



Università degli Studi di Padova

CORSO DI LAUREA IN FISIOTERAPIA

PRESIDENTE: *Ch.ma Prof.ssa Veronica Macchi*

TESI DI LAUREA

LO *SLUMP TEST* COME TEST PREDITTIVO DEGLI INFORTUNI MUSCOLARI NEL
GIOVANE CALCIATORE D'ÉLITE

(The Slump Test as a predictive test of muscle injuries in young elite soccer athlete)

RELATORE: Dott. Giuseppe Maestrelli

LAUREANDO: Pierluca Camozzato

Anno Accademico 2022/23

INDICE

| | | |
|--------|---|-----------|
| 1. | RIASSUNTO | 4 |
| 2. | ABSTRACT | 5 |
| 3. | INTRODUZIONE | 6 |
| 4. | BACKGROUND | 8 |
| 4.1. | Hamstring muscle injury | 8 |
| 4.1.1. | Eziologia | 9 |
| 4.1.2. | La flessibilità è una caratteristica prettamente muscolare? | 10 |
| 4.1.3. | Che cos'è la meccanosensibilità | 10 |
| 4.1.4. | “The sensory theory” di Wepler e Magnusson, lo studio di Konrad e la proposta di Aparicio | 11 |
| 4.1.5. | Nervo o fascia | 11 |
| 4.1.6. | La domanda dalla quale nasce la tesi | 12 |
| 4.2. | Cos'è la neurodinamica | 12 |
| 4.2.1. | Perché concentrarsi sulla neurodinamica | 13 |
| 4.2.2. | Le cause di una condizione neurodinamica avversa | 13 |
| 4.2.3. | Anatomia del nervo sciatico | 13 |
| 4.2.4. | Test principali | 14 |
| 4.2.5. | Perché lo slump test | 15 |
| 4.2.6. | La stringa di ricerca | 15 |
| 4.2.7. | La relazione causa-effetto | 15 |
| 4.2.8. | Studi contro la tesi | 16 |
| 4.2.9. | Studi a favore della tesi | 16 |
| 5. | OBIETTIVO DELLA TESI | 18 |
| 6. | MATERIALI E METODI | 19 |
| 6.1. | Soggetti | 19 |
| 6.1.1. | Consensi informati | 19 |
| 6.2. | Setting | 19 |
| 6.2.1. | Orario e ambiente | 19 |

| | |
|---|-----------|
| 6.2.2. Misurazione | 19 |
| 6.3. Misure angolari | 20 |
| 6.3.1. Strumenti | 20 |
| 6.3.2. Angolo | 21 |
| 7. RISULTATI | 22 |
| 7.1. Positività allo Slump test | 22 |
| 7.2. Dati | 22 |
| 7.2.1. Distribuzione dei dati | 24 |
| 7.2.2. Analisi statistica: <i>t-test</i> | 27 |
| 7.2.3. Test del <i>Chi-Quadro</i> χ^2 per le differenze pre-post | 28 |
| 7.2.4. Sensibilità e specificità | 29 |
| 7.2.5. Ulteriori valori di <i>cut-off</i> | 29 |
| 8. DISCUSSIONE | 30 |
| 9. CONCLUSIONI | 34 |
| BIBLIOGRAFIA | 36 |

1. Riassunto

Obiettivo: valutare se lo *slump test* può considerarsi utile per predire gli infortuni muscolari indiretti ai muscoli della loggia posteriore della coscia e della gamba in giovani calciatori d'*élite*.

Materiali e metodi: sono stati testati 38 calciatori (età 15 ± 1) partecipanti al campionato nazionale U15/U16 di serie A/B. Lo *slump test* è stato eseguito da due operatori: il primo si è occupato di far eseguire in maniera corretta il test. Il secondo, utilizzando l'app "Metro" per iPhone (posizionato sulla tibia del soggetto), ha registrato le misure angolari: nella posizione di *slump* a capo completamente flesso ("pre") il soggetto estende il ginocchio fino ad avvertire una qualsiasi sensazione di allungamento. Viene registrato l'angolo. Successivamente, con il capo in estensione, il soggetto estende ulteriormente il ginocchio fino alla sensazione di allungamento avvertita precedentemente ("post"). Si registra il secondo angolo.

Risultati: 10/38 giocatori hanno subito un infortunio muscolare indiretto a muscoli innervati dal nervo sciatico nell'arco delle 12 settimane. Nell'analisi si è preso in considerazione il singolo arto anziché il singolo soggetto: 10 arti infortunati su 76. È stato svolto un *t-test* ad una coda per vedere se le medie sono statisticamente diverse oppure se i dati ottenuti sono dovuti al caso: "pre" differenziazione (media infortunati: -45° ; vs. media non infortunati: -41°) *p-value* è 0,18; "post" differenziazione (media infortunati: -26° ; media non infortunati: -27°) *p-value* è di 0,38; differenza (Δ) "pre-post" (media infortunati: 19° ; media non infortunati 15) *p-value* è di 0,02.

Discussione: nel *t-test* il *p-value* per i valori "pre" è di 0,18 e per i valori "post" è di 0,38. Entrambi superiori al valore soglia di 0,05, oltre il quale si deve accettare l'ipotesi nulla: i risultati ottenuti sono dovuti al caso. Per quel che riguarda la correlazione tra il Δ "pre"- "post" e la possibilità di infortunio: si è ottenuto un *p-value* di 0,02. Inferiore al valore soglia di 0,05. È consentito quindi affermare che c'è correlazione tra il Δ "pre"- "post" e la possibilità di infortunarsi.

Conclusioni: dalla tesi è emerso che lo *slump test* può essere utile come strumento di *screening* per predire infortuni muscolari indiretti se si valuta **quanto** la neurodinamica del soggetto influisce sulla mobilità del soggetto stesso: il *delta* (Δ) "pre"- "post".

2. Abstract

Purpose: evaluate whether the slump test can be considered useful for predicting indirect muscle injuries to the muscles of the posterior thigh and leg in young elite footballers.

Material and Methods: 38 footballers (age 15 ± 1) participating in the national U15/U16 series A/B championship, were tested. The slump test was carried out by two operators: the first took care of ensuring the test was carried out correctly. The second, using the "Metro" app for iPhone (positioned on the subject's tibia), recorded the angular measurements: in the slump position with the head completely flexed ("pre") the subject extends the knee until he feels any sensation of elongation. The angle is recorded. Subsequently, with the head extended, the subject further extends the knee until the sensation of elongation felt previously ("post"). The second angle is recorded.

Results: 10/38 players suffered an indirect muscle injury to muscles innervated by the sciatic nerve over the 12 weeks. In the analysis, the single limb was taken into consideration rather than the single subject: 10 injured limbs out of 76. A one-tailed t-test was carried out to see if the means are statistically different or if the data obtained are due to chance: "pre" differentiation (injured average: -45° ; vs. non-injured average: -41°) p-value is 0,18; "post" differentiation (injured average: -26° ; non-injured average: -27°) p-value is 0,38; difference (Δ) "pre-post" (average injured: 19° ; average non-injured 15°) p-value is 0,02.

Discussion: in the t-test the p-value for the "pre" values is 0,18 and for the "post" values it is 0,38. Both above the threshold value of 0,05, beyond which the null hypothesis must be accepted: the results obtained are due to chance. As regards the correlation between the Δ "pre"- "post" and the possibility of injury: a p-value of 0,02 was obtained. Below the threshold value of 0,05. It is therefore possible to state that there is a correlation between the Δ "pre"- "post" and the possibility of getting injured.

Conclusion: from the thesis it emerged that the slump test can be useful as a screening tool to predict indirect muscle injuries, if one evaluates **how much** the subject's neurodynamics influence the subject's mobility: the delta (Δ) "pre"- "post".

3. Introduzione

Ho iniziato questo percorso di studi con l'obiettivo di saper valutare funzionalmente un soggetto, uomo, donna, giovane, anziano, o atleta che sia, per comprendere la causa del dolore, del problema, della patologia e il meccanismo alla base che ha portato alla disfunzione; in modo tale da poter prevenire e curare la fonte del problema.

Ho da sempre vissuto ed amato il mondo dello sport, tant'è che, dopo una piccola parentesi al corso di ingegneria, mi sono dedicato a studiare il mondo della *performance* conseguendo la laurea magistrale in scienze e tecniche dell'attività motoria preventiva e adattata nel dicembre del 2019. Portando come titolo di tesi: "Analisi biomeccanica del cambio di direzione nel calcio d'élite", dove sono andato ad indagare se un programma preventivo andasse a diminuire i fattori predisponenti l'infortunio del LCA durante un cambio di direzione.

Da gennaio 2015 lavoro in ambito sportivo come preparatore fisico e la voglia di comprendere e conoscere i meccanismi che stanno alla base della biomeccanica e della *performance* accompagna sempre le mie giornate. I collegamenti tra teoria universitaria e pratica lavorativa hanno portato a farmi ancora più domande.

Grazie agli studi precedenti ho già avuto modo di ragionare su quali possano essere le cause più comuni degli infortuni: mancanza di forza, stanchezza, fattori esterni come terreno, scarpe, fattori non modificabili quali età, sesso, etnia, etc. Quando però ho iniziato ad affrontare il tema della neurodinamica, argomento a me sconosciuto, mi sono chiesto perché questo tema, che sembra essere così fondamentale per le patologie ortopediche, non è mai stato menzionato come causa o fattore predisponente gli infortuni? Difatti la neurodinamica è uno dei principali aspetti che devono essere valutati durante una valutazione fisioterapica. Eppure, quando si tratta di fattori predisponenti l'infortunio negli atleti, poco se ne parla.

In particolare, mi è sorta spontaneamente una domanda: la mancanza di flessibilità in tutti questi giocatori non può essere influenzata in maniera importante dalla neurodinamica? Se sì, perché continuiamo a trattarla e valutarla come mera *stiffness* miofasciale senza tenere in considerazione l'aspetto neurodinamico, che sappiamo influire molto sull'adattabilità dei tessuti, e quindi iniziare a valutarla e trattarla come *stiffness neuromuscolofasciale*?

