degli obiettivi principali
11. Lo studio fornisce sia misure di grandezza che di variabilità per almeno uno degli obiettivi principali

Il criterio n°1 definisce la validità esterna dello studio, ovvero la sua generalizzabilità, e quindi la possibilità di essere effettivamente applicabile ad una popolazione "reale" di pazienti; questo non viene considerato per calcolare il punteggio totale della scala. I criteri da 2 a 9 valutano la validità interna dello studio, definita dai possibili errori di metodo che possono essere presenti. I criteri 10 e 11 indagano la presenza o meno di informazioni statistiche sufficienti per rendere i risultati interpretabili.

Uno studio può essere considerato avere un'alta qualità metodologica se riceve un punteggio uguale o superiore a 6, mentre uno studio con un punteggio inferiore a 4 è considerato di bassa qualità metodologica.

Per ogni studio è stato inoltre indagato se fosse un articolo indicizzato su MedLine e se la rivista sulla quale è stato pubblicato fosse stata sottoposta al processo di PeerReview.

La somministrazione della Scala di Pedro ad ogni studio è stata riportata nel capitolo dei risultati (**Tabella II**).

## 2.5 Sintesi dei risultati

E' stata eseguita una sintesi qualitativa dei risultati degli studi inclusi, accompagnata da una meta-analisi, condotta da una bio-statista esterna al processo di revisione sistematica.

Per svolgere l'analisi qualitativa si è eseguita una sintesi dei risultati dei singoli studi, riportando l'effetto che gli interventi sperimentali e di controllo hanno avuto sull'out come indagato nella revisione, ossia la flessibilità degli ischio-crurali.

La meta-analisi è stata condotta considerando un totale di 23 studi in quanto gli articoli che riportavano più di un test per valutare lo stesso out come sono stati considerati come studi separati; è stato reclutato un numero totale di soggetti pari a  $n=957$ , di cui 481 appartenenti al gruppo sperimentale e 476 appartenenti al gruppo di controllo.

Per ciascuno studio è stato calcolato il valore della differenza media standardizzata (SMD), con relativo errore standard (SE), al fine di rendere maggiormente confrontabili i dati estrapolati dai singoli studi. I valori sono stati aggiustati in base alla direzione della scala di misurazione utilizzata per ogni studio, vale a dire, se valori più alti della scala indicavano un incremento di flessibilità o, viceversa, se una flessibilità maggiore era definita da valori più bassi della scala.

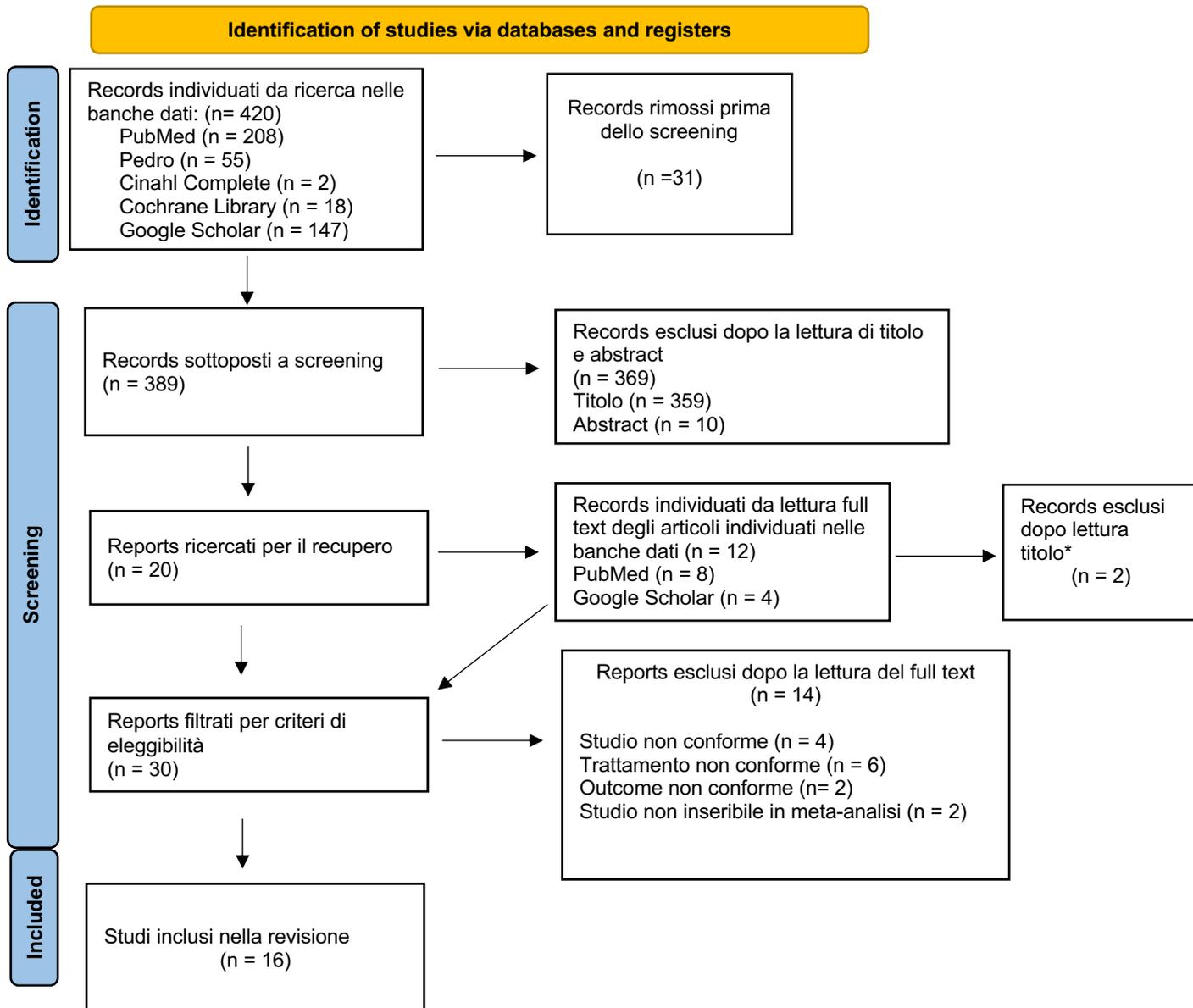
Per valutare se ci fosse eterogeneità tra gli studi è stato utilizzato il test Q totale di Cochrane: un valore Q significativo ( $P<0.05$ ) indica la presenza di una significativa eterogeneità tra gli studi. Per quantificare la percentuale di variabilità reale degli effetti osservati, è stato calcolato l'indice di incoerenza ( $I^2$ ) i cui valori sono interpretati come: presenza di variabilità bassa (25-50%), moderata (50-75%) o alta (75%). Inoltre, per verificare la reale varianza degli effetti, è stata calcolata la statistica  $\tau^2$ . Se l'eterogeneità tra gli studi risulta elevata, la meta-analisi viene eseguita utilizzando un modello a effetti casuali (random).

I risultati della meta-analisi sono stati presentati mediante un grafico Forest Plot (**Figura II**). La presenza di bias di pubblicazione è stata valutata eseguendo il t test di regressione Egger e presentata graficamente tramite un Funnel Plot (**Figura III**).

Per eseguire le analisi è stato utilizzato il software R Studio v.4.2.3 considerando un livello di significatività statistica fissato a  $P < 0,05$ ; per il test di bias di pubblicazione il livello di significatività considerato è invece pari a  $P < 0.10$

## CAPITOLO 3: RISULTATI

### 3.1 Selezione degli studi



**Figura I – Diagramma di flusso**

La ricerca condotta nelle banche dati ha prodotto in totale 420 risultati; attraverso lo screening della bibliografia degli studi trovati nelle banche dati PubMed e Google Scholar, è stato inoltre reclutato un numero di studi pari a n=12 in particolare degli 8 studi trovati su PubMed 2 sono stati individuati come bibliografia di studi primari, 2 come articoli correlati ad uno studio primario, mentre 4 sono

stati individuati come RCT inclusi in 2 revisioni individuate attraverso la ricerca sulla banca dati. Tramite la ricerca su Google Scholar sono state individuate 2 revisioni sistematiche che includevano ciascuna 2 studi primari, in seguito 2 di questi studi sono stati esclusi in quanto già individuati tramite la ricerca su PubMed.

Dopo aver letto i full text di ogni articolo sono stati esclusi un totale di n=14 studi, di cui 4 in quanto revisioni sistematiche (quindi studi secondari); 6 studi sono stati esclusi poiché non rispettavano i criteri di inclusione per quanto riguardava il trattamento, in particolare in questi studi venivano confrontati due trattamenti di mobilizzazione neurale, oppure l'intera popolazione veniva sottoposta al trattamento neurodinamico, senza la presenza di un gruppo di controllo. 2 studi sono stati esclusi poiché non presentavano come outcome come l'aumento di flessibilità degli Hamstrings, bensì uno indagava la positività o meno allo SLUMP test e uno i giorni di attività sportiva persi. 2 studi infine sono stati esclusi in quanto non fornivano i dati necessari per l'esecuzione della meta-analisi; in particolare in uno studio non venivano riportate le differenze medie standardizzate (SMD), mentre un altro studio forniva solamente la differenza espressa in percentuale dei valori di flessibilità dei gruppi sperimentale e di controllo all'inizio e al termine della sperimentazione, ma non i valori assoluti a T0 e T1.

Al termine del processo di selezione, sono stati inclusi nella revisione 16 studi sperimentali, di cui 14 RCT e 2 studi cross-over.

Gli studi sono stati pubblicati tra il 2010 e il 2023.

### 3.2 Tabella sinottica

|   | AUTORE                    | POPOLAZIONE  | INTERVENTO SPERIMENTALE  | INTERVENTO DI CONTROLLO  | OUTCOME   | RISULTATI              |
|---|---------------------------|--|--|--|---|------------------------|
| 1 | Waldhelm A J<br>2019      | studenti universitari<br>23.6 ± 2.65 aa<br>n°campioni = 2  | n° pazienti = 14<br><b>neural gliding</b><br>60"<br>2 rep x ciascuna gamba   | n° pazienti = 13<br><b>stretching dinamico</b><br>I soggetti hanno contratto l'antagonista del muscolo bersaglio per allungare il muscolo agonista<br>5 vv lentamente e poi 10 vv rapidamente.   | <b>SLR (°)</b><br>follow-up subito dopo gli esercizi                  | NS                     |
| 2 | SAFAA M.<br>SADEK<br>2021 | soggetti con sindrome dei muscoli posteriori della coscia corti (AKET<160°)<br>18-3aa<br>n° campioni = 2 | n° pazienti = 20<br><b>neural tensioner</b><br>soggetto seduto, colonna cervicale estesa, flessione di entrambe le ginocchia, rachide toracico in posizione di accasciamento; il terapeuta ha flesso passivamente il rachide cervicale con estensione simultanea del ginocchio e dorsiflessione del piede<br>posizione mantenuta per 60" | n° pazienti = 20<br><b>PNF</b><br>soggetto in posizione supina con l'arto inferiore non dominante legato al tavolo, per ogni allungamento, il terapeuta ha allungato il muscolo del tendine del ginocchio flettendo passivamente l'anca con il ginocchio completamente esteso. Il muscolo ischiocrurale è stato allungato fino a quando il soggetto ha riportato la prima lieve sensazione di allungamento<br>posizione mantenuta per 7". Successivamente, il soggetto ha contratto isometricamente il muscolo per 3" tentando di spingere la gamba verso il tavolo contro la resistenza del terapeuta.<br>In seguito il terapeuta ha allungato passivamente il muscolo fino a quando non è stata segnalata una lieve sensazione di stiramento<br>posizione mantenuta per 7" | <b>AKET (°)</b><br>follow-up subito dopo gli esercizi                 | NS                     |
| 3 | Sharma<br>2015            | soggetti con ridotta flessibilità degli ischiocrurali (AKEL>20°)<br>22 ± 2,4aa<br>n°campioni = 3         | n° pazienti = 20<br><b>neural gliding (+ stretching statico)</b><br>n° pazienti = 20<br><b>neural tensionig (+ stretching statico)</b>   | n° pazienti = 20<br><b>stretching statico</b><br>partecipanti in posizione supina con l'anca e il ginocchio in 90-90° di flessione e il piede in flessione plantare. Per fornire lo stretching, il ginocchio è stato lentamente esteso fino a quando il fisioterapista non ha avvertito la massima resistenza. Questa forma di stretching statico dei muscoli posteriori della coscia in 90-90 con il piede flesso plantare è stata scelta per ridurre al minimo la tensione sui nervi sciatico e tibiale<br>posizione mantenuta per 30''  | <b>AKEL (°)</b><br>follow-up 1 h dopo l'intervento dell'ultimo giorno | PRO NG+SS<br>PRO NT+SS |

