



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Corso di Laurea in Fisioterapia

**L'EFFICACIA DEL NORDIC HAMSTRING EXERCISE
NELLA PREVENZIONE DELLE LESIONI AGLI
HAMSTRING NEI CALCIATORI; UNA REVISIONE
SISTEMATICA DELLA LETTERATURA**

Tesi di laurea in Massoterapia e Terapia Fisica

Relatore

Prof.ssa Roberta Pini

Presentata da

Lorenzo Criscione

Sessione novembre 2024

Anno Accademico 2023/2024

ABSTRACT

Background: Gli infortuni ai muscoli posteriori della coscia (hamstring) sono un problema molto comune nel calcio moderno, soprattutto a causa dell'intensificarsi degli allenamenti e delle partite giocate. Questi infortuni sono causati da numerosi fattori di rischio, principalmente fatica e alterato rapporto di forza quadricipite-ischiocrurali, e da due gesti atletici fondamentali nel calcio, quali calcio del pallone e decelerazione. Diviene necessario individuare un programma di allenamento specifico per prevenire le HSI (lesioni muscolari agli hamstring) e, a tal proposito, il NHE (nordic hamstring exercise), simulando il lavoro muscolare effettuato dagli ischiocrurali nei due movimenti, sembrerebbe ridurre i principali fattori di rischio infortunio e, di conseguenza, prevenire le lesioni agli hamstring.

Obiettivi: L'obiettivo della revisione sistematica è valutare l'efficacia del NHE per prevenire gli infortuni muscolari agli ischiocrurali nei calciatori. Questo contributo, oltre a discutere dei meccanismi e dei fattori di rischio di lesione, parlerà di come il rinforzo muscolare eccentrico, ed in particolare il NHE, agisca a livello fisiologico sugli hamstring, prevedendone fattori di rischio e conseguenti infortuni.

Materiali e Metodi: La revisione sistematica è stata condotta in conformità alle linee guida PRISMA 2020. Sono state consultate principalmente tre banche dati biomediche: PubMed, PEDro e Cochrane Library. Dopo aver definito la domanda di ricerca (PICOS), sono state identificate le parole chiave appropriate e selezionati esclusivamente trial clinici randomizzati (RCT). La qualità metodologica degli studi inclusi è stata valutata utilizzando la scala PEDro.

Risultati: In questa revisione sono stati inclusi quattro studi clinici randomizzati (RCT) di alta qualità (PEDro score > 5) che hanno analizzato l'effetto dell'esercizio NHE sul tasso di infortuni sportivi. Questi studi, caratterizzati da un'elevata compliance da parte degli atleti, dimostrano sul campo l'efficacia dell'NHE nel ridurre i fattori di rischio e nel prevenire gli infortuni.

Conclusioni: Gli studi di questa revisione hanno evidenziato l'efficacia del NHE come misura preventiva per ridurre significativamente il rischio di infortuni agli hamstring nel calcio, in quanto questo esercizio si distingue per la sua capacità di rafforzare in modo specifico la forza eccentrica degli ischiocrurali. Tuttavia, le ricerche future dovrebbe basarsi sia su una standardizzazione di questi protocolli per definire con precisione i parametri ottimali di esecuzione di NHE.

Parole chiave: NHE, injury prevention, HSI, eccentric training, football injuries.

INDICE

CAPITOLO 1: la lesione agli hamstring nel calciatore

- 1.1 Specificità biomeccaniche degli hamstring nel gesto atletico
- 1.2 Classificazione e meccanismi di lesione degli hamstring
- 1.3 I principali fattori di rischio di lesione agli hamstring nel calciatore

CAPITOLO 2: il rinforzo degli hamstring come strategia per prevenire l'infortunio muscolare

- 2.1 Il rinforzo muscolare eccentrico
- 2.2 NHE: Nordic Hamstring Exercise

CAPITOLO 3: Materiali e metodi

- 3.1 Criteri di eleggibilità degli studi
- 3.2 Metodiche di ricerca
- 3.3 Valutazione della qualità degli studi

CAPITOLO 4: Risultati

- 4.1 Selezione degli studi
- 4.2 Caratteristiche degli studi

CAPITOLO 5: Discussione e limiti della revisione

CAPITOLO 6: Conclusioni

CAPITOLO 7: Bibliografia

INTRODUZIONE

Nel calcio di oggi, in cui gli impegni ufficiali sono ravvicinati e l'intensità di gara e di allenamento è nettamente aumentata, la prevenzione degli infortuni è un tema di fondamentale importanza ⁽¹⁾.