Lo studio nasce per rispondere a queste domande, e cercare di capire se sia corretto che, tutt'ora, la causa degli infortuni di carattere muscolare venga ricercata e ricondotta alla biomeccanica del gesto e in particolare nel solo tessuto muscolofasciale.

Per fare ciò sono andato a valutare a livello neurodinamico gli atleti facenti parte delle squadre che ho seguito nella stagione 2022-23, monitorando se vi fosse una relazione tra una grande differenza di valori nello *slump test* (sia sullo stesso arto che tra gli arti) e gli infortuni di carattere muscolare durante la stagione.

4. Background

Le lesioni muscolari rappresentano una notevole fonte di preoccupazione nell'ambiente sportivo e nella sfera della fisioterapia, in quanto costituiscono una delle problematiche più diffuse. Possono generare prolungati periodi di inattività dalla pratica sportiva e dalle competizioni agonistiche (1). Queste lesioni costituiscono quasi un terzo (31%) delle condizioni traumatiche associate a tempi di recupero protratti e più di un quarto (27%) di tutte le patologie lesive documentate in ambito sportivo (2).

In linea con uno studio condotto da *Jones et al. (2019)*, le lesioni muscolari si verificano con maggiore frequenza nell'ambito calcistico (41,2%), coinvolgendo principalmente i muscoli della coscia, in particolar modo il gruppo muscolare degli ischio-crurali (39,5% di tutte le lesioni muscolari) (3).

Nel contesto del calcio professionistico, circa il 92% di tali lesioni coinvolge i quattro principali gruppi muscolari degli arti inferiori: gli ischio-crurali (37%), gli adduttori (23%), i quadricipiti (19%) e i muscoli del polpaccio (13%). In un arco temporale rappresentato dalla stagione calcistica (da settembre a maggio), una squadra composta da 25 giocatori può stimare una media di 7 lesioni agli ischio-crurali (4). Nella seguente tabella vengono riportati i tassi dei principali infortuni muscolari nel calcio professionistico:

| Gruppi muscolari | Incidenza infortuni totale | Incidenza di infortuni per allenamento | Incidenza di infortuni per partita |
|-------------------------|-----------------------------------|---|---|
| Ischio-crurali | 0.9 | 0.4 per 1000 ore | 3.7 per 1000 ore |
| Quadricipiti | 0.4 | 0.3 per 1000 ore | 1.2 per 1000 ore |
| Adduttori | 0.6 | 0.3 per 1000 ore | 2.0 per 1000 ore |
| Muscoli del polpaccio | 0.3 | 0.2 per 1000 ore | 1.0 per 1000 ore |

Tabella 1 Ekstrand et al., 2011a

4.1. Hamstring muscle injury

Lesione muscolare e/o tendinea dei muscoli posteriori della coscia: semimembranoso, semitendinoso, capo lungo del bicipite femorale, capo corto del bicipite femorale.

L'*HMI* o infortunio ai flessori del ginocchio, rappresenta uno dei più frequenti infortuni e una delle più grandi sfide per gli addetti ai lavori nel mondo della *performance* sportiva.

Soprattutto in quegli sport caratterizzati da corse ad alta velocità (*high speed running*, *HSR*) (5) (6).

La prevalenza di *HMI* continua ad incrementare del 2,3% ogni anno rispetto al numero di elongazioni muscolari dell'anno precedente e l'80% è di origine indiretta, il rimanente 20% ha origine diretta (6). La possibilità di una recidiva nel primo mese dopo il *return to sport* (*RTS*) è molto elevata, e rimane elevata per i 12 mesi successivi, variando da un 63% (nel primo mese) ad un 12% (nel primo anno) (5). La probabilità di sostenere un *HMI* in una partita è 9 volte maggiore rispetto alla probabilità che si verifichi in allenamento (7).

4.1.1. Eziologia

L'elevato tasso di recidiva e il crescente numero di lesioni che vede protagonista questo tipo di infortunio ci suggerisce che l'attuale conoscenza del meccanismo di infortunio sia ancora incompleta. Tuttavia, numerosi studi correlano una diminuita **flessibilità muscolare** ad una più elevata probabilità di infortunio muscolare. Sebbene questi non sia l'unico fattore (8): età, genere, etnia, temperatura corporea, allenamento della forza, alterazioni posturali e un ridotto *warm-up* (9), ma non solo: aver sostenuto un infortunio al legamento crociato anteriore comporta un aumento del 70% di probabilità di sostenere un *HMI*. Così come aver subito infortuni muscolari al polpaccio aumenta la probabilità del 50% (10).

I movimenti alla base, della stragrande maggioranza di infortuni muscolari ai muscoli posteriori della coscia, sono i movimenti in allungamento (es. calcio al pallone) e la corsa ad alte velocità:

- **in allungamento (*stretch related*)**: durante l'ultima fase di volo (*swing phase*) la lunghezza muscolo-tendinea della parte posteriore dell'arto inferiore, con il quale si ha calciato, è in massimo allungamento (11). Corrispondono al 48% degli infortuni indiretti (6);
- ***HSR* (*sprint related*)**: nella prima fase di appoggio del piede a terra, durante la corsa ad alta velocità, la muscolatura posteriore dell'arto inferiore deve elargire massima forza in spinta in una situazione di elevata lunghezza muscolo-tendinea (12). Questo colpisce particolarmente il bicipite femorale in quanto biarticolare (13) (il 79% degli infortuni muscolari sono a carico del bicipite femorale (6)). Inoltre, i flessori hanno il compito di limitare l'estensione del ginocchio nella fase

di spinta per proteggere la stessa articolazione, fornendo stabilità (14). Il 52% degli infortuni indiretti avviene durante una corsa ad alta velocità (6).

Ad oggi in letteratura, per la prevenzione a questo tipo di infortunio, ci si focalizza sull'aumentare la forza muscolare in eccentrica per questo gruppo muscolare (visto che la maggior parte degli infortuni avviene durante la fase di *stretch* miotendineo), sul bilanciamento tra i muscoli estensori e flessori del ginocchio, il cui rapporto dovrebbe aggirarsi attorno ai 0,60-0,66 (forza quadricipite/forza ischiocrurali) (7) e sullo sviluppo della capacità plyometrica, in modo tale da ottimizzare la **relazione forza-lunghezza**, cosicché i flessori siano in grado di generare massimi picchi di forza in eccentrica a **fine corsa del movimento**. Per fare questo l'allenamento della forza e della flessibilità sono imperativi (12).

4.1.2. La flessibilità è una caratteristica prettamente muscolare?

Fino ad ora si è parlato di flessibilità come fattore chiave, e come qualità biomeccanica valutabile, a fini preventivi, assieme ad un aumento della forza. Ma è meramente una questione della relazione forza-lunghezza delle fibre muscolari?

In una *review di Castellote et al. (2014)*, viene posta l'attenzione sulla flessibilità muscolare, non data da una modifica delle proprietà meccaniche del muscolo, bensì dal **cambiamento percettivo di allungamento e dolore** (8).

4.1.3. Che cos'è la meccanosensibilità

Il sistema nervoso periferico è composto da una rete di nervi che si estende in tutto il corpo e trasmette informazioni tra il sistema nervoso centrale e le diverse parti dell'organismo. Ogni movimento della colonna, o degli arti, ha conseguenze meccaniche sul tessuto neurale. La meccanosensibilità nervosa si riferisce alla capacità del sistema nervoso di percepire e rispondere a forze meccaniche o cambiamenti nella posizione del corpo. Queste informazioni sono trasmesse al sistema nervoso centrale, che elabora le informazioni e regola le risposte motorie e posturali (15).

A seguito di un trauma, di una compressione mantenuta o di un'irritazione dei tessuti dovuta a gesti ripetitivi, si potrebbe verificare una situazione in cui il tessuto non riesce a far fronte all'eccessivo stress cui è sottoposto. Con conseguente formazioni di fibrosi, edema o condizione di ipossia, che vanno ad alterare la normale fisiologia nervosa. Questo

cl clinicamente si traduce con la presenza di dolore, alterazione della sensibilità del tessuto nervoso o, nei casi più gravi, con la compromissione della funzione di trasduzione dell'impulso ed alterazioni della sensibilità, della forza e/o dei riflessi osteo-tendinei. Tutto questo viene definito “**meccanosensibilità**”. Il nostro corpo, in presenza di meccanosensibilità nervosa ci fa percepire determinati movimento come sensazione di *discomfort*/malessere, reagendo con una **contrazione muscolare protettiva** (14) (8), aumentando così il tono muscolare e di conseguenza la rigidità dei muscoli coinvolti. L'aumento del tono muscolare al fine di prevenire la sensazione di fastidio data dallo *stretch* miotendineo è chiamata **rigidità muscolare (o stiffness)**, che aumenta all'aumentare della **meccanosensibilità** e al diminuire della capacità delle strutture nervose di adattarsi al movimento (14).

4.1.4. “The sensory theory” di Weppeler e Magnusson, lo studio di Konrad e la proposta di Aparicio

La teoria di Weppeler e Magnusson suggerisce che la flessibilità muscolare (in risposta ad un allungamento) ha molto più a che fare con la **sensazione** di allungamento, **piuttosto che dipendere da una qualità biomeccanica** del muscolo stesso (8). Infatti, in uno studio di *Konrad et al. (2014)* che aveva come obiettivo quello di analizzare (con ultrasuoni) la variazione di lunghezza delle fibre muscolari durante il movimento passivo, dopo un programma di *stretching* di 6 settimane, nonostante un marcato aumento del *ROM*, **non è stata registrata alcuna variazione di lunghezza del tessuto**, confermando che i miglioramenti sono da attribuire ad altre cause (16).

Questa teoria viene supportata da *Aparicio et al. (2009)* i quali hanno dimostrato che una tecnica di inibizione della muscolatura sub-occipitale altera la flessibilità muscolare degli *hamstrings* rispetto ad un intervento placebo. Il fatto che una tecnica così “distante” dal punto di interesse (la regione sub-occipitale dagli ischiocrurali), abbia un effetto immediato sulla **sensazione di allungamento** e il conseguente aumento di flessibilità degli *hamstrings*, supporta la teoria sulla sensibilità (8).