|   | AUTORE                  | POPOLAZIONE   | INTERVENTO SPERIMENTALE  | INTERVENTO DI CONTROLLO  | OUTCOME  | RISULTATI |
|---|-------------------------|---|--|--|--|-----------|
| 4 | De Ridder R<br>2019     | individui maschi<br>fisicamente attivi con<br>rigidità degli hamstrings<br>(SLR $\leq$ 75°)<br>18-30 aa<br>n° campioni = 2    | n° pazienti = 25<br><b>neural gliding</b><br>20 rep x 3 serie x 6 sett.                                      | n° pazienti = 25<br><b>stretching statico</b><br>3 rep x 30"   | <b>SLR (°)</b><br>follow-up al termine delle<br>6 sett. e dopo 4 sett.                     | PRO NG    |
| 5 | Vidhi<br>2014           | soggetti con rigidità degli<br>hamstrings (AKEL $>$ 20°)<br>n° campioni = 2   | n° pazienti = 15<br><b>neural gliding</b><br>è stata utilizzata la tecnica SLUMP<br>3serie<br>30 rep x serie | n° pazienti = 15<br><b>PNF</b><br>soggetto supino; il terapeuta ha spostato la<br>gamba estesa fino a un punto di lieve fastidio e<br>ha mantenuto l'allungamento per 10". Quindi al<br>soggetto è stato chiesto di contrarre<br>isometricamente gli ischiocrurali spingendo la<br>gamba estesa contro la mano del terapeuta, il<br>quale ha applicato una forza sufficiente in<br>modo che la gamba rimanesse statica. Il<br>soggetto è stato quindi istruito a rilassarsi e il<br>terapeuta ha eseguito un secondo allungamento<br>passivo per 30"<br>3 rep x sessione | <b>AKEL (°)</b><br>follow-up dopo 3 gg   | PRO PNF   |
| 6 | Balci A<br>2020         | lottatori con<br>AKET $\leq$ 85°<br>n° campioni = 2   | n° pazienti = 38<br><b>neural gliding</b>  | n° pazienti = 36<br><b>stretching</b><br>30 rep  | <b>AKEL (°)</b><br><b>SRT (cm)</b><br>follow-up subito dopo gli<br>esercizi                | NS        |
| 7 | Shaikh AA<br>2023       | individui con rigidità dei<br>muscoli posteriori della<br>coscia (AKET $<$ 125°),<br>18-25 aa<br>n° campioni = 2              | n° pazienti = 35<br><b>neural gliding</b><br>60" x 5 vv  | n° pazienti = 35<br><b>auto-MFR</b><br>partecipanti in posizione seduta su una<br>superficie piana, con le braccia posizionate<br>all'indietro e il peso corporeo caricato sui<br>palmi; un foam roller è stato posizionato sotto i<br>muscoli posteriori della coscia e la pressione è<br>stata applicata muovendosi lentamente avanti e<br>indietro dalla tuberosità ischiatica al mm<br>popliteo<br>4' al giorno  | <b>AKET (°)</b><br>follow-up dopo 2 mesi   | PRO NG    |
| 8 | Sucheeta Golhar<br>2017 | giocatori amatoriali di<br>calcio con flessibilità degli<br>hamstrings ridotta<br>(SLR $<$ 80°)<br>16-22 aa<br>n°campioni = 2 | n° pazienti = 15<br><b>neural gliding</b><br>60" x 5 rep   | <b>controllo</b>   | <b>SLR (°)</b><br>follow-up al termine della<br>settimana di trattamento e<br>a 1 e 2 mesi | PRO NG    |

|    | AUTORE                            | POPOLAZIONE  | INTERVENTO SPERIMENTALE   | INTERVENTO DI CONTROLLO  | OUTCOME  | RISULTATI                           |
|----|-----------------------------------|--|---|--|--|-------------------------------------|
| 9  | Muanjai P J<br>2023               | donne giovani<br>20,9 ± 0,7 aa<br>n° campioni = 1<br>donne anziane<br>66,6 ± 4,2 aa<br>n° campioni = 1           | n° pazienti = 30<br><b>neural gliding</b>   | n° pazienti = 30<br><b>stretching dinamico</b><br>n° pazienti = 30<br><b>controllo</b> | <b>SRT (cm)</b><br><b>SLR (°)</b><br>follow-up subito dopo gli esercizi                          | NS                                  |
| 10 | Satkunskiene D<br>2022            | calcianti<br>18,0 ± 1,4 aa<br>n° campioni = 1  | n° pazienti = 15<br><b>neural gliding</b>   | n° pazienti = 15<br><b>foam rolling</b>  | <b>SLR (°)</b><br><b>PKET (°)</b><br><b>STF</b><br>follow-up immediatamente dopo<br>l'intervento | SLR NS<br>STF PRO NG<br>PKET PRO NG |
| 11 | Castellote-Caballero<br>Y<br>2014 | soggetti con sindrome dei<br>muscoli posteriori della coscia<br>corti (SLR ≤ 80°)<br>20-45 aa<br>n° campioni = 3 | n° pazienti = 40<br><b>neural gliding</b>   | n° pazienti = 40<br><b>stretching statico</b><br>n° pazienti = 40<br><b>placebo</b>    | <b>SLR (°)</b><br>follow-up subito dopo gli esercizi   | PRO NG                              |
| 12 | Méndez-Sánchez<br>2010            | giocatori di calcio,<br>18-24 aa<br>n° campioni = 2  | n° pazienti = 4<br><b>stretching statico + neural gliding</b><br>60" x gamba                    | n° pazienti = 4<br><b>stretching statico bilaterale</b><br>x 5'                        | <b>SRT (cm)</b><br><b>SLUMP</b><br><b>SLR (°)</b><br>follow-up subito dopo gli esercizi          | PRO NG + SS                         |
| 13 | Castellote-Caballero<br>Y<br>2013 | giocatori amatoriali di calcio<br>con SLR ≤ 75°<br>19-22 aa<br>n° campioni = 2                                   | n° pazienti = 14<br><b>neural gliding</b>   | n° pazienti = 14<br><b>controllo</b>   | <b>SLR (°)</b><br>follow-up al termine della settimana<br>di trattamento                         | PRO NG                              |
| 14 | Anil R Muragod<br>2017            | soggetti con rigidità<br>hamstrings (PKEL compreso<br>tra 20° e 50°, SLR < 70°)<br>65-75 aa<br>n° campioni = 2   | n° pazienti = 10<br><b>neural gliding</b>   | n° pazienti = 10<br><b>stretching statico</b><br>x 60"                                 | <b>PKEL (°)</b><br><b>PSLR (°)</b><br>follow-up a 2 settimane, dopo<br>l'ultima seduta           | NS                                  |
| 15 | Pattanasin<br>Areudomwong<br>2016 | calcianti maschi sani con<br>rigidità hamstrings<br>(PKEL > 15°, SLUMP +),<br>18-25 aa<br>n° campioni = 2        | n° pazienti = 20<br><b>neural gliding</b><br>3 sessioni di trattamento a settimana x 4<br>sett. | n° pazienti = 20<br><b>controllo</b>   | <b>PKEL (°)</b><br>follow up 1 giorno dopo l'ultima<br>sessione                                  | PRO NG                              |
| 16 | Gatha Patel<br>2019               | soggetti con AKET < 160° e<br>SLR < 70°,<br>18-25 aa<br>n° campioni = 2  | n° pazienti = 40<br><b>neural gliding</b>   | n° pazienti = 40<br><b>auto-MFR (foam rolling) +</b><br><b>stretching statico</b>      | <b>SLR (°)</b><br><b>AKET (°)</b><br>follow up subito dopo gli esercizi                          | PRO NG                              |

**Tabella I – descrizione degli studi inclusi**

PNF: facilitazione neuromuscolare propriocettiva; auto-MFR: auto-rilascio mio-fasciale; SLR: Straight Leg Raise; PSLR: Passive Straight Leg Raise; AKET: Active Knee Extension Test; AKEL: Active Knee Extension Limitation; PKET: Passive Knee Extension Test; PKEL: Passive Knee Extension Limitation; SRT: Sit and Reach Test; STF: stiffness; SLUMP: test di flessione forzata; NS: non significativo; NG: neural gliding; NT: neural tensioning; SS: stretching statico

### **3.3 Estrazione dei dati**

Per estrapolare i dati necessari per svolgere la meta-analisi sono stati considerati i valori di flessibilità a T0 (prima del trattamento) e a T1 (dopo il trattamento), misurati dagli out-come dei vari studi. Se nello studio era stato eseguito più di un follow-up, ovvero erano presenti più misurazioni della flessibilità post-trattamento, è stato considerato come valore di T1 la prima misurazione riportata dopo il termine della somministrazione dell'intervento; questo in quanto la gran parte degli studi indagava l'efficacia degli interventi nell'aumentare la flessibilità a breve termine. Quando sono stati misurati entrambi gli arti, per la meta-analisi è stata utilizzata la misura dell'arto dominante, se era specificato, diversamente è stato utilizzato il valore dell'arto dx. In uno studio (n° 3) era presente un gruppo che eseguiva neural sliding, uno che eseguiva neural tensioning, ed uno che era sottoposto a stretching statico: in questo caso si è considerato come gruppo di controllo quello che eseguiva stretching, mentre come gruppo di intervento quello che eseguiva neural sliding; questo in quanto per la maggior parte degli studi inclusi, il gruppo sperimentale era stato sottoposto ad interventi di mobilizzazione neurale, e non di tensionamento. Quando era presente un gruppo che eseguiva un trattamento neurodinamico, un gruppo sottoposto a qualsiasi altro intervento, ed uno a cui era somministrato un trattamento placebo, o nessun trattamento, è stato considerato come gruppo di controllo quello in cui veniva eseguito un altro trattamento.

### 3.4 Rischio di bias

| articolo | criteri |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | TOTALE | indicizzato<br>MedLine | peer<br>reviewed |
|----------|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|------------------------|------------------|
|          | 1       | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 |        |                        |                  |
| 1        | si      | no | no | si | no | no | no | no | si | si | si | 4      | no                     | si               |
| 2        | si      | no | no | si | no | no | no | si | si | si | si | 5      | no                     | si               |
| 3        | si      | si | si | si | no | no | si | si | si | si | si | 8      | si                     | si               |
| 4        | si      | si | no | si | no | no | no | no | si | si | si | 4      | si                     | si               |
| 5        | si      | si | no | si | no | no | no | no | si | si | si | 4      | no                     | si               |
| 6        | si      | si | no | si | no | no | si | si | si | si | si | 7      | no                     | no               |
| 7        | si      | no | no | si | no | no | no | si | si | si | si | 5      | no                     | no               |
| 8        | si      | si | no | si | no | no | no | si | si | si | si | 7      | no                     | si               |
| 9        | si      | si | no | si | no | no | si | si | si | si | si | 7      | si                     | no               |
| 10       | si      | si | no | si | no | no | no | si | si | si | si | 6      | si                     | si               |
| 11       | si      | si | no | si | 9      | no                     | si               |
| 12       | si      | si | no | si | no | no | si | no | si | si | si | 5      | si                     | si               |
| 13       | si      | si | no | si | no | no | si | si | si | si | si | 7      | si                     | si               |
| 14       | si      | si | si | si | no | no | no | si | si | si | si | 7      | no                     | si               |
| 15       | si      | si | si | si | no | no | si | si | si | si | si | 8      | no                     | si               |
| 16       | si      | si | no | si | no | no | si | no | no | si | si | 5      | no                     | si               |

**Tabella II – Scala di Pedro**

Sono stati individuati 9 studi su 16 con un'alta qualità metodologica; di questi 1 studio (28) è risultato soddisfare tutti i criteri tranne uno (assegnazione nascosta dei soggetti), inoltre, solamente questo studio è stato condotto in cieco sia per i soggetti, sia per i terapisti, sia per i valutatori. In tutti gli studi venivano riportate caratteristiche basali simili tra i soggetti, inoltre ogni studio incluso ha fornito i risultati della comparazione statistica tra i gruppi e misure sia di grandezza sia di variabilità per almeno uno degli obiettivi principali (requisiti necessari per condurre la meta-analisi).