Circa il 93% degli infortuni avvengono a danno dei quattro muscoli principali degli arti inferiori: il 37% riguarda gli hamstring, il 23% il comparto adduttorio, il 19% il quadricipite e il 13 % il gastrocnemio. Più in generale, le lesioni muscolari indirette rappresentano quasi 1/3 di tutte le *time lose injury* (infortunio per cui si è costretti a saltare almeno un allenamento o una partita) registrabili nel calcio professionistico ⁽²⁾. Diversi studi dimostrano che l'incidenza delle HSI nei vari sport è in continuo aumento, con il numero di infortuni agli ischiocrurali legati all'allenamento senza contatto che è cresciuto annualmente del 2,3% nel periodo compreso tra il 2001 e il 2014 ⁽³⁾.

Gli Hamstring Strain Injuries (HSI) sono descritti come una contrattura da allungamento, stiramento profondo o, più raramente, uno strappo dei muscoli del compartimento posteriore della coscia, tra cui il bicipite femorale, il semitendinoso e il semimembranoso, spesso causate da contrazioni muscolari eccentriche ripetute nel tempo ⁽⁴⁾.

Nel calcio, gli hamstring vengono spesso reclutati nella loro fase eccentrica, principalmente nel tiro del pallone e nelle fasi di sprint. Da ciò si può dedurre come, in ambito calcistico, le HSI siano gli infortuni muscolari più frequenti. L'incidenza delle HSI varia tra 1,06/1000 h (ore) e 5,87/1000 h di esposizione ad allenamento e competizione. In base al grado di severità della lesione, i tempi di recupero possono variare dai 3 ai 28 giorni con una media di 9 giorni di recupero ⁽⁵⁾. Anche l'incidenza di recidive è parecchio alta essendo compresa tra il 12 e il 63%. Una così alta percentuale di recidive è data dal fatto che, mancando dei criteri obiettivi di giudizio, diviene complicato stabilire l'avvenuta completa guarigione e, in tal modo, il ritorno prematuro e rischioso all'attività sportiva. Inoltre, bisogna considerare che un muscolo cronicamente danneggiato da un trauma indiretto è più suscettibile alle contratture e agli sforzi muscolari ⁽⁶⁾. Una recidiva incrementa del 30% il tempo di recupero rispetto alla lesione originaria; dunque, è fondamentale una corretta valutazione iniziale dell'HSI per impostare un trattamento adeguato al tipo di lesione ⁽⁷⁾. Poiché la gestione di queste lesioni è solitamente un trattamento incruento con un intervento chirurgico riservato alle rotture complete, l'obiettivo principale dovrebbe essere la prevenzione delle HSI per ridurre al minimo il verificarsi di lesioni e, quindi, i giorni di assenza. Tali considerazioni suggeriscono l'importanza di identificare un protocollo per prevenire gli HSI ⁽⁵⁾.

CAPITOLO 1: LA LESIONE AGLI HAMSTRING NEL CALCIATORE

1.1 Specificità biomeccaniche degli hamstring nel gesto atletico

Gli ischiocrurali (Hamstring dall'inglese) sono un gruppo di muscoli della loggia posteriore della coscia. Dalla zona mediale a quella laterale sono composti dai muscoli semimembranoso e semitendinoso e dal capo lungo del muscolo bicipite femorale. Essi si accomunano per l'origine (tuberosità ischiatica), per l'innervazione (nervo sciatico) e, più nello specifico, per la funzione. Infatti, si tratta di tre muscoli biarticolari che estendono l'anca e flettono il ginocchio. Sono coinvolti nei principali movimenti della vita quotidiana, come stare in piedi e camminare. In ambito sportivo, gli hamstring sono importanti per le attività che prevedono sprint, salti, contrasti, manovre di taglio e calci ⁽⁸⁾

1.1.1 Sprint e biomeccanica della corsa

la corsa è un'azione ciclica, un meccanismo che può essere suddiviso in due fasi principali:

1. Fase di appoggio o di stance, in cui il piede è a contatto col suolo. Comincia con l'appoggio del tallone e termina con la spinta dell'avampiede. Risulta essere il 40% del ciclo della corsa.
2. Fase di oscillazione o di swing, in cui il piede non è a contatto col suolo. Questo è un movimento a catena cinetica aperta e compone il restante 60% del ciclo della corsa.

Queste due fasi principali possono essere ulteriormente suddivise in quattro sotto-fasi:

1. Early stance, la frenata. Prima fase d'appoggio che avviene con il contatto del tallone al suolo.
2. Late stance, la propulsione. Fase d'appoggio terminale data dal distacco delle dita dal suolo.
3. Early swing, il recupero. Prima fase dell'oscillazione in cui in ginocchio si flette e l'anca si estende.
4. Late swing, la pre-attivazione. Oscillazione che va dal momento di flessione massima di ginocchio (130°) ed estensione d'anca (50°), al nuovo appoggio del tallone.