4.1.5. Nervo o fascia

La sensazione di fastidio durante lo *stretch* può originare sia dalla tensione che viene a verificarsi al tessuto fasciale che dalla tensione al tessuto nervoso (11).

In entrambi i casi un allungamento di queste strutture influisce sull'eventuale meccanismo di protezione muscolare:

- **la fascia:** ha una densa quantità di recettori, che la rendono altamente sensibile a stress e stiramenti. È una struttura continua che collega più articolazioni ed è, a differenza del tessuto nervoso, leggermente elastica (17);
- **il tessuto nervoso periferico:** Il movimento articolare ampio causa uno stress meccanico al tessuto nervoso periferico, strettamente collegato ai tessuti circostanti. La sua capacità di allungamento è praticamente nulla. Pertanto, se il nervo non è libero di muoversi, per cause di tipo intrinseche od estrinseche, l'eccessivo stress che si viene a creare sul nervo può limitare il ROM (8).

Ad oggi non si sa ancora se queste modificazioni a livello percettivo siano dovute ad alterazioni miofasciali o se siano le strutture nervose ad essere maggiormente interessate (18). Tuttavia, non è lo scopo di questa tesi capire quale sia la struttura ad essere alterata, bensì capire semplicemente se una modificazione della meccanosensibilità (sia essa fasciale o nervosa) può influire sugli infortuni muscolari.

4.1.6. La domanda dalla quale nasce la tesi

Se un'alterata meccanosensibilità influisce sulla *stiffness* muscolare e di conseguenza sulla flessibilità, c'è un test che possa valutare se questa sensibilità è alterata? Se sì, è un dato sufficiente per prevenire un infortunio muscolare?

4.2. Cos'è la neurodinamica

Neurodinamica è il termine utilizzato per descrivere l'integrazione tra morfologia, biomeccanica e fisiologia del sistema nervoso. Può essere utilizzato sia come metodo di trattamento, sia come metodo di valutazione della meccanosensibilità: attraverso l'aumento della tensione sul sistema nervoso per evocare i sintomi del paziente (15), oppure come metodo di mobilizzazione del sistema nervoso periferico, laddove la forza motrice viene applicata alle strutture nervose attraverso la postura e il movimento multi-articolare (9). Il movimento può essere attivo o passivo e mira a ridurre la meccanosensibilità del nervo, ripristinando la normale funzionalità di movimento, limitata precedentemente da una sensazione di *discomfort* (19). Ciò si traduce in una maggiore libertà di movimento e una riduzione delle sensazioni fastidiose associate ad un'alterata

neurodinamica. È dimostrato infatti come una mobilizzazione del tessuto nervoso faciliti il movimento tra le strutture nervose e le superfici che le circondano (interfacce), aumentando la dispersione di fluidi intraneurali e riducendone l'edema, diminuendo l'iperalgia meccanica e termica, migliorando la condizione infiammatoria conseguente ad un trauma del nervo (20).

Una condizione neurodinamica avversa può essere descritta come una risposta meccanica e fisiologica anormale del nervo in risposta ad un normale range di movimento.

4.2.1. Perché concentrarsi sulla neurodinamica

- Il tessuto nervoso è un tessuto non elastico, che dunque è molto sensibile alla trazione/allungamento;
- Studi hanno evidenziato la maggior efficacia di un trattamento di neurodinamica rispetto ad un trattamento di rilasciamento miofasciale (utilizzato nel trattamento della fascia) nel miglioramento della flessibilità muscolare (11) (14).
- Cambiamenti nella mobilità del sistema nervoso (neurodinamica) possono cambiare la sensazione di dolore data da meccanosensibilità (8);

4.2.2. Le cause di una condizione neurodinamica avversa

Le cause possono essere **extraneurali** se sono dovute a problemi a livello delle interfacce nervose, ovvero quelle strutture vicino alle quali passa il nervo. Oppure **intraneurali**, dovute al tessuto nervoso stesso, tipo un'inflammazione. È possibile che traumi, come lesioni muscolari, fratture o altro, producendo infiammazione, o tessuto cicatriziale, possano interferire con la normale mobilità e nutrizione di un nervo, producendo sintomi dovuti a meccanosensibilità nervosa (21).

4.2.3. Anatomia del nervo sciatico

Il nervo sciatico è il nervo più grande del corpo umano con circa 2 cm di diametro che attraversa tutto il compartimento posteriore della coscia, ed innerva la maggior parte dell'arto inferiore. Origina da quattro radici nervose della colonna vertebrale, iniziando da L4 fino a S2 (alcuni libri di anatomia riportano S3) (22). Superiormente si adagia in profondità al grande gluteo sulla superficie dell'osso ischiatico. Abbandona la pelvi, per proseguire il suo decorso verso l'arto inferiore, passando tra il grande trocantere e la tuberosità ischiatica. Discende passando tra il grande adduttore e il bicipite femorale.

Appena al di sopra della fossa poplitea si suddivide in due branche: medialmente diviene il nervo tibiale mediano e lateralmente il nervo peroneale, per discendere, ed innervare, gran parte della gamba fino alla punta del piede (23). I muscoli della coscia innervati dal nervo sciatico (e le sue branche) sono: bicipite femorale, semitendinoso, semimembranoso e la parte ischiatica del grande adduttore (22).

4.2.4. Test principali

I test principali per valutare neurodinamicamente il nervo sciatico sono essenzialmente due:

- ***Straight leg raise (SLR)***: è comunemente utilizzato per valutare se sono presenti patologie discali, o se la componente nervosa della regione lombosacrale è irritata (in particolar modo le radici del nervo sciatico). L'esecuzione del test avviene sul lettino, con il paziente supino, il fisioterapista è dal lato dell'arto testato, con la mano distale posta sotto il tallone del paziente e l'altra, più prossimale, sopra la parte distale della coscia per mantenere in estensione il ginocchio. Il terapeuta porta l'arto in esame in flessione d'anca mantenendo il ginocchio in costante estensione, finché il paziente non avverte la sensazione di dolore abituale (23). Nel caso di test a fini valutativi/preventivi, finché il soggetto non avverte una sensazione di *stretching*.
- ***Slump Test***: come nel caso dell'*SLR*, viene utilizzato per valutare un paziente con dolore neuropatico (secondario ad un danno a livello corticale o al midollo spinale, e periferico, ovvero originato da un danno al nervo periferico, al plesso, al ganglio della radice dorsale o alla radice stessa). consiste nel far sedere il paziente sul bordo del lettino con le gambe fuori dallo stesso. Raggiungere in maniera progressiva la flessione del rachide (dapprima cervicale e poi lombare) con gli arti superiori posti dietro la schiena in appoggio sulla superficie. Il terapeuta si posizionerà sul lato dell'arto da testare mettendo il suo arto superiore sulla zona dorsale del paziente, con la mano posta in leggero appoggio sul capo, per sentire eventuali movimenti in estensione dovuti all'eccessiva tensione che si verrà a creare. Successivamente va richiesta l'estensione di ginocchio, fino all'evocazione del dolore o nel caso di test a fini valutativi/preventivi, finché il soggetto non avverte una sensazione di

stretching. (15). Chiameremo la posizione assunta dal soggetto, con l'arto inferiore in estensione, posizione di *slump*.

4.2.5. Perché lo slump test

In questa tesi si è deciso di testare i soggetti con lo *slump test* perché è un test che va a sollecitare in maniera molto più importante il sistema nervoso (23). Essendo il campione in esame composto da persone asintomatiche, si è voluto evidenziare in maniera più precisa le possibili alterazioni: infatti la sua specificità e sensibilità sono maggiori rispetto al test *SLR* (24).

Nello studio sperimentale di *P.C. Lew e C.A. Briggs (1997)* è stato dimostrato che il movimento cervicale nello *slump test* non va ad alterare la lunghezza muscolare degli *hamstrings*. Infatti, il dolore che si percepisce durante la flessione del capo non è dovuto ad un cambiamento nella struttura muscolare, bensì dal tensionamento della componente nervosa (25).

4.2.6. La stringa di ricerca

Utilizzando la stringa di ricerca utilizzata per questa tesi “*(neurodynamic) AND (sport injury)*”, in *Pubmed*, si sono trovati 24 articoli riguardanti gli infortuni muscolari degli arti inferiori in relazione alla neurodinamica (dal 2001 al 2023). 15 di questi sono stati ritenuti importanti per la stesura della tesi in quanto trattavano aspetti neurodinamici legati agli arti inferiori. I restanti 9 sono stati esclusi, in quanto prendevano in considerazione aspetti della neurodinamica riguardanti il plesso brachiale: nervo mediano, nervo ulnare e nervo radiale.

4.2.7. La relazione causa-effetto

Lo studio di coorte di *Turl et al. (1998)* “*Adverse neural tension: a factor in repetitive hamstring strain?*” va ad indagare se c'è relazione tra precedenti infortuni muscolari agli ischiocrurali e la positività allo *slump test*, in giocatori di rugby. Quel che è emerso dallo studio è che vi è una stretta correlazione tra infortunio muscolare e positività allo *slump test* sull'arto infortunato a distanza di almeno 4 settimane. Lo stesso articolo conclude dicendo: “un'alterata tensione nervosa può contribuire, o essere una conseguenza, dello stiramento muscolare? L'esatta relazione causa-effetto tra le due necessita di future

ricerche”. Dunque, è l’*HMI* a provocare una modifica neurodinamica o è un’alterazione neurodinamica ad aumentare la probabilità d’infortunio?

4.2.8. Studi contro la tesi

Secondo il **principio di falsificabilità** suggerito dal filosofo britannico Karl Popper a metà del ventesimo secolo, perché un’ipotesi diventi una teoria scientifica, dev’essere comprovata o smentita da sperimentazioni o da osservazioni meticolose. Non bastano i dati a conforto della tesi, ma bisogna costruire un modello che contraddica la tesi e verificarlo (26). Ci sono studi scientifici che smentiscono la correlazione tra neurodinamica ed infortuni muscolari?