### 3.5 Risultati dei singoli studi

Primo studio: di *Waldhelm AJ et al.*, del 2019 “Acute Effects Of Neural Gliding On Athletic Performance” (29)

Trial clinico che si pone come obiettivo quello di indagare le differenze tra gli effetti a breve termine degli esercizi di scorrimento del nervo sciatico e di stretching dinamico degli arti inferiori sulla flessibilità dei muscoli posteriori della coscia e sulle prestazioni atletiche. I partecipanti reclutati per lo studio, maschi sani che praticavano regolarmente attività fisica almeno una volta a settimana per 30 minuti, hanno eseguito una sessione di riscaldamento prima di essere sottoposti al trattamento a cui erano stati assegnati.

Misure di out-come:

- Straight Leg Raise (SLR), misurato con un inclinometro digitale mentre il soggetto giaceva supino; sono stati valutati entrambi gli arti inferiori per 3 volte ed è stata fatta una media delle 3 misurazioni
- oltre alla flessibilità degli ischiocrurali sono state misurate anche l'altezza del salto verticale, la corsa a navetta di 20 iarde e lo sprint di 10 e 20 iarde.

Il trattamento di neural sliding è stato somministrato con i partecipanti seduti su un lettino, i piedi staccati da terra con le caviglie in flessione plantare e la colonna vertebrale in flessione (o posizione di accasciamento). E' stato in seguito chiesto ad ogni individuo di estendere il ginocchio e contemporaneamente di portare il rachide cervicale in estensione e la caviglia in dorsi-flessione, per poi ritornare alla posizione di partenza. Nell'intervento di stretching dinamico le componenti muscolari sono state allungate in quest'ordine: flessori plantari, estensori dell'anca, flessori di ginocchio, flessori dell'anca, estensori di ginocchio.

I risultati di questo studio hanno rivelato effetti simili tra il gruppo di scivolamento neurale e stretching dinamico nell'incremento della flessibilità dei muscoli posteriori della coscia: in particolare sono stati registrati miglioramenti significativi tra pre e post intervento per la flessibilità del bicipite femorale destro nel gruppo di stretching dinamico, con un incremento medio di 3,4°, e per la flessibilità del bicipite femorale sinistro nel gruppo di scivolamento neurale, con un incremento medio di 3,3°. Per gli altri out-come misurati non si sono registrati cambiamenti significativi pre e post intervento in nessuno dei due gruppi e neppure differenze inter-gruppo; questo a supporto del fatto che lo scivolamento neurale non ha prodotto effetti negativi sulle prestazioni atletiche.

Secondo studio: di *Safaa M. Sadek et al.*, del 2021, **“Immediate Effect of Neurodynamic Tensioner Versus Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Stretch on Subjects with Short Hamstring Syndrome” (23)**

In questo studio venivano confrontati gli effetti dei tensioner neurodinamici, eseguiti nella posizione di SLUMP, e della facilitazione neuromuscolare propriocettiva (PNF) per migliorare la flessibilità in soggetti con sindrome dei muscoli posteriori della coscia corti.

Misura di out-come

- AKET (Active Knee Extension Test): soggetto in posizione supina con la gamba poggiata su un panchetto al fine di mantenere anca e ginocchio dell'arto testato flessi a 90°; gli è stato chiesto di estendere attivamente il ginocchio, sollevando la gamba dal panchetto, fino a quando non sentisse una prima sensazione di allungamento nella regione posteriore della coscia. L'angolo di estensione del ginocchio è stato valutato utilizzando un goniometro digitale, misurando l'angolo creatosi tra la diafisi del femore e quella del perone; le misurazioni sono state eseguite 3 volte ed è stata fatta una media tra queste. Sono stati selezionati individui che presentavano l'arto inferiore dx come dominante.

La flessibilità degli ischio-crurali, misurata immediatamente dopo l'esecuzione del trattamento, ha avuto un aumento significativo in entrambi i gruppi di neural tensioning e PNF.

Terzo studio: di *Sharma et al.*, del 2015, **“Short term effectiveness of neural sliders and neural tensioners as an adjunct to static stretching of hamstrings on knee extension angle in healthy individuals: A randomized controlled trial” (13)**

Studio clinico randomizzato controllato a 3 bracci, in cui sono stati confrontati interventi di solo stretching statico con tecniche di neural sliding e neural tensioning in aggiunta a questo, per incrementare flessibilità degli ischiocrurali.

Misura di out-come:

- AKEL (Active Knee Extension Limitation), ossia la misura dei gradi mancanti per raggiungere una completa estensione del ginocchio, valutata con il soggetto in posizione supina e l'anca dell'arto da valutare flessa a 90°. Per decidere che arto sottoporre al trattamento, l'AKEL è stato misurato da entrambi i lati: quando i valori erano i medesimi, è stato utilizzato l'arto dominante; quando invece discordavano, è stato trattato l'arto in cui si era registrata una riduzione della flessibilità maggiore.

Per eseguire lo stretching statico i partecipanti sono stati posizionati in decubito supino con l'anca e il ginocchio flessi a 90° e la caviglia in flessione plantare; per fornire lo stretching, il ginocchio è stato lentamente esteso fino a quando il fisioterapista non ha avvertito la massima resistenza. La

posizione è stata mantenuta per 30"; è stato chiesto ai partecipanti di eseguire lo stretching 1 volta al giorno per tutti i giorni della settimana.

Nei gruppi in cui venivano eseguiti anche neural sliding e neural tensioning sono state somministrate 3 serie di trattamento, rispettivamente da 10, 15 e 20 ripetizioni ciascuna, eseguite rispettivamente ai giorni 1°, 4° e 7°.

Le misurazioni sono state effettuate 1 ora dopo il termine del trattamento dell'ultimo giorno.

Sono stati riportati miglioramenti nella flessibilità dei muscoli posteriori della coscia in ciascun gruppo, tuttavia i soggetti che hanno eseguito anche interventi neurodinamici hanno avuto una riduzione significativamente maggiore dell'angolo di limitazione dell'estensione del ginocchio rispetto al gruppo che ha effettuato stretching statico. Non sono state rilevate differenze significative nella flessibilità degli ischiocrurali al termine della settimana di trattamento tra i due gruppi sottoposti a slider e tensioner.

Quarto studio: di *De Ridder R. et al.*, del 2019, **“Neurodynamic sliders promote flexibility in tight hamstring syndrome” (18)**

L'obiettivo di questo studio era di esplorare l'effetto degli slider neurodinamici rispetto allo stretching statico sulla flessibilità dei muscoli posteriori della coscia al termine di 6 settimane di intervento e a distanza di 1 mese in una popolazione attiva; l'arto trattato era quello dominante.

I soggetti del gruppo neurodinamico hanno eseguito il "Seated Straight Leg Slider" (SSLS): per eseguire questa tecnica di scivolamento, i soggetti, seduti, hanno assunto una posizione di accosciamento, mantenendo quindi la flessione toracica e lombare durante l'intero esercizio. Sono stati in seguito eseguiti movimenti di estensione del ginocchio e dorsiflessione di caviglia, i quali miravano a produrre un aumento della tensione neurale, combinati con l'estensione cervicale, che forniva invece diminuzione della tensione neurale, alternati a movimenti di flessione del ginocchio e flessione plantare di caviglia, al fine di promuovere diminuzione della tensione neurale, combinati con la flessione cervicale, che determinava aumento della tensione neurale. Durante le 6 settimane, i soggetti sono stati istruiti ad eseguire 3 serie di 20 ripetizioni su base giornaliera.

I soggetti del gruppo di controllo sono stati istruiti a eseguire un allungamento statico standard in piedi con il tallone della gamba dominante in appoggio su una sedia; dovevano quindi spostare il

bacino in antiversione, inducendo contemporaneamente un'inclinazione in avanti del tronco, fino a quando non venisse percepita la chiara sensazione di stiramento del tendine del ginocchio nella parte posteriore della coscia. Ogni soggetto è stato istruito a fare 3 ripetizioni di allungamenti statici di 30 secondi ogni giorno.

Misura di outcome:

- SLR

Entrambi i trattamenti si sono rivelati efficaci, tuttavia si è registrato un aumento significativamente maggiore del ROM del ginocchio nel gruppo sottoposto all'intervento neurodinamico, sia al termine delle 6 settimane (aumento di 12,6° contro 9,3°), che al follow-up dopo 1 mese (9,1° contro 5,7°). Si è registrata una perdita di guadagno per entrambi i gruppi a 4 settimane dal termine del programma di trattamento (rispettivamente di 3,5° e 3,6°).

Quinto studio: di *Vidhi et al.*, del 2014, **“Comparison of PNF technique with NDS technique for hamstrings tightness in asymptomatic subjects” (30)**

Trial clinico nel quale vengono confrontati gli effetti di neural sliding e facilitazione neuromuscolare propriocettiva per ridurre la rigidità degli hamstrings in soggetti sani con ridotta flessibilità dei muscoli posteriori della coscia.

Per il trattamento di scorrimento neurale è stata eseguita la tecnica dello SLUMP: il soggetto è stato fatto sedere sul bordo del lettino con il ginocchio in flessione a 90° e gli è stato chiesto di accasciare la schiena in flessione toracica e lombare. Il terapeuta ha usato una mano per applicare una sovrappressione sulle spalle al fine mantenere la flessione della colonna vertebrale toracica e lombare; quindi al soggetto è stato chiesto di flettere il rachide cervicale e la testa il più possibile e il terapeuta ha applicato una sovrappressione per mantenere questa flessione. In seguito è stata eseguita una flessione dorsale passiva della caviglia ed un'estensione passiva del ginocchio fino a quando il soggetto iniziava a lamentare un lieve disagio. Dopodiché il terapeuta ha nuovamente flesso il ginocchio e l'intera manovra è stata ripetuta per 30 volte. Sono state eseguite in totale 3 serie al giorno per 3 giorni.

Nel gruppo sottoposto a PNF il soggetto si trovava in posizione supina: il terapista ha spostato la gamba estesa fino a un punto di lieve fastidio e ha mantenuto l'allungamento per 10 secondi. Quindi al soggetto è stato chiesto di contrarre isometricamente gli ischiocrurali spingendo la gamba estesa contro la mano del terapista, il quale ha applicato una forza sufficiente in modo che la gamba rimanesse ferma; questa posizione è stata mantenuta per 6 secondi. Al soggetto è stato quindi chiesto di rilassarsi e il terapista ha eseguito un secondo allungamento passivo per 30 secondi; sono state eseguite 3 ripetizioni per ogni sessione ed è stata eseguita una sessione al giorno per 3 giorni.

Misura di outcome:

- AKEL, valutata su entrambi gli arti inferiori al termine dei 3 giorni di trattamento

È stata riportata una differenza statisticamente significativa nelle misurazioni post-trattamento per entrambi i gruppi, con un aumento maggiore della flessibilità misurata al termine degli interventi nei soggetti del gruppo sottoposto a PNF.

Sesto studio: di *Balci A et al.*, del 2020, "**The Effect of Different Neural Mobilization Exercises on Hamstring Flexibility and Functional Flexibility in Wrestlers**" (14)

In questo studio viene comparato lo scorrimento neurale allo stretching statico per migliorare la flessibilità a breve termine degli ischiocrurali in lottatori sani con un'estensione attiva del ginocchio non superiore a 85°.

Sia lo stretching che lo sliding sono stati applicati in 3 serie da 60 secondi ciascuna nell'arco di una giornata e le valutazioni post-trattamento sono state eseguite immediatamente dopo la somministrazione degli interventi.