Per ognuna gli di queste quattro fasi, gli Hamstring vengono reclutati in maniera differente. Conoscere il loro lavoro durante ogni fase del ciclo della corsa è fondamentale per capire il momento di massima sollecitazione muscolare, e, di conseguenza, per prevenire infortuni ⁽⁹⁾

Durante le simulazioni di corsa si è visto che gli hamstring si accorciano nella la prima fase di oscillazione (fase 3), quando il ginocchio si flette e l'anca si sposta dall'estensione alla flessione.

Una volta raggiunto il picco di flessione del ginocchio, inizia un rapido allungamento degli hamstring mentre l'anca si flette e il ginocchio comincia ad estendersi (inizio fase 4). Verso la fine dell'oscillazione (fine fase 4), gli hamstring si contraggono in eccentrica per controllare la flessione dell'anca ed impedire l'iperestensione del ginocchio. Ricapitolando, durante lo sprint, gli ischiocrurali subiscono un ciclo di accorciamento-allungamento, con l'accorciamento che avviene dalla fase 1 alla fase 3, mentre l'allungamento si ha in fase 4 ^(9,10,11,12,13). Ne viene fuori che sia il lavoro netto negativo che il lavoro netto positivo aumentano all'aumentare della velocità di corsa, con il lavoro netto negativo che aumenta a un ritmo più veloce con la velocità rispetto al lavoro netto positivo ⁽¹¹⁾.

Tutti gli studi però si sono interrogati su quale sia la fase in cui si rischia maggiormente l'infortunio muscolare. Alcuni di questi suggeriscono che la sola fase di late swing sia quella più pericolosa. In effetti, durante questa fase, gli hamstring raggiungono sia il loro picco di elongazione (allungamento del 9.8%), sia il loro picco di forza muscolo-tendineo. Infatti, durante lo sprint, è stato dimostrato che l'attività massima dell'elettromiogramma (EMG) si verifica durante la fase di oscillazione terminale. Quando la velocità di corsa aumentava dall'80% al 100%, l'attività del bicipite femorale (BF) durante la fase di oscillazione terminale aumentava in media del 67%, mentre ST e SM mostravano solo un aumento del 37%. Confrontando invece la singola attività delle componenti muscolari degli hamstring, si è visto che: BF ha avuto il picco di tensione muscolotendinea più elevato (aumento del 12,0% in lunghezza dalla posizione eretta), ST ha mostrato la maggiore velocità di allungamento muscolotendineo e SM ha prodotto la forza muscolotendinea più elevata, ha assorbito e generato la massima potenza muscolotendinea ed ha eseguito la maggiore quantità di lavoro positivo e negativo ^(9,11,13).

Tuttavia, non si può escludere la possibilità che l'HSI possa verificarsi anche nella fase di appoggio iniziale. Alcuni studi riportano un secondo picco (più piccolo) nell'attività dei muscoli posteriori della coscia. Per contrastare le grandi forze passive causate dalla forza di reazione al suolo, si è visto attraverso EMG che il BF ha raggiunto il suo picco della forza di reazione nella prima fase d'appoggio, ovvero quando il ginocchio era in massima estensione. Questi risultati suggeriscono che BF sarebbe suscettibile a lesioni da sforzo durante la fase iniziale di appoggio del passo di sprint ⁽¹²⁾.

Ultimamente da studi più recenti si evince che le due fasi di late swing ed early stance potrebbero essere pensate come un unico periodo di swing-stance, perché in entrambe le fasi, gli ischiocrurali estendono l'anca e flettono il ginocchio per controllare la flessione dell'anca ed evitare l'iperestensione del ginocchio con l'impatto del tallone al suolo. Più nel dettaglio, all'85% del ciclo

della corsa (fine fase 4) avviene la transizione di velocità di elongazione degli hamstring da negativa a positiva. Si crede che questo periodo di accorciamento-allungamento sia il più pericoloso e che possa causare maggiormente HSI. Dunque, si evince che, dopo il contatto del tallone al suolo, gli ischiocrurali siano attivi per contrastare i momenti esterni generati in gran parte dalle forze di reazione del suolo, ma soprattutto per fornire funzioni alternative, come la stabilità articolare e/o la propriocezione ^(9,12).