La review (2009) “*An Evidence-Based Approach to Hamstring Strain Injury: A Systematic Review of the Literature*” (27) discute la relazione tra infortunio e flessibilità muscolare e neurodinamica, facendo riferimento a due articoli dello stesso autore *Gabbe, B J et al.* il quale sottolinea come la neurodinamica non sia collegata alla probabilità di sostenere infortuni muscolari (28) (29). Una critica pesante a questi due articoli viene fatta sul metodo con il quale sono stati condotti: ai soggetti veniva richiesto di svolgere un riscaldamento previo *slump test* nel quale dovevano eseguire esercizi di *stretching* agli arti inferiori. Facendo ciò però si va a modificare lo stato neurodinamico del soggetto. Infatti, numerosi studi dimostrano come interventi di *stretching* (che a livello neurodinamico è un *tensioning* del nervo) e *warm up* migliorino la capacità neurodinamica e quindi modifichino la reale meccanosensibilità del soggetto allo *slump test* (8) (30) (12).

4.2.9. Studi a favore della tesi

Lo studio di *De Ridder et al. (2020)* “*Neurodynamic sliders promote flexibility in tight hamstring syndrome.*” riporta come una compromissione a livello neurodinamico, sia essa dovuta ad adesioni tra ischiocrurali e nervo sciatico, oppure ad un intrappolamento del nervo dettato da eccessiva ipertrofia muscolare o traumi ripetuti nell’area circostante, può condurre ad infiammazione lungo il decorso del nervo. Questo crea un ambiente nocicettivo, che aumenta la sensibilità nervosa e, di conseguenza, porta a **dolore nociplastico** (dolore derivante dalla stimolazione eccessiva o anomala dei nocicettori nei tessuti, anche in assenza di danni strutturali evidenti) (30) e meccanosensibilità. Di conseguenza la sensazione di *discomfort* dettata da un aumento del *range* articolare si avvertirà precocemente a causa della contrazione muscolare protettiva. Ciò comporterà un

aumento della *stiffness* muscolare, portando ad una diminuzione di flessibilità. Sebbene il meccanismo alla base di tutto questo non sia ancora del tutto chiaro, è dimostrato che eseguire esercizi di *sliding* neurodinamico è efficace sull'incremento immediato della flessibilità in soggetti con rigidità muscolare importante a livello dei flessori del ginocchio. Un'ulteriore spiegazione per l'aumento della flessibilità può essere data dall'effetto analgesico della mobilizzazione neurodinamica, nel ritardare la sensazione di fastidio associata alla contrazione muscolare protettiva (12).

Sostenuti periodi di tensionamento o compressione sul tessuto nervoso possono disturbare il potenziale d'azione nervoso a causa di una diminuzione del flusso sanguigno periferico e di conseguenza del flusso assonoplasmatico (30) (31), tant'è vero che lo *stretching* statico mantenuto nel tempo, influisce sulla capacità di esprimere forza in maniera negativa (32). La spiegazione a questo fenomeno può essere la temporanea alterazione della coordinazione muscolare causata dall'irritazione del nervo (12).

Riportando il tutto a livello del nervo sciatico, quando questi inizia ad essere soggetto ad un'eccessiva trazione e/o compressione attraverso le interfacce meccaniche, tutto ciò non causa solo un aumento del tono dei muscoli che lo circondano (e che innerva) per proteggere il nervo da ulteriori irritazioni, ma può anche condurre a una perdita di controllo neuromuscolare degli stessi muscoli (30) (31), esponendoli precocemente a condizioni di fatica e, di conseguenza, a situazioni di eccessivo stress che possono condurre ad infortunio (12).

Alla luce di tutto questo gli autori sottolineano il fatto che la tensione neurale è strettamente correlata alla capacità di allungamento miotendineo e, di conseguenza, alla libertà di movimento, che dunque, si può ritenere dipendente dalla mobilità del sistema nervoso periferico (5). Si può affermare, inoltre, che un'alterazione neurodinamica comporta perdita di forza (*stretch-induced strength loss*) (32).

5. Obiettivo della tesi

L'obiettivo della tesi è quello di andare a valutare se è presente una correlazione tra lo *slump test* e gli infortuni muscolari indiretti in giovani calciatori d'élite. Ovvero, se lo *slump test* possa considerarsi un test predittivo per gli infortuni muscolari, in particolare ai muscoli della loggia posteriore della coscia (comprendendo anche il grande adduttore) e della gamba, che possono avvenire per cause di natura indiretta: durante corse ad alta velocità o nella fase finale del calcio all'oggetto di gioco.

6. Materiali e metodi

6.1. Soggetti

I soggetti di età compresa tra i 14 e i 15 anni, che hanno preso parte allo studio sono 38: 20 fanno parte della categoria U16 nazionali e 18 della categoria U15 nazionali. Verranno monitorati per 12 settimane. Tutti svolgono lo stesso volume di allenamento durante la settimana: 4 sedute di allenamento (dalle 15:00 alle 17:00) e una partita nel *weekend*. Per quel che riguarda la pratica condizionale, i ragazzi dedicano circa 1 ora (su 9 di pratica sportiva) di pesistica durante la settimana (Giorno di gara +2) e circa 1000m di corsa ad alta velocità (giorno di gara -3). Il resto delle ore di allenamento si basa sulla pratica calcistica.

6.1.1. Consensi informati

A tutte le famiglie degli atleti, essendo minorenni, è stato chiesto di compilare il modulo del consenso informato, dove si spiega come viene svolto il test e qual è l'obiettivo. Tutte le famiglie hanno dato il loro consenso.

6.2. Setting

6.2.1. Orario e ambiente

La misurazione è stata rilevata durante la prima settimana del mese di marzo 2023 (le competizioni finiscono a fine maggio/inizio giugno) nella fascia oraria 14:00-15:00. Ai giocatori è stato vietato fare qualsiasi tipo di riscaldamento previo test.

Il luogo dove è stato svolto lo *slump test* è la sala di fisioterapia del centro sportivo, su di un lettino fisioterapico. Gli operatori che hanno registrato la misurazione sono 2: il primo si è occupato dello svolgimento del test, il secondo dell'istruzione al soggetto e del rilevamento dei dati.

6.2.2. Misurazione

Il soggetto viene fatto sedere a capo del lettino, senza scarpe. L'operatore 1 posiziona correttamente il cavo popliteo dell'atleta in corrispondenza del bordo. Viene richiesto al soggetto di flettere completamente la colonna ed il capo, chiedendogli di guardarsi

l'addome. Le mani sono posizionate in maniera rilassata in appoggio dorsale sul piano del lettino, dietro al sedere. L'operatore 1 si posiziona alla sinistra del paziente mantenendo l'arto superiore destro a contatto con il capo flesso del soggetto e la zona cervico-dorsale. Viene istruito il giocatore ad elevare la gamba destra, fintanto che non percepisce una lieve sensazione di allungamento. L'operatore 1 mantiene con l'arto sx la gamba dell'atleta nella data posizione. L'operatore 2 registra l'angolo posizionando l'iPhone (si veda in seguito al paragrafo Misure angolari, Strumenti) sul terzo prossimale della tibia. Viene poi richiesta l'estensione del capo e la successiva ulteriore elevazione della gamba fino a sentire l'uguale sensazione di allungamento percepita precedentemente. L'operatore 1 regge l'arto nella seconda posizione e l'operatore 2 registra il secondo dato. Va poi svolta la stessa misurazione sull'arto controlaterale.



Figura 1: Slump test "pre" differenziazione



Figura 2: Slump test "post" differenziazione

6.3. Misure angolari

6.3.1. Strumenti

Per la misurazione in gradi dell'angolo tra la linea orizzontale (proseguimento del lettino, parallela al terreno) e la tibia, viene utilizzata l'applicazione "Metro" per iPhone (33). L'iPhone va posizionato orizzontalmente sul terzo prossimale della tibia e si registrano i gradi a schermo.

6.3.2. Angolo

L'angolo che si va a rilevare è quello tra il piano orizzontale (proseguimento del lettino, parallelo al terreno) e la tibia. L'angolo della tibia, essendo al di sotto di questa linea, viene **riportato come negativo**.



Figura 3: misura angolare negativa nello *slump test*

7. Risultati

7.1. Positività allo Slump test

Lo *slump test* è ritenuto positivo se, nella posizione di *slump*, la sensazione di allungamento riferita ad una parte del corpo (“pre” differenziazione) viene a modificarsi quando il soggetto va a differenziare il test, portando il capo in estensione (“post” differenziazione). Dunque, ad esempio, se l’atleta in posizione di *slump*, riferisce una sensazione di *stretch* e questa scompare portando il capo in estensione, il test è da ritenersi positivo.

Durante le prime misurazioni ci si è accorti che tutti i ragazzi sottoposti al test, sono classificabili come positivi (difatto la sensazione di allungamento in una data posizione, svanisce dopo la differenziazione con l’estensione del capo). Fortunatamente a questo c’è una risposta: *Berthelot, Jean-Marie et al. (2021)* nel loro studio hanno riportato che la frequenza alla quale risultavano positivi, ad un test di neurodinamica, dei ragazzi di età compresa tra i 10 e i 19 anni, era del 100%. E che questa frequenza calava con l’avanzare dell’età (34).

Per questo motivo si ritiene più importante osservare:

- La differenza dei gradi articolari al ginocchio con il capo flesso e la successiva con il capo esteso (sensazione di *stretch* pre-post, che chiameremo delta: Δ);
- Le differenze interarticolari (tra dx e sx) tra i due arti.