Misure di outcome:

- AKEL (valutato per entrambi gli arti)
- SRT (Sit and Reach Test), utilizzato per valutare la flessibilità funzionale; per l'esecuzione di questo test è stato utilizzato un dispositivo di base, agli atleti è stato chiesto di posizionare i talloni a pieno contatto con il tester e a 90° di flessione dorsale quando si sedevano in posizione seduta lunga. Dopo che la lunghezza del braccio è stata determinata sul dispositivo,

è stato chiesto loro di allungarsi il più possibile senza sollevare le ginocchia spingendo in avanti l'apparato di misurazione del dispositivo con la punta delle dita. La distanza tra la posizione iniziale e quella finale è stata registrata in cm; le misurazioni sono state prese 3 volte e sono stati registrati i valori medi.

I risultati hanno rivelato che gli esercizi di scorrimento neurale e di stretching aumentano la flessibilità dei muscoli posteriori della coscia e la flessibilità funzionale e che gli effetti di questi due esercizi sono simili.

Settimo studio: di *Shaikh AA et al.*, del 2023, **“A Comparison of the Effectiveness of Neurodynamic Sliding Technique and Self-Myofascial Release Technique for Reducing Hamstring Tightness in Healthy Individuals: A Prospective Study” (9)**

Trial clinico randomizzato controllato che ha confrontato le tecniche di neural sliding e auto-rilascio mio-fasciale, somministrate per 2 mesi, con l'obiettivo di aumentare la flessibilità in soggetti con aumentata tensione degli ischiocrurali.

I partecipanti appartenenti al gruppo di scorrimento neurodinamico sono stati posizionati in posizione seduta con il tronco in flessione toracica ed hanno eseguito movimenti di estensione del ginocchio e dorsiflessione della caviglia con estensione cervicale, alternati a movimenti di flessione del ginocchio e flessione plantare della caviglia con flessione cervicale. La sequenza veniva ripetuta per circa 60 secondi per cinque volte al giorno.

L'auto-rilascio mio-fasciale (auto-MFR) è una modalità all'interno del dominio del rilascio mio-fasciale, in cui gli individui utilizzano degli strumenti (ad esempio il rullo di schiuma) invece di affidarsi all'assistenza di un terapista. Questa tecnica consente di migliorare la flessibilità, ridurre i DOMS (dolori muscolari ad insorgenza ritardata), modificare la funzione arteriosa e regolare l'attività del sistema nervoso autonomo (SNA). La tecnica prevedeva che i partecipanti fossero in posizione di long-sitting su una superficie piana, con le braccia posizionate all'indietro ed il peso corporeo caricato sui palmi. Un foam roller è stato posizionato sotto i muscoli posteriori della coscia e la pressione è stata applicata muovendosi lentamente avanti e indietro dalla tuberosità ischiatica al muscolo popliteo. La procedura è stata eseguita per 4 minuti al giorno, tutti i giorni.

Misure di outcome:

- AKET
- scala funzionale degli arti inferiori (LEFS), che consisteva in un questionario di autovalutazione che indagava la capacità del soggetto di svolgere 20 diverse attività di vita quotidiana; sono stati valutati entrambi gli arti inferiori

I test sono stati eseguiti al termine dei 2 mesi in cui i soggetti avevano eseguito gli interventi ed i risultati hanno mostrato cambiamenti statisticamente significativi in entrambi i gruppi; le differenze osservate nell'incremento di flessibilità tra i due gruppi non sono statisticamente significative.

Ottavo studio: di *Sucheeta Golhar et al*, del 2017, **“Long term effect of Neurodynamic sliding technique to improve hamstring flexibility in football players” (16)**

Scopo dello studio era quello di valutare l'efficacia a lungo termine dello scorrimento neurodinamico eseguito 3 volte nel corso di una settimana in calciatori con ridotta flessibilità degli ischiocrurali.

Per l'esecuzione dell'intervento neurodinamico i soggetti sono stati fatti sedere con il tronco in flessione toracica e gli è stato chiesto di eseguire il movimento alternato di estensione del ginocchio/dorsiflessione della caviglia con estensione cervicale e flessione del ginocchio/flessione plantare della caviglia con flessione cervicale. Questi movimenti sono stati eseguiti per la durata di 6 secondi, per 5 volte.

Misura di outcome:

- SLR

Il range di flessione dell'anca è stato valutato al termine della settimana di trattamento ed in seguito al follow-up di 1 mese e di 2 mesi. Si ha avuto un aumento statisticamente significativo della flessibilità nel gruppo di intervento rispetto al gruppo di controllo, il quale non era stato sottoposto ad alcun tipo di intervento, al follow-up di 2 mesi; ciò suggerisce che il neural sliding può avere efficacia nell'aumentare la flessibilità a lungo termine dei muscoli posteriori della coscia.

Nono studio: di *Muanjai P J et al.*, del 2023, "**Hamstring fascicle length and physical performance changes after a single bout of dynamic stretching or neurodynamic gliding in healthy young and older adults**" (31)

Studio randomizzato cross-over che ha incluso 15 donne giovani e 15 donne anziane, le quali sono state tutte sottoposte a tre trattamenti in momenti diversi nell'arco di 3 giorni. Gli interventi erano neural sliding, stretching dinamico e controllo del riposo; è stato trattato prima l'arto non dominante ed in seguito quello dominante.

Misure di outcome:

- lunghezza del bicipite femorale e del semitendinoso (con l'anca in posizione neutra e a 45° di flessione), misurate attraverso procedure di imaging, considerando le distanze tra le giunzioni muscolo-tendinee prossimali e distali del semitendinoso e del capo lungo del bicipite
- SLR
- SRT
- misurate anche la velocità dell'arteria poplitea e la velocità di camminata veloce

I trattamenti che hanno mostrato efficacia nel migliorare SRT e SLR sia nel gruppo delle donne giovani che in quello delle anziane sono stati il neural sliding e lo stretching dinamico; inoltre non si è rilevata una differenza statisticamente significativa per queste misure di outcome tra i due trattamenti. Non ci sono stati cambiamenti per la lunghezza dei fascicoli e neppure per le altre misure di out-come dopo nessuno degli interventi; il cambiamento immediato della flessibilità è sembrato quindi essere dovuto ad aumenti nello scivolamento neurale e a cambiamenti nella tolleranza allo stretching piuttosto che ad aumenti nella lunghezza dei fascicoli.

Decimo studio: di *Satkunskiene D et al.*, del 2022, "**Warm-Up and Hamstrings Stiffness, Stress Relaxation, Flexibility, and Knee Proprioception in Young Soccer Players**" (32)

Obiettivo di questo studio cross-over randomizzato era di confrontare l'effetto del foam rolling e del neural sliding sulla rigidità passiva, sulla viscoelasticità, sulla flessibilità e sulla propriocezione dei muscoli posteriori della coscia nei giovani calciatori.

I partecipanti hanno eseguito nel periodo di 2 settimane interventi di foam rolling e di neural sliding in 2 occasioni separate.

Per eseguire l'intervento foam rolling i partecipanti hanno fatto rotolare l'arto destro su un rullo di schiuma dalla tuberosità ischiatica al ginocchio, muovendo il corpo avanti e indietro sul rullo, con l'arto sinistro posizionato sopra l'arto destro. Le mani sono state posizionate sul pavimento e non si sono mosse durante il movimento di rotolamento.

Per l'esecuzione del neural sliding l'individuo è stato posizionato supino con la colonna cervicale e toraco-lombare leggermente flessa e sostenuta da un cuscino. L'investigatore ha flesso l'articolazione dell'anca fino a 90°, mantenendo la posizione neutra della caviglia, e ha spinto l'articolazione del ginocchio in estensione per raggiungere il massimo allungamento tollerabile dei muscoli posteriori della coscia. Dopo aver raggiunto l'allungamento massimo, il partecipante ha piegato la testa in avanti per aumentare la flessione della colonna cervicale mentre l'investigatore ha flesso plantarmente il piede. L'individuo ha quindi piegato la testa all'indietro ed esteso la colonna cervicale mentre l'investigatore ha flesso dorsalmente il piede.

Sono state eseguite 6 serie da 45 secondi, con 15 secondi di riposo, per entrambi gli interventi.

Le misurazioni post-intervento sono state effettuate immediatamente dopo l'esecuzione dell'esercizio.

Misure di outcome:

- SLR
- Coppia di resistenza passiva dei muscoli posteriori della coscia (PRT), misurata attraverso il test di allungamento passivo (PST): partecipante seduto sul dinamometro isocinetico con l'anca flessa a 120° e il ginocchio flesso a 80°; in questa posizione, il dinamometro estendeva passivamente il ginocchio a 5°/s fino al punto finale del massimo disagio senza dolore. La procedura è stata ripetuta 3 volte, con 1 minuto di riposo tra le ripetizioni; dopo la seconda estensione del ginocchio, la posizione finale è stata mantenuta per 60" e il calo della coppia di resistenza passiva è stato registrato come SRT
- Viscoelasticità (misurata attraverso il test di rilassamento da stress; SRT)

- Rigidità degli ischiocrurali tra il 50% e l'80% ( $STF_{80\%}$ ) e tra l'85% e il 95% ( $STF_{max}$ ) del ROM di estensione del ginocchio, calcolata come il rapporto tra la differenza di coppia di resistenza passiva e la differenza di ROM degli ischiocrurali ( $\Delta PRT/\Delta ROM$ )
- Intervallo di movimento del ginocchio, definito come l'angolo massimo di estensione del ginocchio, dalla posizione iniziale ( $0^\circ$ ) al punto di massimo disagio
- Test di senso della posizione dell'articolazione del ginocchio (AKJPS)

Il ROM dell'anca è aumentato significativamente sia dopo l'esecuzione di neural sliding che dopo il foam rolling, senza differenze significative tra i due interventi. La rigidità dei muscoli ischiocrurali, l'intervallo di estensione attiva del ginocchio e la coppia di resistenza passiva dei muscoli posteriori della coscia sono migliorati significativamente dopo neural sliding, ma non dopo foam rolling. Non sono stati registrati cambiamenti nella viscoelasticità e nel senso di posizione dopo l'applicazione di nessuna delle due tecniche.

I risultati suggeriscono che sia il neural sliding che il foam rolling abbiano effetti positivi immediati sulla flessibilità degli hamstrings; il neural sliding in particolare ha dei vantaggi per quanto riguarda il movimento che include un'augmentata pressione sulle strutture neurali. Si suggerisce quindi di includere questa tecnica nella routine di riscaldamento.

Undicesimo studio: di *Castellote-Caballero Y et al.*, del 2014, "**Immediate Effects of Neurodynamic Sliding Versus Muscle Stretching on Hamstring Flexibility in Subjects With Short Hamstring Syndrome**" (28)

Studio randomizzato controllato che si poneva come obiettivo quello di indagare l'efficacia di una tecnica di scorrimento neurodinamico rispetto allo stretching statico o ad un intervento placebo nel migliorare la flessibilità degli hamstrings in soggetti con sindrome dei muscoli posteriori della coscia corti; è stato valutato e trattato l'arto dominante.

I partecipanti sono stati suddivisi in tre gruppi: un gruppo è stato sottoposto ad interventi di neural sliding, un gruppo ha eseguito un protocollo di stretching statico, infine ad un terzo gruppo è stato somministrato un intervento placebo attraverso una mobilizzazione passiva delle articolazioni intrinseche del piede.

Per il gruppo di stretching statico gli allungamenti sono stati eseguiti nella posizione di SLR: il terapeuta ha flesso l'anca con il ginocchio in estensione fino a quando è stata avvertita la prima

resistenza al movimento. Questa posizione è stata mantenuta per 30 secondi e ripetuta per altre 5 volte.

Gli slider neurodinamici sono stati eseguiti con il soggetto in posizione supina, con il collo e il rachide dorsale sostenuti da un cuscino in una posizione flessa in avanti. Sono state alternate flessione ed estensione simultanee di anca e ginocchio per 180 secondi.

Misure di outcome:

- SLR

La misura dell'intervallo di flessione dell'anca è stata eseguita subito dopo l'esecuzione dei trattamenti. È stato rilevato un aumento statisticamente significativo della flessibilità dei muscoli posteriori della coscia nei gruppi sottoposti a scorrimento neurodinamico e a stretching, tuttavia l'incremento maggiore si è registrato nel gruppo di neural sliding e questa differenza è risultata statisticamente significativa.