Infine, è necessario evidenziare che i risultati degli studi si basano su modelli e ipotesi estrapolati da indagini anatomiche e biomeccaniche. Non esiste il corretto ciclo della corsa perché ogni atleta trova, a modo suo, degli adattamenti funzionali. Dunque, con questi modelli di simulazione, rimane estremamente difficile tenere conto di tutti gli aspetti del tessuto muscolare che influenzano la funzione durante le azioni di corsa ad alta velocità ⁽⁹⁾.

1.1.2 calcio del pallone

Se c'è uno sport che più di tutti prende il nome da singolo un gesto atletico, quello è il calcio.

La tecnica del calcio è stata spiegata con un modello a catena cinetica aperta che si basa sia su una buona coordinazione motoria tra arti inferiori e superiori, sia su un trasferimento inter-segmentale di energia ⁽¹⁴⁾. Biomeccanicamente il calcio del pallone segue una sequenza di rotazioni segmentali su più piani, da prossimale a distale sostenuti da più fulcri (anca, ginocchio, caviglia e piede). Più nello specifico, questo gesto si può scomporre in cinque fasi:

1. Posizione del piede d'appoggio dell'arto controlaterale. È il momento fondamentale in quanto fornisce stabilità al movimento assorbendo l'impatto dell'atterraggio e frenando il movimento in avanti del corpo. Inoltre, dà la direzione al tiro.
2. Backswing. Corrisponde all'oscillazione all'indietro della gamba che calcia il pallone, in cui hamstring e grande gluteo lavorano in accorciamento. Durante questa fase, l'anca si estende (30°), viene addotta e ruotata esternamente; maggiore è l'ampiezza dell'estensione, più velocità potrà prendere l'arto durante il calcio. Mentre l'anca si estende, il ginocchio si flette e la caviglia va in plantiflessione (10°), abduzione (20°) e in leggera pronazione.
3. Forwardswing. È il movimento in avanti della gamba che calcia. Viene avviato da una rotazione di bacino sull'arto portante controlaterale. L'anca si flette (20°), si abduce e ruota esternamente, il ginocchio continua a flettersi e la caviglia è addotta e in flessione plantare.
4. Impatto. L'anca è flessa, addotta ruotata esternamente, il ginocchio raggiunge la minima flessione e la caviglia è addotta e in flessione plantare. In questo momento è fondamentale

mantenere la caviglia “rigida”, in modo tale da trasferire alla palla tutta la forza accumulata nelle fasi precedenti.

5. Follow through. Consiste nel momento finale in cui si dà forza e direzione alla palla. A questo punto l'anca è in massima flessione, il ginocchio esteso e la caviglia in posizione neutra. In questa fase, gli hamstring e il gluteo lavorano in eccentrica per frenare l'iperestensione del ginocchio ^(14,15,16,17).

È bene sottolineare che non è solo la corsa che può causare HSI, ma anche i ripetuti calci al pallone ⁽¹⁸⁾. Brooks JH e coll. hanno dimostrato che il calcio del pallone può evocare un HSI più grave rispetto ad uno sprint ⁽¹⁹⁾. Quando si pensa al calcio del pallone viene automatico ipotizzare che i muscoli flessori d'anca (ileopsoas su tutti) ed estensori di ginocchio (quadricipite) siano i protagonisti del movimento, ma non bisogna dimenticarsi degli hamstring. Questi muscoli sono fondamentali sia durante la fase 2 e 4 dell'arto in appoggio, ma soprattutto durante la fase 5 dell'arto che calcia, nella quale raggiungono il picco di forza. In questa fase, il loro lavoro in eccentrica funge da freno contro il quadricipite evitando che l'iperestensione violenta del ginocchio possa causare un trauma articolare. Dunque, se gli hamstring fossero deboli, l'estensione della gamba sarebbe interrotta precocemente per consentire la frenata in tempo utile; di conseguenza diminuirebbe la velocità di calcio del pallone. Invece, hamstring forti consentono di frenare il quadricipite nell'ultima fase di estensione, ottenendo così un tiro molto più potente e veloce.

1.2 Classificazione e meccanismi di lesione degli hamstring nel calciatore

La lesione muscolare è uno degli infortuni più ricorrenti in ambito sportivo. L'entità della lesione può andare dal semplice stiramento, sino allo strappo muscolare completo. Flores et al. hanno classificato gli infortuni muscolari in base a insorgenza, meccanismo, tipo di lesione ⁽²⁰⁾

Tabella 2 (Flores et al., 2018)