7.2. Dati

| | U16 | | | | | | U15 | | | | | | |
|---------------|------|------|----------|------|------|----------|---------------|------|----------|-----|------|----------|-----|
| | DX | | | SX | | | DX | | | SX | | | |
| | pre | post | Δ | pre | post | Δ | pre | post | Δ | pre | post | Δ | |
| giocatore 1 | -37° | -20° | 17° | -29° | -14° | 15° | giocatore 21 | -45° | -27° | 18° | -36° | -11° | 25° |
| giocatore 2 | -21° | -15° | 6° | -25° | -21° | 4° | giocatore 22 | -48° | -34° | 14° | -40° | -27° | 13° |
| giocatore 3* | -45° | -15° | 30° | -48° | -26° | 22° | giocatore 23 | -40° | -23° | 17° | -42° | -26° | 16° |
| giocatore 4 | -25° | -15° | 10° | -27° | -18° | 9° | giocatore 24* | -36° | -25° | 11° | -43° | -25° | 18° |
| giocatore 5 | -53° | -48° | 5° | -49° | -41° | 8° | giocatore 25 | -36° | -23° | 13° | -32° | -22° | 10° |
| giocatore 6* | -52° | -31° | 21° | -63° | -35° | 28° | giocatore 26* | -49° | -25° | 24° | -47° | -23° | 24° |
| giocatore 7 | -50° | -34° | 16° | -58° | -38° | 20° | giocatore 27 | -50° | -25° | 25° | -47° | -27° | 20° |
| giocatore 8 | -33° | -11° | 22° | -37° | -12° | 25° | giocatore 28 | -61° | -43° | 18° | -50° | -29° | 21° |
| giocatore 9 | -52° | -41° | 11° | -41° | -26° | 15° | giocatore 29* | -45° | -25° | 20° | -40° | -27° | 13° |
| giocatore 10* | -25° | -8° | 17° | -27° | -12° | 15° | giocatore 30 | -47° | -37° | 10° | -43° | -30° | 13° |
| giocatore 11 | -48° | -38° | 10° | -48° | -37° | 11° | giocatore 31 | -52° | -29° | 23° | -48° | -26° | 22° |
| giocatore 12 | -33° | -11° | 22° | -43° | -17° | 26° | giocatore 32* | -40° | -16° | 24° | -37° | -16° | 21° |
| giocatore 13 | -19° | -16° | 3° | -26° | -18° | 8° | giocatore 33 | -35° | -21° | 14° | -31° | -18° | 13° |
| giocatore 14 | -49° | -38° | 11° | -46° | -33° | 13° | giocatore 34 | -33° | -24° | 9° | -35° | -25° | 10° |
| giocatore 15* | -46° | -36° | 10° | -60° | -46° | 14° | giocatore 35 | -58° | -35° | 23° | -57° | -40° | 17° |
| giocatore 16* | -44° | -25° | 19° | -45° | -27° | 18° | giocatore 36 | -34° | -21° | 13° | -30° | -20° | 10° |
| giocatore 17 | -56° | -52° | 4° | -66° | -52° | 14° | giocatore 37 | -45° | -33° | 12° | -40° | -30° | 10° |
| giocatore 18 | -32° | -22° | 10° | -34° | -25° | 9° | giocatore 38 | -47° | -40° | 7° | -47° | -33° | 14° |
| giocatore 19* | -41° | -22° | 19° | -44° | -22° | 22° | | | | | | | |
| giocatore 20 | -22° | -17° | 5° | -27° | -16° | 11° | Media tot. | -43° | -27° | 16° | -42° | -26° | 16° |

Tabella 2: dati dello slump test per le categorie U16 e U15

Come si può notare dalla media globale dei due gruppi, la sensazione di allungamento “pre” viene riferita a circa -42°/-43°. La sensazione di allungamento “post” si ha a circa -27°. La media della differenza tra “pre” e “post” (riportata con il simbolo delta: Δ) è di 16°.

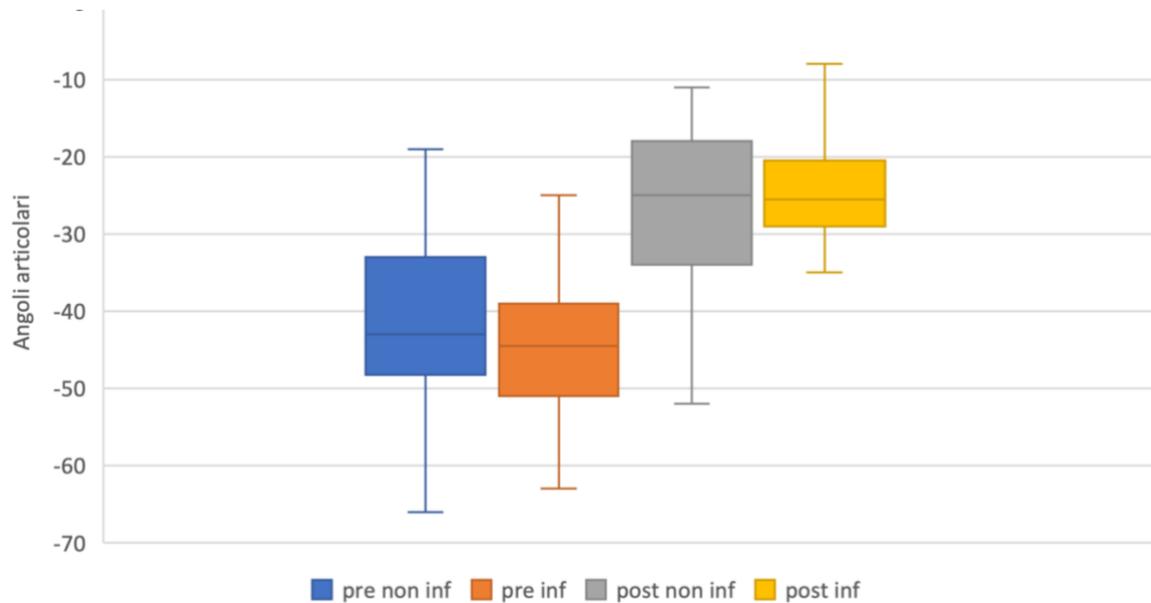
I giocatori che riportano un asterisco sono coloro che hanno subito un infortunio di tipo muscolare indiretto (a muscoli innervati dallo sciatico) durante le 12 settimane di osservazione.

Vengono di seguito riportate due tabelle, il gruppo di “infortunati” e il “gruppo non infortunati”.

| GRUPPO INFORTUNATI | | | | | | | |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|----|------------|
| | DX | | SX | | Δ | | |
| | pre | post | pre | post | DX | SX | |
| giocatore 3* | -45° | -15° | -48° | -26° | 30° | | 22° |
| giocatore 6* | -52° | -31° | -63° | -35° | 21° | | 28° |
| giocatore 10* | -25° | -8° | -27° | -12° | 17° | | 15° |
| giocatore 15* | -46° | -36° | -60° | -46° | 10° | | 14° |
| giocatore 16* | -44° | -25° | -45° | -27° | 19° | | 18° |
| giocatore 19* | -41° | -22° | -44° | -22° | 19° | | 22° |
| giocatore 24* | -36° | -25° | -43° | -25° | 11° | | 18° |
| giocatore 26* | -49° | -25° | -47° | -23° | 24° | | 24° |
| giocatore 29* | -45° | -25° | -40° | -27° | 20° | | 13° |
| giocatore 32* | -40° | -16° | -37° | -16° | 24° | | 21° |
| Media | -42° | -23° | -45° | -26° | 20° | | 20° |
| <i>Dev. Standard</i> | 8° | 8° | 10° | 9° | 6° | | 5° |
| GRUPPO NON INFORTUNATI | | | | | | | |
| | DX | | SX | | Δ | | |
| | pre | post | pre | post | DX | SX | |
| giocatore 1 | -37° | -20° | -29° | -14° | 17° | | 15° |
| giocatore 2 | -21° | -15° | -25° | -21° | 6° | | 4° |
| giocatore 4 | -25° | -15° | -27° | -18° | 10° | | 9° |
| giocatore 5 | -53° | -48° | -49° | -41° | 5° | | 8° |
| giocatore 7 | -50° | -34° | -58° | -38° | 16° | | 20° |
| giocatore 8 | -33° | -11° | -37° | -12° | 22° | | 25° |
| giocatore 9 | -52° | -41° | -41° | -26° | 11° | | 15° |
| giocatore 11 | -48° | -38° | -48° | -37° | 10° | | 11° |
| giocatore 12 | -33° | -11° | -43° | -17° | 22° | | 26° |
| giocatore 13 | -19° | -16° | -26° | -18° | 3° | | 8° |
| giocatore 14 | -49° | -38° | -46° | -33° | 11° | | 13° |
| giocatore 17 | -56° | -52° | -66° | -52° | 4° | | 14° |
| giocatore 18 | -32° | -22° | -34° | -25° | 10° | | 9° |
| giocatore 20 | -22° | -17° | -27° | -16° | 5° | | 11° |
| giocatore 21 | -45° | -27° | -36° | -11° | 18° | | 25° |
| giocatore 22 | -48° | -34° | -40° | -27° | 14° | | 13° |
| giocatore 23 | -40° | -23° | -42° | -26° | 17° | | 16° |
| giocatore 25 | -36° | -23° | -32° | -22° | 13° | | 10° |
| giocatore 27 | -50° | -25° | -47° | -27° | 25° | | 20° |
| giocatore 28 | -61° | -43° | -50° | -29° | 18° | | 21° |
| giocatore 30 | -47° | -37° | -43° | -30° | 10° | | 13° |
| giocatore 31 | -52° | -29° | -48° | -26° | 23° | | 22° |
| giocatore 33 | -35° | -21° | -31° | -18° | 14° | | 13° |
| giocatore 34 | -33° | -24° | -35° | -25° | 9° | | 10° |
| giocatore 35 | -58° | -35° | -57° | -40° | 23° | | 17° |
| giocatore 36 | -34° | -21° | -30° | -20° | 13° | | 10° |
| giocatore 37 | -45° | -33° | -40° | -30° | 12° | | 10° |
| giocatore 38 | -47° | -40° | -47° | -33° | 7° | | 14° |
| Media | -41° | -28° | -41° | -26° | 13° | | 14° |
| <i>Dev. Standard</i> | 12° | 11° | 10° | 10° | 6° | | 6° |

Le medie tra i due campioni, sia per quel che riguarda i valori “pre” che per i valori “post” non sembrano essere significativamente diverse (-45° vs -41° e -26° vs -27°).