Dodicesimo studio: di *Méndez-Sánchez et al.*, del 2010, **“Immediate effects of adding a sciatic nerve slider technique on lumbar and lower quadrant mobility in soccer players: a pilot study”** (33)

In questo studio randomizzato controllato sono stati confrontati due gruppi in cui, in un gruppo, venivano eseguite tecniche di scivolamento neurodinamico del nervo sciatico in aggiunta a stretching degli ischiocrurali, mentre all'altro gruppo veniva somministrato solamente stretching statico. L'obiettivo dello studio era quello di valutare gli effetti di questi diversi interventi sulla flessibilità lombare e del quadrante inferiore, in giovani calciatori sani.

Sono stati trattati e valutati entrambi gli arti.

Tutti i soggetti hanno ricevuto uno stretching statico dei muscoli ischiocrurali: i partecipanti sono stati posti in posizione supina con entrambe le anche a 90° di flessione, le ginocchia estese e il rachide cervicale in posizione neutra; questa posizione è stata mantenuta per 5 minuti.

In aggiunta i soggetti del gruppo sperimentale hanno eseguito anche una tecnica di scorrimento neurodinamico: sono stati posizionati supini con il collo sostenuto in una posizione flessa in avanti; sono state alternate flessione ed estensione simultanee di anca e ginocchio. Questa combinazione di

movimenti è stata eseguita per 60 secondi su ciascuna gamba. I test per valutare le misure di outcome sono stati eseguiti 5 minuti prima e 5 minuti dopo l'intervento.

Misure di outcome:

- SRT
- SLUMP test
- SLR
- Misura della distanza delle dita da terra in flessione lombare
- Test di Schober, per valutare la flessibilità e mobilità delle vertebre lombari: è stato preso un punto di riferimento a livello dell'articolazione lombo-sacrale e altri due punti sono stati segnati 10 cm sopra e 5 cm sotto a questo, i partecipanti hanno flesso il tronco in avanti, mantenendo le ginocchia estese; a questo punto è stata misurata la nuova distanza tra i 3 punti

Gli intervalli di flessione dell'anca e di estensione del ginocchio hanno avuto un aumento significativamente maggiore nel gruppo sperimentale, come anche il test di Schober. La misura della distanza delle dita da terra è migliorata in maniera significativa in entrambi i gruppi; non sono stati registrati miglioramenti significativi per il test di seduta e raggiungimento in nessuno dei due gruppi.

Tredicesimo studio: di *Castellote-Caballero Y et al.*, del 2013, "**Effects of a neurodynamic Sliding technique on hamstring flexibility in healthy male soccer players. A pilot study**" (34)

Trial clinico randomizzato e controllato che ha indagato gli effetti di una tecnica di scorrimento neurodinamico svolta in 3 giorni diversi nell'arco di 1 settimana sulla flessibilità dei muscoli posteriori della coscia degli arti dominanti in calciatori sani con aumentata tensione degli ischiocrurali.

I partecipanti sono stati suddivisi in due gruppi. Quello sperimentale ha eseguito interventi di neural sliding con una frequenza di 3 sessioni a giorni alterni per 1 settimana; ogni sessione consisteva nell'esecuzione di movimenti alternati di estensione del ginocchio e flessione dorsale della caviglia con estensione cervicale e flessione del ginocchio e flessione plantare della caviglia con flessione

cervicale. Questi movimenti venivano eseguiti per 60 secondi e ripetuti 5 volte. Il gruppo di controllo non è stato sottoposto a nessun tipo di trattamento.

Misure di outcome:

- SLR

La flessione dell'anca a gamba tesa è stata eseguita nuovamente al termine della settimana di trattamento ed i risultati hanno riportato miglioramenti significativi nel gruppo sottoposto al trattamento; al contrario, nel gruppo di controllo non sono stati registrati cambiamenti significativi.

Quattordicesimo studio: di *Anil R Muragod et al.*, del 2017, **“Effects of static stretching and neurodynamic mobilization on hamstring flexibility in elderly population-a randomized clinical trial” (35)**

Trial clinico randomizzato controllato che confrontava gli effetti del neural sliding e dello stretching statico per migliorare la flessibilità su una popolazione anziana con rigidità degli hamstrings; entrambi i gruppi hanno ricevuto 10 sessioni di trattamento, per 5 giorni consecutivi, nell'arco di 2 settimane.

Nell'intervento di stretching passivo, la posizione di allungamento veniva mantenuta per 10 secondi e ripetuta 3 volte, con 10 secondi di intervallo.

Gli slider neurodinamici sono stati somministrati con un'intensità di 3 serie a sessione, ciascuna da 30 ripetizioni e 10 secondi di riposo tra ogni ripetizione.

Misure di outcome:

- PKEL (Passive Knee Extension Limitation): vengono misurati i gradi mancanti per raggiungere una completa estensione passiva del ginocchio ad anca flessa
- PSLR (Passive Straight Leg Raise)

Si è registrato un miglioramento per entrambe le misure di out-come in entrambi i gruppi al termine delle 2 settimane di trattamento, suggerendo che entrambi gli interventi siano efficaci nell'aumentare la flessibilità degli ischiocrurali.

Quindicesimo studio: di *Pattanasin Areeudomwong et al.*, del 2016, **“A randomised, placebo-controlled trial of neurodynamic sliders on hamstring responses in footballers with hamstring tightness” (36)**

Trial clinico randomizzato controllato che ha indagato gli effetti del neural sliding, a confronto con un trattamento placebo nel migliorare l'estensibilità degli ischiocrurali; trattamento eseguito sull'arto dominante.

Il gruppo sottoposto a neural sliding ha ricevuto 3 sessioni di trattamento a settimana, per 4 settimane; per ogni sessione sono stati eseguiti movimenti alternati di flessione cervicale, flessione del ginocchio e flessione plantare della caviglia ed estensione cervicale, estensione del ginocchio e flessione dorsale della caviglia per la durata di 60 secondi, ripetuti 5 volte.

Al gruppo di controllo è stato somministrato un trattamento placebo a onde corte, nel quale il dispositivo è stato acceso senza che venisse applicata alcuna corrente elettrica. Le sedute di placebo sono state somministrate 3 volte a settimana per 4 settimane; ogni sessione durava 10 minuti.

Le misurazioni post-test sono state eseguite un giorno dopo l'esecuzione dell'ultima sessione di trattamento.

Misure di outcome:

- PKEL
- misura di esito secondaria era la contrazione isometrica volontaria massima (MVIC) dei muscoli posteriori della coscia, indagata attraverso un'elettromiografia di superficie

Il neural sliding ha prodotto un aumento statisticamente e clinicamente significativo dell'angolo di estensione del ginocchio, a differenza del trattamento placebo, che invece non ha riportato cambiamenti nelle misure pre e post test. Non c'è stato alcun cambiamento nell'MVIC in nessuno dei due gruppi. Si suggerisce quindi che una tecnica di scorrimento neurodinamico applicata per 4 settimane ai muscoli posteriori della coscia possa aumentarne l'estensibilità, senza modificarne l'attività elettromiografica. Sebbene il meccanismo del neural sliding sull'attività muscolare non sia chiaro, un MVIC invariato potrebbe essere dovuto al fatto che la mobilizzazione neurale ha modificato solo la percezione sensoriale o la tolleranza di un individuo allo stretching, senza

influenzare il potenziale d'azione dell'unità motoria del nervo sciatico, che regola l'attività dei muscoli posteriori della coscia.

Sedicesimo studio: di *Gatha Patel et al.*, del 2019, **“Effectiveness of Self Myofascial Release, Static Stretching and Neural Tissue Mobilization on Hamstring Flexibility in Athletes” (37)**

Obiettivo dello studio randomizzato controllato era di indagare l'efficacia della mobilizzazione neurodinamica e dell'auto-rilascio mio-fasciale unito allo stretching statico sulla flessibilità degli hamstrings negli atleti. Sono stati confrontati due gruppi: il primo è stato sottoposto ad interventi di neural sliding, il secondo ha eseguito auto-rilascio mio-fasciale attraverso la tecnica del foam rolling, combinato con stretching statico.

I soggetti che eseguivano rilascio mio-fasciale e stretching statico hanno effettuato 3 serie di foam rolling della durata di 30/60 secondi seguiti da 3 serie di stretching statico che veniva somministrato dal terapeuta, il quale muoveva l'arto inferiore verso la posizione di estensione del ginocchio fino al punto in cui il soggetto avvertiva la prima sensazione di disagio; la posizione veniva mantenuta per 20/30 secondi. Il soggetto si trovava in posizione supina.

Per eseguire il neural sliding i soggetti sono disposti posizionati supini e l'estremità dell'arto da trattare è stata posizionata sulla spalla del terapeuta. L'anca del soggetto è stata flessa passivamente, con il ginocchio in estensione, fino al punto di disagio. A questo punto, l'anca è stata ruotata medialmente e il piede è stato dorsiflesso passivamente; questa posizione è stata mantenuta per 6 secondi e l'intera procedura è stata ripetuta per 3 volte.

Misure di outcome:

- AKET
- SLR

Le valutazioni delle misure di out-come sono state eseguite il medesimo giorno dei trattamenti, immediatamente dopo il termine degli esercizi. Si è registrato un miglioramento della flessibilità degli ischiocrurali in entrambi i gruppi, ma maggiormente in quello sottoposto a neural sliding in quantità statisticamente significative.

## 3.6 Sintesi dei risultati

### 3.6.1 Sintesi qualitativa

Gli studi inclusi presentavano un alto grado di eterogeneità, per quanto riguarda la popolazione inclusa, i trattamenti sottoposti ai gruppi di controllo, la durata e la frequenza dei trattamenti sperimentali e le misure di out-come. Ciò non ha permesso di fornire un quadro complessivo delle attuali conoscenze riguardo gli effetti che la mobilizzazione neurale avesse sul miglioramento delle lunghezze dei muscoli ischio-crurali; inoltre questo spiega il perché di risultati anche diversi e talvolta discordanti tra i singoli studi.

Per quanto riguarda le misure di out-come ad esempio, lo studio di *Sharma et al.* (13) afferma che test come lo SLR possono distorcere la reale misura di flessibilità a causa della lunghezza degli ischio-crurali dell'arto controlaterale e dell'aumentata rotazione pelvica. Questo e altri studi (36) affermano che i test che misurano in maniera diretta l'angolo di estensione del ginocchio (AKET, AKEL, PKET, PKEL) sono da considerarsi la misura standard per valutare la lunghezza dei muscoli posteriori della coscia, in quanto riducono il contributo di vari fattori confondenti, tra cui appunto l'inclinazione pelvica che si ha come compenso durante la flessione dell'anca.

Tutti gli studi hanno registrato dei miglioramenti nella flessibilità dei muscoli posteriori della coscia dopo l'esecuzione di tecniche neurodinamiche.

Per quanto riguarda gli studi in cui il gruppo di controllo eseguiva un altro trattamento è stato dimostrato un miglioramento maggiore della flessibilità dei muscoli posteriori della coscia nel gruppo sperimentale in 5 studi su 11 (9,18,28,32,37). Di questi, 2 studi (28,32), sono risultati avere una buona qualità metodologica; in particolare lo studio di *Castellote-Caballero et al.* del 2014 (28), ha ottenuto alla scala di Pedro un punteggio pari a 9. Lo studio condotto da *Shaikh et al.* (9) afferma che la tecnica di scorrimento neurodinamico potrebbe essere più efficace rispetto agli interventi di rilascio mio-fasciale in quanto coinvolge sia il tessuto nervoso che quello muscolare: questa prevede infatti la combinazione di movimenti che allungano il letto nervoso e attivano il muscolo in un'articolazione e contemporaneamente accorciano il letto nervoso in un'articolazione adiacente.

I risultati dello studio di *Vidi et al.* (30), condotto nel 2014, hanno indicato che il PNF, eseguito dal gruppo di controllo, ha aumentato maggiormente il ROM di estensione del ginocchio rispetto al neural sliding. Lo studio ipotizza che questo sia dovuto al fatto che il PNF agisce in maniera diretta sul muscolo, sfruttandone la contrazione per favorire un maggior allungamento, mentre le tecniche di

mobilizzazione neurale agiscono in maniera indiretta attraverso il tessuto neurale e la mobilizzazione delle interfacce.