<i>Insorgenza</i>	<i>Meccanismo</i>	<i>Lesione</i>
<i>Acuta</i>	- Indiretto	- Stiramento
	- Diretto	- Contusione con emorragia acuta - Lacerazione
	- Legato alla fascia	- Sindrome compartimentale acuta
<i>Subacuta</i>	- Indiretto	- DOMS
	- Diretto	- Ematoma subacuto
<i>Cronica</i>	- Indiretto	- Guarigione disordinata con fibrosi/atrofia
	- Diretto	- Ematoma cronico - Miosite ossificante
	- Legato alla fascia	- Sindrome compartimentale cronica da sforzo - Ernia muscolare

In particolare, le lesioni muscolari possono avvenire per traumi diretti o indiretti. Nel primo caso una forza esterna agisce direttamente sul ventre muscolare causando la lesione. In base alla loro gravità, queste possono essere classificate in tre gradi:

- Grado lieve, in cui è consentito oltre metà del range di movimento.
- Grado moderato, in cui il range di movimento è compreso tra un terzo e metà del range fisiologico.
- Grado severo, in cui il range di movimento è inferiore ad un terzo del normale arco di movimento.

Gli infortuni da trauma indiretto sono causati da un complesso di forze lesive che può colpire differenti parti del muscolo. Nanni ⁽²¹⁾, basandosi su criteri di ordine anamnestico, sintomatologico e anatomo-patologico, suddivide questi traumi in: contrattura, stiramento, strappo di primo, secondo e terzo grado.

La contrattura si manifesta con una sintomatologia dolorosa che insorge quasi sempre ad una certa distanza dall'attività sportiva. L'insorgenza del dolore può variare da qualche ora a qualche giorno. Un'alterazione diffusa del tono muscolare fa sì che il dolore sia mal localizzato. Dunque, si ritiene che la contrattura sia una conseguenza di uno stato di affaticamento generale del muscolo. Dal punto di vista anatomo-patologico si escludono lesioni.

Lo stiramento muscolare è causato da un episodio doloroso acuto che comporta un'immediata impotenza funzionale. È l'infortunio che più di tutti causa la perdita di tempo di gioco negli atleti professionisti, mettendo in disparte oltre un terzo dei giocatori di calcio durante una stagione ^(22,23). Questa lesione si localizza maggiormente a livello della giunzione miotendinea, che ha una capacità limitata di tollerare le forze generate durante la contrazione eccentrica. Inoltre, ad avere un maggior tasso di rischio di lesioni, sono quei muscoli di grandi dimensioni, che attraversano due articolazioni, che contengono un'alta percentuale di fibre muscolari di tipo due e che presentano un'architettura pennata. Fisiologicamente, i muscoli pennati sono meno elastici in quanto presentano fibre più corte, di conseguenza il rischio di stiramento durante l'allungamento è aumentato. Inoltre, le fibre muscolari con angoli di pennazione più ripidi (più perpendicolari al tendine) sono a maggior rischio di stiramento. Lo stiramento uni-pennato colpisce più comunemente gli hamstring, in particolare il bicipite femorale. A livello anatomo-patologico non sono presenti lacerazioni macroscopiche delle fibre.

Lo strappo muscolare è tipicamente legato all'eccessivo allungamento di un muscolo contratto durante un gesto atletico che prevede un esercizio eccentrico di velocità e potenza, come il calcio, il football americano, il rugby e l'atletica leggera ⁽²⁴⁾. Come nel caso dello stiramento, anche lo strappo muscolare è più comune nei muscoli pennati dell'arto inferiore, in particolare quelli che attraversano due articolazioni e hanno un'alta percentuale di fibre di tipo due. Si manifesta con

dolore acuto causato dalla lacerazione delle fibre e, in base ai criteri anatomico-patologici, lo si può suddividere in tre gradi:

- Lo strappo di 1° grado è sempre accompagnato da stravaso ematico. Non si ha una lacerazione del fascio muscolare, ma solo una lacerazione di poche miofibrille all'interno di esso.
- Lo strappo di 2° grado è caratterizzato dalla lacerazione delle miofibrille fino ai $\frac{3}{4}$ della sezione anatomica considerata. Il deficit funzionale è importante ma non assoluto.
- Lo strappo di 3° grado avviene con la lacerazione di più dei $\frac{3}{4}$ del muscolo (parziale) fino ad una lacerazione del ventre muscolare (totale) ^(20,21).

Nel calcio le HSI si verificano principalmente a causa di movimenti ad alta velocità che comportano un elevato carico eccentrico dei muscoli flessori del ginocchio. In particolare, Jokela et al. hanno individuato anche meccanismi di infortunio di tipo misto, che includono lesioni di tipo stretching e di tipo sprint ⁽²⁵⁾.

Le stretching-type si verificano quando vengono combinati i movimenti di estrema flessione dell'anca ed estensione di ginocchio (calcio del pallone). La lacerazione avviene in overstretching, ovvero quando le fibre muscolari non riescono a far fronte all'eccessiva richiesta di allungamento che viene impressa sul muscolo. ST e SM sono i muscoli più colpiti del complesso.