Seguono i *boxplot* raffiguranti le distribuzioni delle misure angolari per gli arti infortunati e per gli arti non infortunati:

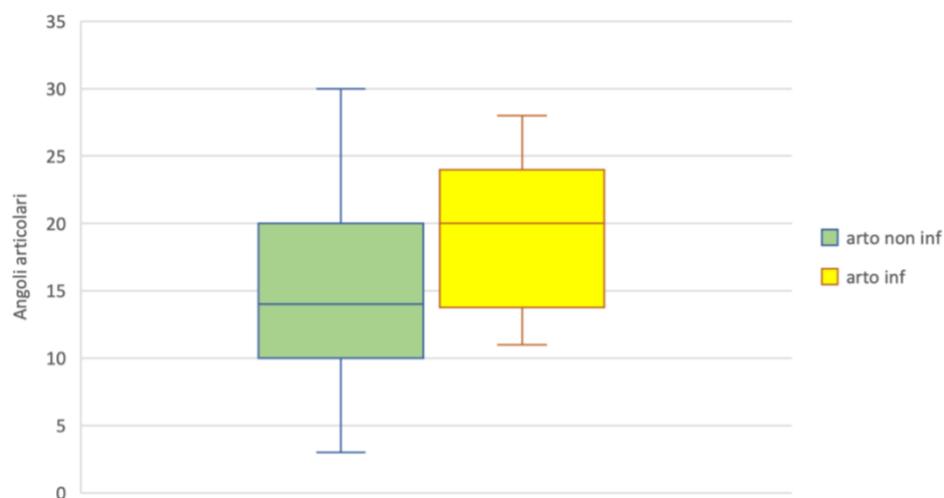


Il rettangolo rappresenta l'intervallo centrale che contiene il 50% dei dati. L'altezza del rettangolo rappresenta la dispersione dei dati. La linea che divide il rettangolo orizzontalmente corrisponde alla mediana (valore che occupa il posto centrale in una serie di dati). Risulta abbastanza chiaro, anche a livello visivo, come i valori dello *slump test* “pre” e “post” tra il gruppo degli arti non infortunati (“non inf”) ed il gruppo degli arti infortunati (“inf”), non siano (probabilmente) significativamente differenti.

Di seguito il delta (Δ) tra i valori degli arti infortunati e non infortunati, riportate nella seguente tabella:

| arto infortunato | arto non infortunato | | | | | | | |
|----------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| Δ | Δ | | | | | | | |
| 22° | 30° | 17° | 11° | 10° | 9° | 9° | 13° | |
| 28° | 21° | 6° | 4° | 23° | 8° | 11° | 10° | |
| 17° | 15° | 10° | 10° | 14° | 20° | 25° | 17° | |
| 14° | 10° | 5° | 5° | 9° | 25° | 13° | 10° | |
| 18° | 19° | 16° | 18° | 23° | 15° | 16° | 10° | |
| 22° | 19° | 22° | 14° | 13° | 11° | 10° | 14° | |
| 11° | 18° | 11° | 17° | 12° | 26° | 20° | | |
| 24° | 24° | 10° | 13° | 7° | 8° | 21° | | |
| 13° | 20° | 22° | 25° | 15° | 13° | 13° | | |
| 24° | 21° | 3° | 18° | 4° | 14° | 22° | | |
| Media | Media | | | | | | | |
| 19° | 15° | | | | | | | |
| Dev. Standard | Dev. Standard | | | | | | | |
| 6° | 6° | | | | | | | |

Si nota come le medie tra i due gruppi, al contrario delle tabelle precedenti, siano abbastanza differenti. Vedremo poi se queste differenze hanno un livello di significatività adeguato o meno. Segue il grafico dei *boxplot*:



Si nota in questo caso, come le linee mediane (linee orizzontali che dividono in due il *box*) siano differenti rispetto ai *boxplot* precedenti. La domanda è: sono differenti in modo significativo?

7.2.2. Analisi statistica: *t-test*

In statistica il *t-test* è una tecnica utilizzata per confrontare le **medie** di due gruppi di dati e determinare se le differenze sono casuali (ipotesi nulla) o rappresentano una vera differenza nel fenomeno che si sta studiando (ipotesi alternativa). Per fare ciò si va a calcolare il *p-value*: la probabilità che i risultati osservati siano dovuti al caso. Si decide un livello soglia di probabilità (*alpha*). Se il *p-value* è inferiore ad *alpha* si può accettare l'ipotesi alternativa: le differenze tra le medie non sono dovute al caso. Il *t-test* può essere a “due code” o a “una coda”:

- Due code: cerchiamo di determinare se ci sono differenze significative tra le medie dei due gruppi in entrambe le direzioni, ovvero se queste differenze sono significativamente minori o significativamente maggiori;
- Una coda: cerchiamo di determinare se c'è una differenza significativa tra le medie dei due gruppi in una direzione specifica: ad esempio, stai cercando di scoprire se una media è significativamente maggiore o significativamente minore dell'altra, **ma non entrambe**.

Per quel che riguarda il nostro campionamento si è scelto di svolgere un *t-test* a “una coda”, in quanto vogliamo verificare se la media dei giocatori infortunati è significativamente minore, nel caso delle misurazioni “pre” e nelle misurazioni “post” (ricordo che le misure angolari sono negative); e significativamente maggiore per il Δ “pre-post” infortunati rispetto ai non infortunati.

Per le misurazioni a capo completamente flesso (media infortunati: -45° ; vs. media non infortunati: -41°), si svolge il *t-test* con *alpha* = 0,05: il *p-value* è 0,18. Superiore ad *alpha*.

In questo caso non è possibile rifiutare l'ipotesi nulla: le differenze sono dovute al caso.

Facendo lo stesso *t-test* alle misurazioni “post” (media infortunati: -26° ; media non infortunati: -27° ; *alpha* = 0,05), il *p-value* è di 0,38. Maggiore al valore *alpha* di 0,05.

Dunque, anche in questo caso, dobbiamo affermare che la differenza tra le medie è dovuta al caso.

Infine, per quel che riguarda il Δ “pre-post” (media infortunati: 19° ; media non infortunati 15°). Utilizzando lo stesso *alpha* (0,05), il *p-value* è di 0,02. Al di sotto della soglia *alpha* di 0,05. Per questo motivo è consentito rifiutare l'ipotesi nulla (che le differenze sono dovute al caso) ed accettare dunque l'ipotesi alternativa: le differenze delle medie di Δ “pre-post” non sono dovute al caso. Dunque, sono statisticamente significative.

Seguono le tabelle che riportano più nel dettaglio l'analisi statistica del *t-test* a una coda per le varie misurazioni:

| pre | | | post | | | Δ pre-post | | |
|------------------------------|-------------|----------|------------------------------|-------------|----------|------------------------------|-------------|----------|
| | Infortunati | Non inf. | | Infortunati | Non inf. | | Infortunati | Non inf. |
| Mean | -44,8 | -41,3 | Mean | -25,5 | -26,6 | Mean | 19,3 | 14,7 |
| Variance | 121,5 | 108,6 | Variance | 103,4 | 101,6 | Variance | 30,9 | 38,7 |
| Observations | 10 | 66 | Observations | 10 | 66 | Observations | 10 | 66 |
| Hypothesized Mean Difference | 0 | | Hypothesized Mean Difference | 0 | | Hypothesized Mean Difference | 0 | |
| df | 12 | | df | 12 | | df | 13 | |
| t Stat | -0,95 | | t Stat | 0,33 | | t Stat | 2,42 | |
| p-value una coda | 0,18 | | p-value una coda | 0,38 | | p-value una coda | 0,02 | |
| t Critical one-tail | 1,78 | | t Critical one-tail | 1,78 | | t Critical one-tail | 1,77 | |
| p-value due code | 0,36 | | p-value due code | 0,75 | | p-value due code | 0,03 | |
| t Critical two-tail | 2,18 | | t Critical two-tail | 2,18 | | t Critical two-tail | 2,16 | |

7.2.3. Test del *Chi-Quadro* χ^2 per le differenze pre-post

Nella seguente tabella di contingenza vengono riportate le frequenze del Δ “pre-post” del gruppo infortunati e del gruppo non infortunati utilizzando come *cut-off* il valore *delta* di 17°:

| Δ pre-post osservata | | | |
|-----------------------------|------|-------|-------------|
| | <17° | >=17° | Tot. |
| Arti infortunati | 3 | 7 | 10 |
| Arti non infortunati | 41 | 25 | 66 |
| Tot. | 44 | 32 | 76 |

Nel nostro caso la percentuale di arti infortunati sul totale (10 arti su 76) è del 13%. Ipoteticamente se fosse tutto dovuto alla casualità, sia nel gruppo “<17°” (44 x 13% = 6) che nel gruppo “>=17°” (32 x 13% = 4) si otterrebbe la seguente tabella di contingenza:

| Δ pre-post attesa (13% infortunati) | | | |
|--|------|-------|-------------|
| | <17° | >=17° | Tot. |
| Arti infortunati | 6 | 4 | 10 |
| Arti non infortunati | 38 | 28 | 66 |
| Tot. | 44 | 32 | 76 |

L'analisi in questione va valutare se il valore di *Chi-Quadro* ottenuto tra la frequenza “osservata” e quella “attesa” è statisticamente significativa: il *Chi-Quadro* ottenuto dev'essere maggiore del valore soglia.

Nel nostro caso, con questa tabella di contingenza (1 grado di libertà: n° di righe - 1 x n° di colonne - 1 e α 0,05), il valore soglia oltre il quale è possibile rifiutare l'ipotesi nulla (le frequenze osservate sono dovute al caso) è di 3,84.