In 5 studi (**14,23,29,31,35**) ci sono stati effetti simili per il miglioramento della flessibilità nei gruppi sottoposti a intervento neurodinamico e in quelli sottoposti a un altro trattamento. In particolare, lo studio del 2021 di *Sadek et al.* (**23**) non ha riscontrato differenze significative tra interventi di PNF e di neural tensioning.

Comparato ad un gruppo di controllo in cui non veniva eseguito alcun esercizio o veniva somministrato un trattamento placebo, l'intervento neurodinamico ha sempre prodotto risultati statisticamente migliori (**16,34,36**).

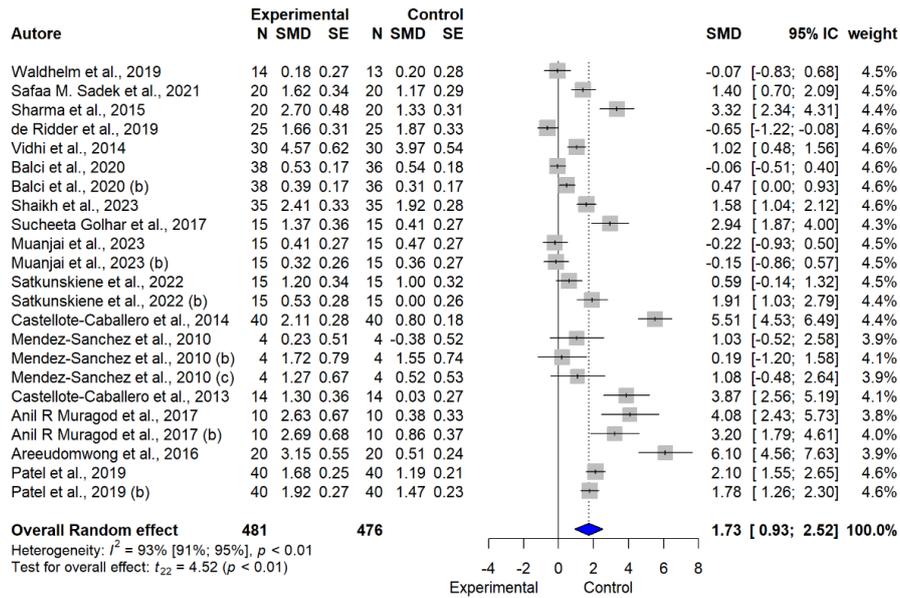
Anche negli studi in cui si valutava l'aggiunta di esercizi neurodinamici a stretching statico nel gruppo sperimentale il miglioramento è stato significativamente maggiore rispetto al gruppo di controllo in cui si eseguiva solamente stretching (**13,33**).

Per quanto riguarda le altre misure di out-come indagate nei vari studi, tra cui la viscoelasticità, il senso di posizione dell'articolazione del ginocchio, la contrazione muscolare volontaria, la velocità di camminata e corsa e il salto verticale, non sono stati riportati complessivamente cambiamenti significativi a seguito degli interventi sperimentali e di controllo.

Sono stati registrati miglioramenti statisticamente significativi a seguito dell'esecuzione di neural sliding nel test di Schober (**33**) e nella coppia di resistenza passiva (PRT) (**32**).

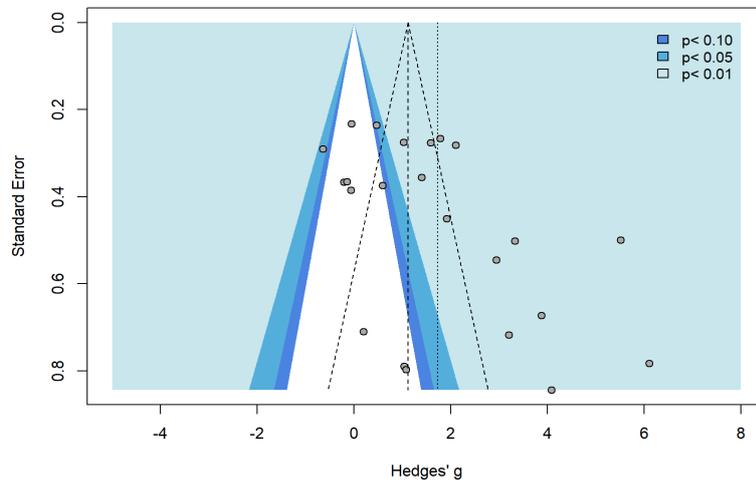
### 3.6.2 Sintesi quantitativa

Data la presenza di un'elevata eterogeneità tra gli studi ( $P < 0.001$ ;  $\tau^2 = 3.12$  e  $I^2 = 93.1\%$  con un  $IC-95\% = [90.9\%; 94.8\%]$ ), la meta-analisi è stata svolta utilizzando un modello ad effetti casuali. I risultati, presentati nel Forest Plot (**Figura II**), evidenziano la presenza di una differenza significativa tra il gruppo sperimentale (interventi neurodinamici) e quello di controllo (qualsiasi altro intervento o nessun intervento), con risultati a favore del gruppo di controllo ( $t = 4.52$ ;  $P < 0.01$ ). Il Funnel Plot (**Figura III**) è risultato avere un'asimmetria, ad indicare la presenza di numerosi bias di pubblicazione, come confermato dal risultato significativo del test di Eggers ( $\beta = 5.04$ ;  $95\% CI = 1.37; 8.71$ ];  $P = 0.014$ ).



**Figura II - Forest Plot**

Il diamante blu rappresenta la stima combinata degli studi: il centro indica la stima precisa e complessiva dell'effetto, mentre l'ampiezza dei lati rappresenta l'intervallo di confidenza. Se l'intervallo di confidenza attraversa la linea verticale (posta al valore 0), i risultati dello studio devono essere considerati statisticamente non significativi.



**Figura III - Funnel Plot**

I cerchi grigi rappresentano gli studi considerati. La forma ad imbuto tratteggiata indica l'effetto di sintesi, mentre quella bianca indica l'effetto di sintesi dopo l'aggiustamento con l'approccio trim-and-fill. L'asse delle ordinate mostra lo Standard Error di ogni studio, mentre l'asse delle ascisse rappresenta l'effect size di ogni studio. Nel caso in cui non vi siano bias di pubblicazione, tutti gli studi si collocheranno simmetricamente all'interno della forma ad imbuto bianca. Le diverse colorazioni dell'imbuto indicano i differenti livelli di significatività considerati.

## CAPITOLO 4: DISCUSSIONE

### 4.1 Interpretazione dei risultati

L'obiettivo che si poneva questa tesi era quello di eseguire una ricerca sistematica delle evidenze presenti in letteratura riguardo all'efficacia dei trattamenti neurodinamici per migliorare la flessibilità degli ischiocrurali.

Gli interventi neurodinamici, seppur proposti con modalità ed intensità diverse nei vari studi, hanno sempre prodotto miglioramenti della rigidità dei muscoli posteriori della coscia.

Nella maggior parte degli studi individuati, i pazienti inclusi hanno mostrato un incremento significativo delle lunghezze ai muscoli posteriori della coscia sia nei gruppi sperimentali che in quelli di controllo, in quantità talvolta simili, talvolta maggiori per un gruppo, talvolta maggiori per un altro.

Sono stati proposti principalmente 2 meccanismi per spiegare la maggiore estensibilità dei muscoli posteriori della coscia dopo l'applicazione di tecniche di allungamento:

1. Il primo meccanismo sostiene che a seguito di esercizi di stretching si assista effettivamente ad un aumento nelle lunghezze muscolari, dovuto a cambiamenti nelle proprietà viscoelastiche dei muscoli; tuttavia questi aumenti di lunghezza sono transitori, e la loro quantità e durata nel tempo dipendono dalla durata e dal tipo di stretching applicato.
2. L'altra ipotesi, che è stata avanzata da *Weppeler e Magnusson*, è quella che prende il nome di "teoria sensoriale", e afferma che l'aumento dell'estensibilità muscolare che si osserva dopo una singola sessione di stretching o comunque a breve termine dopo un trattamento di stretching, sia dovuto alla modifica delle sensazioni, in particolare ad un'umentata tolleranza del soggetto allo stiramento. (38)

Questi cambiamenti nella sensazione di disagio a seguito dell'allungamento delle fibre muscolari possono essere spiegati da modifiche della mecano-sensibilità dei tessuti nervosi.

Anche *Castellote-Caballero* (28,34) supporta la "teoria sensoriale", sostenendo che il punto di limitazione nell'intervallo di estensione degli ischiocrurali non dipende tanto da cambiamenti e/o tensioni nella struttura muscolare, quanto piuttosto da percezioni alterate di allungamento e dolore che inducono l'individuo ad adottare un nuovo punto di arresto nell'intervallo di movimento.

Nei suoi studi si afferma che la ridotta escursione di movimento nel test di sollevamento passivo della gamba tesa (SLR), si pone a supporto dell'ipotesi secondo cui la flessibilità limitata dei muscoli posteriori della coscia, potrebbe essere dovuta a neurodinamiche alterate che interessano il nervo sciatico. Queste potrebbero presumibilmente influenzare la lunghezza muscolare a riposo e portare a cambiamenti nella percezione dello stiramento o del dolore. Fornire movimento alle strutture nervose potrebbe indurre modifiche nella neurodinamica e nella sensazione di stiramento determinando un aumento della flessibilità delle componenti muscolari.

Anche lo studio di *Pattanasin et al.* (36) suggerisce che lo scivolamento neurale produca prevalentemente una maggior tolleranza allo stretching, rispetto che a cambiamenti nelle strutture muscolo-tendinee; lo deduce soprattutto dal fatto che non ci sono stati cambiamenti nell'attività di contrazione volontaria dei muscoli posteriori della coscia a seguito dell'applicazione di questa tecnica per 4 settimane.

Altri risultati che supportano questa teoria sono quelli dello studio condotto da *Satkunskiene et al.* (32) i quali affermano che non sono stati registrati cambiamenti nelle proprietà viscoelastiche a seguito degli interventi di foam rolling e neural sliding, e che quindi gli aumenti dell'estensibilità muscolare sono da ricondursi a cambiamenti nella sensazione di stiramento.

L'interesse finale della ricerca svolta è la correlazione tra la mobilizzazione neurodinamica e la prevenzione degli infortuni agli Hamstrings negli sportivi. La letteratura pubblicata a riguardo è molto limitata, per cui si è scelto di valutare l'efficacia della neurodinamica sul miglioramento dell'estensibilità dei muscoli ischiocrurali, sapendo che è un fattore di rischio per gli infortuni ampiamente riconosciuto.

Sono però stati individuati i seguenti studi che hanno indagato l'efficacia dei trattamenti neurodinamici sugli sportivi che hanno subito una lesione.

Uno studio di *Turl et al.* (39) ha indagato la presenza di tensione neurale avversa in individui che avevano subito una lesione di I grado agli hamstrings, ponendosi a supporto dell'ipotesi secondo cui la neurotensione anomala può risultare o addirittura essere un fattore contribuyente per gli infortuni agli ischio-crurali. Lo studio aveva come obiettivo quello di verificare l'efficacia di esercizi di mobilizzazione neurale in individui con uno SLUMP test positivo; i risultati sono stati quelli di una totale scomparsa della positività al test nei soggetti sottoposti al trattamento per 4 settimane. Ciò supporta parzialmente l'ipotesi primaria di questa tesi, ovvero il fatto che la neurotensione anomala

potrebbe avere un ruolo nel determinare un aumentato rischio di infortuni ai muscoli posteriori della coscia. Lo studio infatti ha indagato la presenza della positività al test solo dopo l'avvenimento della lesione, per questo non si può escludere che un'aumentata tensione neurale potrebbe essere stata determinata dalla lesione in sé, a causa della formazione di emorragia, infiammazione e fibrosi, che potrebbero aver causato un intrappolamento del nervo sciatico.