Le high-speed running type si verificano durante la corsa massimale o sub massimale e avvengono principalmente all'interno del normale range di lavoro del muscolo. È stato dimostrato che il muscolo più coinvolto è il bicipite femorale con un maggior interessamento della giunzione muscolotendinea prossimale rispetto a quella distale ^(8,9,12).

1.3 I principali fattori di rischio di lesione agli hamstring nel calciatore

Negli ultimi tempi sono stati condotti molti studi sulla prevenzione degli HSI nel calcio. Nonostante ciò, il tasso d'incidenza degli infortuni non è diminuito, ma, in alcuni casi, risulta addirittura aumentato ⁽³⁾. Si è visto che per prevenire le lesioni degli hamstring è necessario concentrarsi sia sulla meccanica di questi muscoli, sia sui possibili fattori di rischio, in modo da poter sviluppare un intervento appropriato. In letteratura i fattori di rischio vengono classificati in:

- 1) Estrinseci, ovvero i fattori correlati all'ambiente come la superficie di gioco; di questi ne fanno parte anche il riscaldamento dell'atleta, la forma fisica, le calzature, ecc.
- 2) Intrinseci, ovvero i fattori biomeccanici e funzionali correlati all'anatomia del calciatore. A loro volta, questi possono essere suddivisi in anatomici, intrinseci imm modificabili, intrinseci modificabili ⁽²⁶⁾.

1.3.1 fattori di rischio anatomici: biarticolari , doppia innervazione, antiversione di bacino

Gli hamstring consentono il movimento dei comparti articolari di anca e ginocchio. La biarticolari  predispone questi muscoli ad allungamenti e tensioni massimali. Superare spesso i limiti muscolari meccanici pu  portare all'accumulo di dolori muscolari ad insorgenza ritardata (DOMS), stiramenti e/o strappi ⁽²⁶⁾.

Il bicipite femorale   formato da due capi che hanno una diversa innervazione: il capo lungo   innervato dal ramo tibiale del nervo sciatico, mentre il capo breve   innervato dal ramo peroneo comune del nervo sciatico. Alcuni studi suggeriscono che una mancata coordinazione degli impulsi nervosi, causata proprio dalla doppia innervazione, possa essere una causa di HSI ^(26,27,28).

Gli hamstring hanno in comune l'origine muscolare situata nella parte posteriore del bacino, precisamente sulla tuberosit  ischiatica.   stato studiato che un'eccessiva antiversione di bacino porterebbe il gruppo muscolare ad avere lunghezze superiori del normale e ci  potrebbe causare lesioni da sforzo ^(26,27,29).

1.3.2 fattori di rischio intrinseci immodificabili: precedente infortunio, et  anagrafica, etnia

Una pregressa storia personale di precedenti traumi degli hamstring rappresenta un maggior rischio di recidiva nella stessa sede. Un infortunio causa disadattamenti anatomo-funzionali come la formazione di tessuto cicatriziale non funzionale, l'alterazione dei meccanismi di allungamento del tessuto muscolare, una ridotta flessibilit , riduzione della forza eccentrica. Uno studio di tokutake et all. ha dimostrato che i gruppi muscolari precedentemente lesionati sono predisposti ad un'ulteriore lesione in quanto presentano un accorciamento post-lesionale non fisiologico. Tuttavia, non si ha ancora la certezza assoluta che questi disadattamenti possano causare a tutti gli effetti una recidiva ⁽³⁰⁾.

Un altro fattore da considerare   l'et  anagrafica. Nei calciatori si   visto che per ogni anno di et  aumenta il rischio di HSI fino 1.8 volte. Infatti, una diminuzione della massa muscolare e una fisiologica regressione della forza dovuta all'invecchiamento potrebbe spiegare l'aumento del rischio di HSI nei calciatori pi  anziani ^(26,31).

Dalla letteratura   emerso che gli atleti di origine afrocaribica siano pi  predisposti ad infortuni ai flessori del ginocchio rispetto agli atleti caucasici. Questi popoli sembrano essere pi  a rischio perch  possiedono geneticamente un'alta percentuale di fibre muscolari di tipo 2. Inoltre, questi atleti mostrerebbero un'antiversione di bacino particolarmente accentuata che li predisporrebbe ad un ulteriore rischio lesivo ⁽²⁷⁾.