Il valore di *Chi-Quadro* calcolato (con un *cut-off* di 17°) è di 4,01. Superiore al valore soglia di 3,84. Per questo motivo, **con il campione in esame**, è possibile utilizzare il delta di 17° come valore soglia per ritenere o meno un arto a rischio infortunio muscolare.

7.2.4. Sensibilità e specificità

Nello studio in esame, utilizzando lo *slump test* per predire la probabilità di incorrere in un infortunio muscolare con il valore soglia $\Delta = 17^\circ$, si è ottenuta una percentuale del 70% di sensibilità (il 70% dei possibili infortunati risulterà positivo a questo valore soglia). E un 62% di specificità (il 62% dei sani risulterà negativo).

7.2.5. Ulteriori valori di *cut-off*

Di seguito le tabelle con i valori di *Chi-Quadro*, sensibilità e specificità per differenti Δ ($\Delta=17^\circ$) di *cut-off*:

| | | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | $\Delta=18^\circ$ | $\Delta=19^\circ$ | $\Delta=20^\circ$ | $\Delta=21^\circ$ | $\Delta=22^\circ$ | $\Delta=23^\circ$ | $\Delta=24^\circ$ |
| <i>Chi-Quadro</i> | 2,37 | 1,58 | 2,21 | 3,49 | 5,37 | 2,02 | 3,35 |
| sensibilità | 60% | 50% | 50% | 50% | 50% | 30% | 30% |
| specificità | 67% | 71% | 74% | 79% | 83% | 88% | 91% |
| | $\Delta=10^\circ$ | $\Delta=11^\circ$ | $\Delta=12^\circ$ | $\Delta=13^\circ$ | $\Delta=14^\circ$ | $\Delta=15^\circ$ | $\Delta=16^\circ$ |
| <i>Chi-Quadro</i> | 0,30 | 4,63 | 3,25 | 3,54 | 3,13 | 2,35 | 3,28 |
| sensibilità | 100% | 100% | 90% | 90% | 80% | 70% | 70% |
| specificità | 18,18% | 32% | 38% | 39% | 48% | 55% | 59% |

8. Discussione

Lo studio ha indagato se lo *slump test* può essere considerato un test predittivo per l'infortunio muscolare (indiretto), per tutti quei muscoli innervati dal nervo sciatico o sue branche, in particolare gli *hamstrings*. Tutto questo ai fini di aumentare il numero degli strumenti utili a prevedere gli infortuni, e successivamente, con un lavoro fisico mirato, ridurli. Aumentando il benessere degli atleti.

Sono stati testati 38 giovani atleti di *élite* (età 15 ± 1). Nell'analisi statistica si è deciso di prendere in considerazione non i singoli soggetti (38), bensì gli arti in maniera a sé stante (76). In quanto durante una valutazione fisioterapica si confronta l'arto in esame con il controlaterale, considerato "sano".

Tutti i soggetti hanno svolto lo stesso volume e la stessa metodologia di allenamento. Nell'arco delle 12 settimane, 10 giocatori hanno subito un infortunio di nostro interesse. Dunque, 10/76 arti sono stati catalogati come infortunati.

Analizzando i risultati ottenuti al *t-test*, per i valori nello *slump test* "pre" e "post" differenziazione, il *p-value* era di 0,18 per i "pre" e 0,38 per i "post". Entrambi superiori al valore soglia di 0,05, oltre il quale si deve accettare l'ipotesi nulla: i risultati ottenuti sono dovuti al caso. Non c'è una relazione significativa tra la probabilità di subire un infortunio muscolare indiretto e lo stesso *slump test* se si prendono in considerazione i singoli valori di "pre" e "post".

Questo potremmo interpretarlo nel seguente modo: se un soggetto avverte una sensazione di *stretch* precocemente, rispetto ad una "normale" aspettativa, non è necessariamente indice di un aumento nella probabilità di infortunarsi.

Analizzando la correlazione tra il Δ "pre"- "post" differenziazione e la possibilità di infortunio: si è ottenuto un *p-value* di 0,02. Inferiore al valore soglia di 0,05. È consentito quindi affermare che c'è correlazione tra il Δ "pre"- "post" e la possibilità di infortunarsi. Non è tanto quanto il nostro nevrasso sia "lungo" ad influire sulla possibilità di infortunarsi, quanto invece, è la capacità di muoversi e adattarsi al movimento, del nevrasso stesso, che influisce in modo importante, sulla probabilità di infortunarsi. Questa capacità di adattarsi al movimento del nervo è indicata dal *delta*: avere un *delta* piccolo

sta a significare che la neurodinamica del soggetto limita in maniera lieve la mobilità dello stesso. A differenza con un *delta* ampio, si può dedurre che la limitazione al movimento, del soggetto, è in gran parte dovuta alla componente neurodinamica.

Quindi lo *slump test* ha validità come strumento di *screening*? E quanto deve essere grande questo *delta* per considerare un giocatore maggiormente a rischio di infortunarsi?

Nell'analisi del *Chi-Quadro* χ^2 si è visto che il *cut-off* $\Delta=17^\circ$ ha un corrispettivo indice di significatività di 4,01, superiore al valore critico di 3,84, al di sopra del quale è possibile affermare che i dati ottenuti con questo *cut-off* sono statisticamente significativi e non dovuti al caso, ma cosa succede con un valore di *cut-off* minore? Per esempio con $\Delta=16^\circ$?

| | Δ pre-post (16°) | | Tot. |
|----------------------|----------------------------------|-----------------|------|
| | $<16^\circ$ | $\geq 16^\circ$ | |
| Arti infortunati | 3 | 7 | 10 |
| Arti non infortunati | 39 | 27 | 66 |
| Tot. | 42 | 34 | 76 |

Rispetto ad un $\Delta=17^\circ$ cambiano le frequenze per gli arti non infortunati, mentre per gli arti infortunati restano invariate.

Come in precedenza, se fosse tutto dovuto alla casualità, sia nel gruppo " $<16^\circ$ " (42 x 13% = 5) che nel gruppo " $\geq 16^\circ$ " (34 x 13% = 5) si otterrebbe la seguente tabella di contingenza:

| | Δ pre-post attesa (13% infortunati) | | Tot. |
|----------------------|--|-----------------|------|
| | $<16^\circ$ | $\geq 16^\circ$ | |
| Arti infortunati | 5 | 5 | 10 |
| Arti non infortunati | 37 | 29 | 66 |
| Tot. | 42 | 34 | 76 |

Con un $\Delta=16^\circ$, il valore di *Chi-Quadro* calcolato è di 2,67. Inferiore al valore soglia di 3,84. Per questo motivo, non possiamo ritenere $\Delta=16^\circ$, come delta significativo per lo *slump test*. Idem, per valori minori: con $\Delta=15^\circ$ il valore *Chi-Quadro* è di 1,85. Questo

perché le differenze nelle tabelle di contingenza (tra le frequenze osservate e quelle attese) non sono rilevanti con Δ minori di 17° . E con valori superiori?

Con $\Delta=18^\circ$ le tabelle di contingenza sono le seguenti:

| Δ pre-post (18°) osservata | | | |
|--|-------------|-----------------|------|
| | $<18^\circ$ | $\geq 18^\circ$ | Tot. |
| Arti infortunati | 4 | 6 | 10 |
| Arti non infortunati | 44 | 22 | 66 |
| Tot. | 48 | 28 | 76 |

| Δ pre-post (18°) attesa | | | |
|---|-------------|-----------------|------|
| | $<18^\circ$ | $\geq 18^\circ$ | Tot. |
| Arti infortunati | 6 | 4 | 10 |
| Arti non infortunati | 42 | 24 | 66 |
| Tot. | 48 | 28 | 76 |

Il valore di *Chi-Quadro* calcolato è di 2,37. Inferiore al valore soglia di 3,84. Per questo motivo, non possiamo ritenere nemmeno $\Delta=18^\circ$, come *delta* significativo per lo *slump test*. Viene spontaneo chiedersi il perché con un $\Delta=17^\circ$ i dati sono significativi e con un $\Delta=18^\circ$ non lo siano. Valutando la sensibilità e la specificità dello *slump test* con $\Delta=18^\circ$ si hanno le seguenti percentuali: sensibilità 60% e specificità 67% (con $\Delta=17^\circ$ la sensibilità era di 70% e la specificità era di 62%). Provando con *delta* maggiori, si hanno i seguenti valori:

| | | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | $\Delta=18^\circ$ | $\Delta=19^\circ$ | $\Delta=20^\circ$ | $\Delta=21^\circ$ | $\Delta=22^\circ$ | $\Delta=23^\circ$ | $\Delta=24^\circ$ |
| <i>Chi-Quadro</i> | 2,37 | 1,58 | 2,21 | 3,49 | 5,37 | 2,02 | 3,35 |
| sensibilità | 60% | 50% | 50% | 50% | 50% | 30% | 30% |
| specificità | 67% | 71% | 74% | 79% | 83% | 88% | 91% |
| | $\Delta=10^\circ$ | $\Delta=11^\circ$ | $\Delta=12^\circ$ | $\Delta=13^\circ$ | $\Delta=14^\circ$ | $\Delta=15^\circ$ | $\Delta=16^\circ$ |
| <i>Chi-Quadro</i> | 0,30 | 4,63 | 3,25 | 3,54 | 3,13 | 2,35 | 3,28 |
| sensibilità | 100% | 100% | 90% | 90% | 80% | 70% | 70% |
| specificità | 18,18% | 32% | 38% | 39% | 48% | 55% | 59% |

Come possiamo notare il valore di *Chi-Quadro* è molto legato ai valori di sensibilità e specificità. L'unico *delta* con un valore di *Chi-Quadro* significativo ai fini statistici è $\underline{\Delta}=22^\circ$. Questo è legato al fatto che la specificità (sani negativi al test) è maggiore rispetto ai *delta* precedenti, mantenendo una stessa sensibilità, che poi diminuisce con *delta* maggiori (23°, 24°), influenzando negativamente il valore di *Chi-Quadro*.