Si suggerisce quindi di eseguire in futuro studi di tipo prospettico, che indaghino la presenza di tensione neurale avversa in individui senza storia di lesioni agli Hamstrings, valutando in seguito l'incidenza di infortuni agli ischiocrurali per quei soggetti che avevano presentato positività ai test di mobilizzazione e tensionamento neurodinamici, in quanto attualmente ne è stato individuato solamente uno (*Mc Hugh, 19*).

Un altro studio, condotto da *Kornberg et al. (40)* ha indagato se lo SLUMP test fosse efficace nell'accelerare il rientro in campo di giocatori che avevano subito una lesione di I grado agli ischiocrurali ed avessero presentato una risposta positiva per questo test. I risultati hanno indicato che nel gruppo di individui sottoposti a stretching neurale in aggiunta al trattamento tradizionale solo 1 giocatore ha saltato più di una partita, mentre nel gruppo di controllo tutti i giocatori hanno saltato più di una partita. Ciò ad indicare come lo SLUMP possa essere un'aggiunta efficace al trattamento tradizionale nelle lesioni di primo grado agli ischiocrurali.

## **4.2 Limiti della revisione**

La maggioranza degli studi individuati si è limitata ad indagare gli effetti a breve termine degli interventi di allungamento muscolare; solamente in 4 studi sono stati valutati gli effetti a lungo termine degli interventi neurodinamici per incrementare la flessibilità degli ischio-crurali. Lo studio di *de Ridder et al. (18)* ha riscontrato una diminuzione degli effetti ottenuti al follow-up di 4 settimane, rispetto ai guadagni nell'intervallo di flessione dell'anca misurati al termine delle 6 settimane di trattamento, sia nel gruppo sperimentale, sottoposto a interventi di neural sliding, sia in quello di controllo, che effettuava stretching. Due studi, quello condotto da *Shaikh et al. (9)* e quello condotto da *Pattanasin et al. (36)*, indagano l'efficacia di tecniche neurodinamiche eseguite rispettivamente per 2 mesi e per 4 settimane, riscontrando entrambi miglioramenti significativi nella flessibilità degli ischiocrurali a seguito dell'applicazione di tecniche neurodinamiche. Nello studio di *Sucheeta et al. (16)*, infine sono stati riportati solamente i dati dei follow-up a 2 mesi dal termine degli interventi, i quali erano stati eseguiti per 1 settimana, mentre non sono stati indicati i risultati

dei test eseguiti subito dopo i trattamenti, quindi non è stato possibile eseguire un confronto degli effetti degli interventi a breve e a lungo termine; in ogni caso si è registrato in ognuno di questi un miglioramento della flessibilità maggiormente nel gruppo sperimentale.

Sarebbe interessante negli studi futuri concentrare maggiormente la sperimentazione sugli effetti a lungo termine che le tecniche neurodinamiche possono avere sul miglioramento delle lunghezze degli ischio-crurali, al fine di fornire ai terapeuti prove più concrete riguardo la reale efficacia di questi interventi e quindi il contributo che questi potrebbero effettivamente portare se aggiunti ai programmi di condizionamento fisico e di riabilitazione.

Le limitazioni principali che sono state riportate negli studi inclusi sono state la mancanza di un'intensità e una velocità standardizzata per l'esecuzione delle tecniche di mobilizzazione neurale e l'ampia eterogeneità di frequenza e tempistica di applicazione delle tecniche ai vari gruppi sperimentali.

Uno studio di *Pereira et al.* (41) ha confrontato l'efficacia della stessa tecnica di neural sliding, eseguita in diverse quantità in due gruppi di cestisti sani con limitazione dell'estensione attiva del ginocchio: in un gruppo venivano eseguite 40 ripetizioni, in un altro gruppo 80. Il ROM del ginocchio è stato misurato nuovamente immediatamente dopo l'intervento ed i risultati indicano che la mobilizzazione neurale ha prodotto miglioramenti nella flessibilità degli ischiocrurali sia dell'arto trattato sia di quello non trattato, con effetti maggiori per quello trattato, e che non ci sono state particolari differenze tra i due gruppi.

Solo 2 studi, quello condotto da *Muanjai et al.* (38), e quello di *Anil et al.* (35) indagano in maniera specifica gli effetti degli interventi di allungamento nervoso su una popolazione anziana; questo in quanto si pensa maggiormente ad una scarsa flessibilità intesa come fattore di rischio per gli infortuni nel mondo dello sport, e quindi nella popolazione giovane.

Come affermano *Muanjai et al.* (38) una ridotta ampiezza di movimento nella popolazione anziana può compromettere le capacità funzionali ed in particolar modo l'equilibrio, predisponendo ad esempio gli individui ad un aumentato rischio per le cadute.

Questo a suggerimento di indagini future sull'efficacia degli interventi neurodinamici per questa fascia di età, al fine di indagare se e in che modo interventi di mobilizzazione neurale adattati possano essere adottati come programma di esercizi da eseguire a casa o in gruppi di ginnastica indirizzati a questo campione di popolazione. Inoltre, è anche da considerare il fatto che la flessibilità si riduce fisiologicamente con l'aumentare dell'età per cambiamenti all'interno dell'architettura muscolare,

indotti anche dalla sedentarietà. Promuovere uno stile di vita sano quindi, giocherebbe anche un ruolo a favore nel prevenire l'insorgenza in primo luogo di aumentata rigidità muscolare con conseguente riduzione della capacità di movimento delle articolazioni.

La meta-analisi ha prodotto risultati contrastanti rispetto alle evidenze riguardo l'efficacia degli interventi sperimentali fornite dai singoli studi. Questi risultati sono stati giustificati dalla presenza di significativi bias di pubblicazione (individuati anche dalla scala di Pedro) e da un alto livello di eterogeneità tra gli studi, in termini specialmente di numerosità dei campioni e di differenze nei trattamenti proposti, che ha determinato difficoltà nel confrontare tra loro i diversi studi. I risultati dell'analisi statistica a favore del gruppo di controllo non devono quindi essere considerati come spiegazione di una scarsa efficacia degli interventi sperimentali riguardo alle misure di out-come che sono state indagate.

### 4.3 Implicazioni per la pratica clinica

Alla luce dei risultati individuati in letteratura, si può affermare che la mobilizzazione delle strutture nervose rappresenti un approccio efficace per aumentare la lunghezza dei muscoli posteriori della coscia. Rimangono attualmente limitate e di non univoca interpretazione le evidenze presenti a favore della superiorità dell'efficacia di questi interventi rispetto ad altri. Questa revisione sistematica si poneva come obiettivo quello di indagare l'efficacia degli interventi neurodinamici per migliorare la flessibilità degli ischiocrurali; non sono stati quindi inclusi studi che confrontassero due interventi neurodinamici tra loro, anche se alcuni studi sono stati individuati, e sarebbe interessante in futuro approfondire questa ricerca.

Uno studio di *Martins et al.* (42) ha confrontato gli effetti dello scorrimento e del tensionamento neurale sulla flessibilità del tendine del ginocchio, sulla funzione nervosa e sulla sensibilità al dolore negli arti mobilizzati e non, immediatamente dopo l'intervento e al follow-up dopo 24 h. Le due tecniche hanno avuto effetti simili e positivi sulla flessibilità dell'arto mobilizzato, ma il tensionamento ha prodotto un aumento maggiore nell'escursione articolare dell'arto non mobilizzato e lo scorrimento è risultato più efficace per il miglioramento della soglia del dolore e per la funzione nervosa. La diminuzione dell'intensità del dolore percepita alla fine dello SLR, a seguito degli interventi di scorrimento supporta le precedenti affermazioni secondo cui la mobilizzazione neurale contribuisce ad aumentare la flessibilità promuovendo una diminuzione della meccanosensibilità. Inoltre è stato ipotizzato che l'aumento degli effetti ipo-algesici dello

scorrimento neurale fosse dovuto al suo minore impatto sull'allungamento dei nervi e, di conseguenza, sulla pressione nervosa interna.

L'impatto della tensione neurale sulla flessibilità controlaterale degli arti inferiori può essere di rilevanza clinica nelle lesioni sportive acute o nella riabilitazione post-chirurgica immediata quando la mobilizzazione dell'arto interessato può essere controindicata.

Un altro studio che compara gli effetti di slider e tensioner è quello di *D'Souza et al. (7)*, in cui si indaga l'efficacia di queste due tecniche nel migliorare l'estensione attiva del ginocchio e la sua flessibilità funzionale (misurata attraverso il Sit and Reach Test), immediatamente dopo l'intervento e dopo 60'. L'analisi ha mostrato che la tensione neurale era più efficace dello scorrimento nel migliorare la lunghezza dei muscoli posteriori della coscia, tuttavia questa differenza era trascurabile. Dopo 60' inoltre si era verificata in entrambi i gruppi una riduzione dell'effetto.

Lo studio di *Jin-yong Lim et al. (43)* ha confrontato gli effetti immediati di slider e tensioner sulla flessibilità dei tendini del ginocchio durante i piegamenti in avanti, in soggetti con tensione dei muscoli posteriori della coscia. I risultati hanno riportato che il neural sliding ha avuto effetti maggiori nel range di flessione dell'anca, rispetto al neural tensioning.

Lo studio di *Dharmita Yogeshwar et al. (44)* ha riportato che sia neural sliding che neural tensioning sono efficaci a breve termine nel migliorare l'angolo di estensione attiva del ginocchio e l'equilibrio posturale in individui giovani, sani, con rigidità degli hamstrings, e nessuna delle due tecniche ha avuto un effetto maggiore rispetto all'altra.

Anche nello studio di *Herrington (45)*, in cui sono stati confrontati slider e tensioner su una popolazione giovane femminile, per migliorare il range del ginocchio nella posizione di accasciamento (SLUMP), non sono state riscontrate differenze nei due gruppi.

Si può affermare che ad oggi non siano presenti in letteratura prove sufficienti a definire una tecnica neurodinamica migliore rispetto all'altra per migliorare la flessibilità nei muscoli posteriori della coscia. Sarà necessario in futuro condurre altri studi per indagare ulteriormente gli effetti che questi due interventi possono determinare e individuare quale approccio utilizzare nelle diverse situazioni.

Negli studi inclusi nella revisione vengono utilizzati degli interventi neurodinamici standardizzati, non quindi personalizzati per ogni individuo; soggetti diversi potrebbero infatti presentare caratteristiche

di meccanosensibilità e di tensione neurale differenti gli uni dagli altri. In futuro sarebbe quindi importante applicare interventi neurodinamici che tengano conto delle differenze inter-soggetti, al fine di aumentare ulteriormente l'efficacia dei loro effetti. Il fatto che le tecniche di mobilizzazione neurale abbiano prodotto miglioramenti significativi nonostante non fossero stati eseguiti adattamenti specifici per i diversi individui si pone a supporto del fatto che questi rappresentino realmente un approccio efficace per incrementare la flessibilità degli ischiocrurali.

## **CAPITOLO 5: CONCLUSIONI**

L'aumentata tensione degli ischio-crurali si pone come fattore di rischio primario per gli infortuni a queste componenti muscolari.

Migliorare la flessibilità dei muscoli posteriori della coscia, rappresenta quindi un obiettivo da raggiungere per tutti i fisioterapisti, sia tra gli atleti, sia nella popolazione non sportiva, con lo scopo di intervenire sulle problematiche che possono derivare da questa condizione, lavorando per cercare di ridurle e promuovere una migliore qualità della vita per gli individui.

Dagli studi inclusi nella revisione è emerso che le tecniche di mobilizzazione e allungamento neurale sono risultate sicure, in quanto non hanno in nessun caso prodotto eventi avversi su chi le ha ricevute, e neppure causato peggioramenti nella flessibilità e negli altri parametri valutati. Gli studi inclusi nella revisione hanno prodotto risultati statisticamente significativi nell'incremento della flessibilità degli ischiocrurali a seguito dell'applicazione di interventi neurodinamici. Tuttavia, dai risultati ottenuti non è possibile affermare con certezza che questi siano più efficaci di altri interventi proposti, in quanto gli studi reperiti in letteratura non hanno risultati univoci rispetto alle differenze statisticamente significative tra i gruppi sperimentali e di controllo. È quindi necessario approfondire le ricerche con ulteriori studi, anche al di fuori del quesito esatto di questa tesi, in quanto sono presenti varie evidenze che supportano l'efficacia di questi interventi come approccio alla riabilitazione e alla prevenzione degli infortuni ai muscoli ischio-crurali.