1.3.3 fattori di rischio intrinseci modificabili: H:Q ratio, fatica

Nello sport, la ripetizione di specifici gesti atletici ciclici può determinare uno squilibrio in termini di forza e flessibilità tra muscoli agonisti e antagonisti. Nel calcio assume particolare rilevanza il rapporto di forza tra hamstring e quadricipite, denominato H:Q ratio. Alcuni autori sostengono che l'alterazione di questo valore non sarebbe tanto dovuto ad un deficit di forza dei muscoli flessori, quanto ad uno sproporzionato incremento della capacità del quadricipite, che non sarebbe compensato dal trofismo dei muscoli antagonisti ⁽³²⁾. Esistono due tipi di H:Q ratio:

- 1) Il convenzionale si ottiene dividendo il picco di forza dei flessori di ginocchio con il picco di forza degli estensori di ginocchio. Rappresenta un fattore di rischio quando il rapporto è inferiore a 0,6.
- 2) Il funzionale prevede due fasi: la fase di estensione del ginocchio, ottenuta dal rapporto tra forza eccentrica degli hamstring e forza concentrica del quadricipite; la fase di flessione del ginocchio, ottenuta dal rapporto tra forza concentrica degli hamstring e forza eccentrica del quadricipite. Questo tipo di H:Q ratio viene considerato più realistico perché più simile al movimento del calciatore e il rapporto fra le due fasi deve essere 1:1.

Occorre considerare che in molti casi gli hamstring vengono allenati attraverso programmi basati sulla contrazione concentrica. Recenti studi dimostrano che un allenamento basato sulle contrazioni eccentriche sarebbe più efficace e funzionale in termini di prevenzione del rischio traumatico ⁽³³⁾.

Strettamente collegata all'H:Q è la fatica muscolare che può essere definita come l'incapacità di mantenere una determinata intensità di esercizio o potenza per l'intera durata della richiesta funzionale. La letteratura classifica l'affaticamento in:

- Acuto; si verifica subito dopo l'attività fisica ed è attribuito a una combinazione di attivazione dei meccanismi centrali e periferici.
- Centrale; si verifica durante le contrazioni submassimali o a bassa intensità e influenza l'attivazione volontaria del muscolo. È causata da una diminuzione dell'eccitazione fornita dalla corteccia e/o da una diminuita attività del percorso motoneuronale.
- Periferico; si verifica con l'alterazione della capacità di contrazione muscolare ed è causata da disturbi dei meccanismi implicati nella produzione di forza, uno su tutti la propagazione del potenziale d'azione muscolare ⁽²⁶⁾.

Hennessey et al. hanno dimostrato che in condizioni di fatica, i calciatori tendono ad un'eccessiva antiversione di bacino, predisponendoli (come già anticipato) ad un aumentato rischio di lesioni da

sforzo ⁽²⁹⁾. Diversi studi hanno evidenziato come la fatica influenzi il ciclo della corsa, soprattutto nelle fasi finali delle partite. L'affaticamento degli hamstring porta sia ad un aumento di estensione del ginocchio nella fase terminale di oscillazione della corsa, sia ad una riduzione della flessione d'anca. Queste alterazioni meccaniche causano squilibri propriocettivi delle articolazioni di anca e ginocchio e, di conseguenza, possono aumentare il rischio di HSI ^(26,34).

CAPITOLO 2: IL RINFORZO DEGLI HAMSTRING COME STRATEGIA PER PREVENIRE L'INFORTUNIO MUSCOLARE

Per un atleta, amatoriale o professionista che sia, l'infortunio risulta essere un trauma sia a livello sportivo, che a livello umano; infatti, questo ha un impatto importante sui risultati atletici, prestazionali e sulla salute psicologica ed emotiva. Ad esempio, Johnston e Carroll hanno constatato che spesso gli atleti mostrano frustrazione durante le prime fasi della riabilitazione a causa della loro improvvisa mancanza di coinvolgimento sportivo, mentre nelle fasi intermedie possono mostrare mancanza di motivazione e di voglia di tornare allo sport. A tal proposito, Kamphoff et al. suggeriscono l'integrazione delle componenti psicologiche al processo di riabilitazione ⁽³⁵⁾.

Fatta questa premessa, il punto cardine della prevenzione degli infortuni sembra essere proprio l'analisi dell'impatto che le lesioni rappresentano per l'atleta, per l'istituzione o per la squadra a cui appartiene che vedono calare in modo significativo il loro livello competitivo. Tutto ciò porta ad escogitare misure volte a ridurre l'incidenza delle lesioni e ad incrementare metodiche di allenamento che migliorino il livello di prestazione degli atleti.