Perché dunque con $\underline{\Delta}=17^\circ$ lo *slump test* ha significatività e con il resto dei valori no? Questo comportamento è probabilmente dovuto al fatto che il campione in esame è costituito da soli 76 valori totali, e quindi influenzato maggiormente dal caso rispetto a campioni costituiti di 2-300 elementi. Serviranno dunque ulteriori studi, con un numero di soggetti maggiore, per rispondere alla domanda: qual è il valore *delta* ottimale per ritenere un soggetto a rischio infortunio muscolare?

9. Conclusioni

Il campione in esame è un campione giovane, nella quale tutti (a livello teorico) risultano positivi allo *slump test* (24). È possibile per tanto affermare che la componente neurodinamica è sicuramente rilevante per quel che riguarda la loro mobilità.

Dalla tesi è emerso che lo *slump test* può essere utile come strumento di *screening* per predire infortuni muscolari indiretti se si valuta **quanto** la neurodinamica del soggetto influisce sulla mobilità del soggetto stesso: il *delta* (Δ) “pre”-“post” differenziazione.

Serviranno ulteriori studi per capire se:

- c'è correlazione tra *slump test* e infortuni muscolari anche con un campione di adulti;
- aumentando il numero di soggetti si può definire con più precisione il valore *delta* di *cut-off* oltre il quale sensibilità e specificità sono maggiori;
- aumentando il numero di soggetti si può evidenziare più correlazione tra *slump test* e infortuni in un particolare gruppo muscolare (ischiocrurali, piuttosto che adduttori, tricipite surale o altro).

Dunque, quando osserviamo un giocatore, un atleta, svolgere un *bending* (andare a toccarsi le punte dei piedi mantenendo le ginocchia in estensione) o altri esercizi di flessibilità, non limitiamoci a catalogarlo come “poco flessibile”. Prima di affermare che questi sia maggiormente a rischio infortunio, indaghiamo l'origine di questa mancanza di mobilità. E soprattutto, se fosse di origine neurodinamica, non limitiamoci al semplice “positivo/negativo”, ma diamoci un peso, un valore, a questa limitazione: valutiamo fino in fondo. Scrupolosamente.

Bibliografia

1. Valle, X., Alentorn-Geli, E., Tol, J. L., Hamilton, B., Garrett, W. E., Pruna, R., Til, L., Gutierrez, J. A., Alomar, X., Balius, R., Malliaropoulos, N., Monllau, J. C., Whiteley, R., Witvrouw, E., Samuelsson, K., & Rodas, G. (2017). *Muscle Injuries in Sp.*
2. Ekstrand, J., Hägglund, M., & Waldén, M. (2011a). *Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). The American Journal of Sports Medicine, 39(6), 1226–1232. <https://doi.org/10.1177/0363546510395879>.*
3. Jones, A., Jones, G., Greig, N., Bower, P., Brown, J., Hind, K., & Francis, P. (2019). *Epidemiology of injury in English Professional Football players: A cohort study. Physical Therapy in Sport: Official Journal of the Association of Chartered Physiothera.*
4. Ekstrand, J., Hägglund, M., & Waldén, M. (2011b). *Injury incidence and injury patterns in professional football: The UEFA injury study. British Journal of Sports Medicine, 45(7), 553–558. <https://doi.org/10.1136/bjism.2009.060582>.*
5. Brukner, Peter et al. “Recurrent hamstring muscle injury: applying the limited evidence in the professional football setting with a seven-point programme.” *British journal of sports medicine vol. 48,11 (2014): 929-38. doi:10.1136/bjsports-2012-091400.*
6. Garcia, André Gismonti et al. “Hamstrings injuries in football.” *Journal of orthopaedics vol. 31 72-77. 11 Apr. 2022, doi:10.1016/j.jor.2022.04.003.*
7. Ekstrand J, Waldén M, Hägglund M. Hamstring injuries have increased by 4% annually in men’s professional football, since 2001: a 13-year longitudinal analysis of the UEFA Elite Club injury study. *Br J Sports Med. 2016;50:731–737. [https://doi.org/ 10.1](https://doi.org/10.1).*
8. Castellote-Caballero, Yolanda et al. “Immediate Effects of Neurodynamic Sliding versus Muscle Stretching on Hamstring Flexibility in Subjects with Short Hamstring Syndrome.” *Journal of sports medicine (Hindawi Publishing Corporation) vol. 2014 (2014): 127.*
9. López López, Laura et al. “Effects of neurodynamic treatment on hamstrings flexibility: A systematic review and meta-analysis.” *Physical therapy in sport : official journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine vol. 40 (2019).*

10. Green B, Bourne MN, van Dyk N, Pizzari T. *Recalibrating the risk of hamstring strain injury (HSI): A 2020 systematic review and meta-analysis of risk factors for index and recurrent hamstring strain injury in sport.* *Br J Sports Med.* 2020 Sep;54(18):1081-1.
11. Satkunskiene, Danguole et al. "Warm-Up and Hamstrings Stiffness, Stress Relaxation, Flexibility, and Knee Proprioception in Young Soccer Players." *Journal of athletic training* vol. 57,5 (2022): 485-493. doi:10.4085/1062-6050-0416.20.
12. De Ridder, Roel et al. "Neurodynamic sliders promote flexibility in tight hamstring syndrome." *European journal of sport science* vol. 20,7 (2020): 973-980. doi:10.1080/17461391.2019.1675770.
13. Hunter, David Glenn, and Cathy A Speed. "The assessment and management of chronic hamstring/posterior thigh pain." *Best practice & research. Clinical rheumatology* vol. 21,2 (2007): 261-77. doi:10.1016/j.berh.2006.12.002.
14. Shaikh A, Quraishi M, Chitapure T, et al. (June 18, 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.* *Cureus* 15(6).
15. www.FisioScience.it. [Online] <https://www.fisioscience.it>.
16. Konrad A, Tilp M. *Increased range of motion after static stretching is not due to changes in muscle and tendon structures.* *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2014 Jun;29(6):636-42. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2014.04.013. Epub 2014 May 10. PMID: 24856792.
17. Pirri C, Fede C, Petrelli L, Guidolin D, Fan C, De Caro R, Stecco C. *Elastic Fibres in the subcutaneous tissue: Is there a difference between superficial and muscular fascia? A cadaver study.* *Skin Res Technol.* 2022 Jan;28(1):21-27. doi: 10.1111/srt.13084.
18. Nee, Robert J et al. "The validity of upper-limb neurodynamic tests for detecting peripheral neuropathic pain." *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy* vol. 42,5 (2012): 413-24. doi:10.2519/jospt.2012.3988. .
19. Nee, Robert J et al. "Baseline characteristics of patients with nerve-related neck and arm pain predict the likely response to neural tissue management." *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy* vol. 43,6 (2013): 379-91. doi:10.2519/jospt.2.

20. Basson, Annalie et al. "The Effectiveness of Neural Mobilization for Neuromusculoskeletal Conditions: A Systematic Review and Meta-analysis." *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy* vol. 47,9 (2017): 593-615. doi:10.2519/jospt.2017.7117.
21. Turl, S E, and K P George. "Adverse neural tension: a factor in repetitive hamstring strain?." *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy* vol. 27,1 (1998): 16-21. doi:10.2519/jospt.1998.27.1.16. .
22. Standrig, . *Anatomia del Gray. Le basi anatomiche per la pratica clinica*. 2017.
23. www.physio-pedia.com. https://www.physio-pedia.com/Straight_Leg_Raise_Test.
24. Berthelot, Jean-Marie et al. "Inadequacies of the Lasègue test, and how the Slump and Bowstring tests are useful for the diagnosis of sciatica." *Joint bone spine* vol. 88,1 (2021): 105030. doi:10.1016/j.jbspin.2020.06.004. .
25. Lew PC, Briggs CA. Relationship between the cervical component of the slump test and change in hamstring muscle tension. *Man Ther.* 1997 May;2(2):98-105. doi: 10.1054/math.1997.0291. PMID: 11485360.
26. www.wikipedia.com. https://it.wikipedia.org/wiki/Principio_di_falsificabilit .
27. Prior M, Guerin M, Grimmer K. An evidence-based approach to hamstring strain injury: a systematic review of the literature. *Sports Health.* 2009 Mar;1(2):154-64. doi: 10.1177/1941738108324962. PMID: 23015867; PMCID: PMC3445075.
28. Gabbe, B J et al. "Risk factors for hamstring injuries in community level Australian football." *British journal of sports medicine* vol. 39,2 (2005): 106-10. doi:10.1136/bjism.2003.011197.
29. Gabbe, B J et al. "Predictors of hamstring injury at the elite level of Australian football." *Scandinavian journal of medicine & science in sports* vol. 16,1 (2006): 7-13. doi:10.1111/j.1600-0838.2005.00441.x.
30. Hattrup, Nicholas et al. "Neurodynamic Exercises in College Athletes With Musculoskeletal Pain: A Critically Appraised Topic." *Journal of sport rehabilitation* vol. 31,8 1105-1110. 1 Sep. 2022, doi:10.1123/jsr.2021-0268. .

31. Cox, Terry et al. "Neurodynamic mobilization in a collegiate long jumper with exercise-induced lateral leg and ankle pain: A case report." *Physiotherapy theory and practice* vol. 34,3 (2018): 241-249. doi:10.1080/09593985.2017.1377793.
32. McHugh, MP et al. "The role of neural tension in hamstring flexibility." *Scandinavian journal of medicine & science in sports* vol. 22,2 (2012): 164-9. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01180.x .
33. www.support.apple.com. <https://support.apple.com/itit/guide/iphone/iphbd435673d/ios>.
34. Berthelot, Jean-Marie et al. "Inadequacies of the Lasègue test, and how the Slump and Bowstring tests are useful for the diagnosis of sciatica." *Joint bone spine* vol. 88,1 (2021): 105030. doi:10.1016/j.jbspin.2020.06.004.
35. Núñez de Arenas-Arroyo, Sergio et al. "Short-term Effects of Neurodynamic Techniques for Treating Carpal Tunnel Syndrome: A Systematic Review With Meta-analysis." *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy* vol. 51,12 (2021): 566-580. doi:10.25.