## BIBLIOGRAFIA

1. Jones A. Epidemiology of Injury in English Professional Football Players: a cohort study.
2. Ribeiro-Alvares JB, Dornelles MP, Fritsch CG, Lima-e-Silva FX de, Medeiros TM, Severo-Silveira L, et al. Prevalence of Hamstring Strain Injury Risk Factors in Professional and Under-20 Male Football (Soccer) Players. 1 marzo 2020 [citato 29 ottobre 2024]; Disponibile su: <https://journals.humankinetics.com/view/journals/jsr/29/3/article-p339.xml>
3. Mizutani Y, Taketomi S, Kawaguchi K, Takei S, Yamagami R, Kono K, et al. Risk factors for hamstring strain injury in male college American football players -a preliminary prospective cohort study-. BMC Musculoskeletal Disorders. 2 giugno 2023;24:448.
4. Croisier JL. Factors Associated with Recurrent Hamstring Injuries. Sports Med. 1 agosto 2004;34(10):681–95.
5. Elliott MCCW, Zarins B, Powell JW, Kenyon CD. Hamstring Muscle Strains in Professional Football Players: A 10-Year Review. Am J Sports Med. 1 aprile 2011;39(4):843–50. 1. Martini F.H., Nath J.L., Bartholomew E.F., Fondamenti di Anatomia e Fisiologia. Edises; 2019
6. Martini F.H., Nath J.L., Bartholomew E.F., Fondamenti di Anatomia e Fisiologia. Edises; 2019
7. D'souza CJ, Rajasekar S, Shetty RL. Comparing the immediate effects of different neural mobilization exercises on hamstring flexibility in recreational soccer players. Hong Kong Physiotherapy Journal. 7 febbraio 2024;44(2):147.
8. Marshall PWM, Cashman A, Cheema BS. A randomized controlled trial for the effect of passive stretching on measures of hamstring extensibility, passive stiffness, strength, and stretch tolerance. Journal of Science and Medicine in Sport. 1 novembre 2011;14(6):535–40.
9. Shaikh AA, Quraishi MF, Chitapure T, Joshi PA, Shaikh SA, Nandgaonkar N, et al. A Comparison of the Effectiveness of Neurodynamic Sliding Technique and Self-Myofascial Release Technique for Reducing Hamstring Tightness in Healthy Individuals: A Prospective Study. Cureus. 18 giugno 2023;15(6):e40613.
10. Wan X, Li S, Best TM, Liu H, Li H, Yu B. Effects of flexibility and strength training on peak hamstring musculotendinous strains during sprinting. Journal of Sport and Health Science. 11 agosto 2020;10(2):222.

11. Witvrouw E, Danneels L, Asselman P, D'Have T, Cambier D. Muscle Flexibility as a Risk Factor for Developing Muscle Injuries in Male Professional Soccer Players: A Prospective Study. *Am J Sports Med.* 1 gennaio 2003;31(1):41–6.
12. Henderson G, Barnes CA, Portas MD. Factors associated with increased propensity for hamstring injury in English Premier League soccer players. *Journal of Science and Medicine in Sport.* 1 luglio 2010;13(4):397–402.
13. Sharma S, Balthillaya G, Rao R, Mani R. Short term effectiveness of neural sliders and neural tensioners as an adjunct to static stretching of hamstrings on knee extension angle in healthy individuals: A randomized controlled trial. *Physical Therapy in Sport.* 1 gennaio 2016;17:30–7.
14. Balcı A, Ünüvar E, Akınoğlu B, Kocahan T. The effect of different neural mobilization exercises on hamstring flexibility and functional flexibility in wrestlers. *Journal of Exercise Rehabilitation.* 28 dicembre 2020;16(6):503.
15. Pagare VK, Ganacharya PM, Sareen A, Palekar TJ. EFFECT OF NEURODYNAMIC SLIDING TECHNIQUE VERSUS STATIC STRETCHING ON HAMSTRING FLEXIBILITY IN FOOTBALL PLAYERS WITH SHORT HAMSTRING SYNDROME. *Journal of Musculoskeletal Research* [Internet]. 17 settembre 2014 [citato 29 ottobre 2024]; Disponibile su: <https://www.worldscientific.com/worldscinet/jmr>
16. Golhar S, Sangram T, Patil P. Long term effect of Neurodynamic sliding technique to improve hamstring flexibility in football players. 2017;1(2).
17. Butler D.S., *Mobilizzazione del Sistema Nervoso.* Edra; 2001
18. de Ridder R, De Blaiser C, Verrelst R, De Saer R, Desmet A, Schuermans J. Neurodynamic sliders promote flexibility in tight hamstring syndrome. *European Journal of Sport Science.* 2020;20(7):973–80.
19. McHugh M p., Johnson C d., Morrison R h. The role of neural tension in hamstring flexibility. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports.* 2012;22(2):164–9.
20. Mechanosensitivity of the Lower Extremity Nervous System During Straight-Leg Raise Neurodynamic Testing in Healthy Individuals [Internet]. [citato 29 ottobre 2024]. Disponibile su: <https://www.jospt.org/doi/epdf/10.2519/jospt.2009.3002>

21. Opplert J, Babault N. Acute Effects of Dynamic Stretching on Mechanical Properties Result From both Muscle-Tendon Stretching and Muscle Warm-Up. *Journal of Sports Science & Medicine*. 1 giugno 2019;18(2):351.
22. Rudisill SS, Varady NH, Kucharik MP, Eberlin CT, Martin SD. Evidence-Based Hamstring Injury Prevention and Risk Factor Management: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Am J Sports Med*. 1 giugno 2023;51(7):1927–42.
23. Ragia M, Kamel PD, Saleh PD. Immediate Effect of Neurodynamic Tensioner Versus Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Stretch on Subjects with Short Hamstring Syndrome. *The Medical Journal of Cairo University*. 1 giugno 2021;89(June):627–34.
24. Ellis RF, Hing WA, McNair PJ. Comparison of Longitudinal Sciatic Nerve Movement With Different Mobilization Exercises: An In Vivo Study Utilizing Ultrasound Imaging. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. agosto 2012;42(8):667–75.
25. Coppieters MW, Butler DS. Do ‘*sliders*’ slide and ‘*tensioners*’ tension? An analysis of neurodynamic techniques and considerations regarding their application. *Manual Therapy*. 1 giugno 2008;13(3):213–21.
26. Park J, Cha J, Kim H, Asakawa Y. Immediate effects of a neurodynamic sciatic nerve sliding technique on hamstring flexibility and postural balance in healthy adults.
27. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 29 marzo 2021;n71.
28. Castellote-Caballero Y, Valenza MC, Puentedura EJ, Fernández-de-las-Peñas C, Albuquerque-Sendín F. Immediate Effects of Neurodynamic Sliding versus Muscle Stretching on Hamstring Flexibility in Subjects with Short Hamstring Syndrome. *Journal of Sports Medicine*. 15 aprile 2014;2014:127471.
29. Waldhelm A, Gacek M, Davis H, Saia C, Kirby B. ACUTE EFFECTS OF NEURAL GLIDING ON ATHLETIC PERFORMANCE. *International Journal of Sports Physical Therapy*. luglio 2019;14(4):603.

30. Vidhi S, Anuprita T, Asmita K, Twinkle D, Unnati P, Sujata Y. Comparison of PNF Technique with NDS Technique for Hamstrings Tightness in Asymptomatic Subjects. *INDIAN J PHYSIOTHER OCCUP THER.* luglio 2014;8(3):158–61.
31. Muanjai P, Namsawang J. Hamstrings fascicle length and physical performance changes after a single bout of dynamic stretching or neurodynamic gliding in healthy young and older adults. *Journal of Bodywork and Movement Therapies.* 1 luglio 2023;35:99–107.
32. Satkunskiene D, Ardekani MMZ, Khair RM, Kutraite G, Venckuniene K, Snieckus A, et al. Warm-Up and Hamstrings Stiffness, Stress Relaxation, Flexibility, and Knee Proprioception in Young Soccer Players. *Journal of Athletic Training.* 29 giugno 2021;57(5):485.
33. Méndez-Sánchez R, Albuquerque-Sendín F, Fernández-de-las-Peñas C, Barbero-Iglesias FJ, Sánchez-Sánchez C, Calvo-Arenillas JI, et al. <https://home.liebertpub.com/acm>. Mary Ann Liebert, Inc. 140 Huguenot Street, 3rd Floor New Rochelle, NY 10801 USA; 2010 [citato 8 novembre 2024]. Immediate Effects of Adding a Sciatic Nerve Slider Technique on Lumbar and Lower Quadrant Mobility in Soccer Players: A Pilot Study. Disponibile su: <https://www.liebertpub.com/doi/10.1089/acm.2009.0403>
34. Castellote-Caballero Y, Valenza MC, Martín-Martín L, Cabrera-Martos I, Puentedura EJ, Fernández-de-las-Peñas C. Effects of a neurodynamic sliding technique on hamstring flexibility in healthy male soccer players. A pilot study. *Physical Therapy in Sport.* 1 agosto 2013;14(3):156–62.
35. Muragod AR, Pathania T. Effects of static stretching and neurodynamic mobilization on hamstring flexibility in elderly population- A randomized clinical trial.
36. Areudomwong P, Oatyimprai K, Pathumb S. A Randomised, Placebo-Controlled Trial of Neurodynamic Sliders on Hamstring Responses in Footballers with Hamstring Tightness. *The Malaysian Journal of Medical Sciences : MJMS.* 7 dicembre 2016;23(6):60.
37. Patel G, Bathia K, Kanase S, Pawar A, Deshpande V, Jain P. Effectiveness of Self Myofascial Release, Static Stretching and Neural Tissue Mobilization on Hamstring Flexibility in Athletes. *Ind Jour of Publ Health Rese & Develop.* 2019;10(4):6.
38. Weppler CH, Magnusson SP. Increasing Muscle Extensibility: A Matter of Increasing Length or Modifying Sensation? *Physical Therapy.* 1 marzo 2010;90(3):438–49.

39. Adverse Neural Tension: A Factor in Repetitive Hamstring Strain? [Internet]. [citato 8 novembre 2024]. Disponibile su: <https://www.jospt.org/doi/epdf/10.2519/jospt.1998.27.1.16>
40. The Effect of Stretching Neural Structures on Grade One Hamstring Injuries [Internet]. [citato 29 ottobre 2024]. Disponibile su: <https://www.jospt.org/doi/epdf/10.2519/jospt.1989.10.12.481>
41. Pereira A, Teixeira C, Pereira K, Ferreira L, Marques M, Silva AG. Neural Mobilization Short-Term Dose Effect on the Lower-Limb Flexibility and Performance in Basketball Athletes: A Randomized, Parallel, and Single-Blinded Study. 25 maggio 2021 [citato 8 novembre 2024]; Disponibile su: <https://journals.humankinetics.com/view/journals/jsr/30/7/article-p1060.xml>
42. Martins C, Pereira R, Fernandes I, Martins J, Lopes T, Ramos L, et al. Neural gliding and neural tensioning differently impact flexibility, heat and pressure pain thresholds in asymptomatic subjects: A randomized, parallel and double-blind study. *Physical Therapy in Sport*. 1 marzo 2019;36:101–9.
43. Lim J yong, Lee I woo, Kim K don. Immediate Effects of Neural Slider and Neural Tensioner on Forward Bending in Subjects with Hamstring Tightness. *Journal of Musculoskeletal Science and Technology*. 2021;5(1):6–13.
44. Yogeshwar D, Sahoo T. Immediate effect of sciatic neurodynamic slider and tensioner technique on hamstring flexibility and postural balance in healthy adults: a randomized control trial. *International Journal of Research in Medical Sciences*. 28 dicembre 2023;12:119–23.
45. Herrington L. Effect of Different Neurodynamic Mobilization Techniques on Knee Extension Range of Motion in the Slump Position. *Journal of Manual & Manipulative Therapy* [Internet]. 1 aprile 2006 [citato 8 novembre 2024]; Disponibile su: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1179/106698106790820737>