Nel 1992, il professor Van Mechelen presentò il primo modello sequenziale per la ricerca sulla prevenzione degli infortuni. L'omonimo modello si sviluppa secondo quattro fasi:

1. Quantificazione e contestualizzazione del problema attraverso un'attenta e individualizzata analisi epidemiologica.
2. Definire le meccaniche di infortunio e dei fattori di rischio per le lesioni più frequenti in ogni sport, facendo riferimento all'analisi epidemiologica.
3. Attuare misure preventive tenendo conto dell'analisi delle prime due fasi
4. Valutare l'efficacia delle misure preventive proposte ripetendo la fase uno e confrontando i risultati ⁽³⁶⁾.

Per mezzo di questo modello, nel corso degli anni sono state valutate diverse misure per prevenire e ridurre il tasso di HSI nei calciatori. A riguardo, nello studio di Arnason et al. viene confrontata l'efficacia dell'allenamento di forza eccentrica rispetto all'allenamento della flessibilità sull'incidenza degli stiramenti dei flessori di ginocchio nei giocatori di calcio in Islanda e Norvegia. I risultati dello studio hanno evidenziato che nelle squadre che hanno utilizzato il programma di allenamento di forza eccentrica, l'incidenza degli stiramenti dei flessori di ginocchio è stata inferiore del 65% rispetto alle squadre che hanno utilizzato solo i programmi di allenamento per la flessibilità ⁽³⁷⁾. In relazione ai gesti atletici e ai fattori di rischio, il rinforzo muscolare eccentrico sembra avere un'efficacia protettiva sui flessori di ginocchio in quanto riproduce le stesse azioni che sono riconosciute come potenzialmente rischiose.

2.1 Il rinforzo muscolare eccentrico

La capacità di controllare la quantità di tensione esercitata dai muscoli scheletrici è cruciale durante il movimento. Questo controllo permette ai muscoli di contrarsi in modo regolare durante tutte le fasi del movimento.

La contrazione muscolare è il processo fisiologico attraverso cui le miofibrille, mediante uno stimolo interno o esterno, si attivano. La loro attivazione è il risultato di una serie di modificazioni intracellulari che permette loro di accorciarsi e allungarsi, per interagire con le forze esterne e generare il movimento.

Si è soliti classificare le contrazioni muscolari in statiche e dinamiche. Nella contrazione statica, o isometrica, la forza prodotta dal muscolo e la resistenza esterna si equivalgono, la tensione e la lunghezza muscolare rimangono invariate. Ne risulta una contrazione muscolare costante che non produce movimento. Nelle contrazioni dinamiche invece, la contrazione muscolare genera il movimento della parte del corpo. A seconda del tipo di contrazione, si possono dividere in:

- Isocinetica. È una contrazione in cui il muscolo sviluppa il massimo sforzo generando un movimento a velocità costante. Ottenerla in modo naturale è impossibile, dunque si realizza soltanto per mezzo di particolari macchine definite isocinetiche.
- Isotonica. È una contrazione che genera un cambiamento di lunghezza nel muscolo. Consta di due fasi:
 - 1) fase positiva o concentrica in cui le miofibrille si accorciano avvicinando le inserzioni; è tale da consentire il superamento della resistenza applicata.
 - 2) Fase negativa o eccentrica in cui la tensione sviluppata è minore della resistenza applicata, di conseguenza le miofibrille si allungano allontanando le inserzioni.
- Auxotonica. È una contrazione che aumenta progressivamente con l'aumentare dell'accorciamento muscolare. L'allenamento attraverso resistenze elastiche ne è un esempio.
- Pliometrica. È una contrazione concentrica esplosiva preceduta da una lenta fase eccentrica. Per mezzo delle sue proprietà elastiche, il muscolo accumula energia in fase eccentrica per poi trasformarla in un gesto atletico che prevede la sua fase concentrica. Ne sono un esempio i salti.

Spostando il focus soltanto sulla contrazione muscolare eccentrica, questa prevede un allungamento dell'unità muscolotendinea durante la contrazione, a seguito della maggiore forza applicata sull'unità rispetto alla forza prodotta dal muscolo.

Durante una contrazione eccentrica, il muscolo svolge un lavoro di tipo anaerobico che comporta una marcata anossia cellulare data da un'interruzione della vascolarizzazione muscolare. A livello fisiologico si è notato che il rinforzo eccentrico promuove l'aggiunta di sarcomeri in parallelo, favorendo così un'ipertrofia muscolare principalmente medio distale, a differenza del rinforzo concentrico che favorisce l'aggiunta dei sarcomeri in serie e un aumento ipertrofico del ventre muscolare. Più nello specifico, Linari et al. hanno evidenziato che, durante una contrazione eccentrica, due o più filamenti di miosina si attivano per legarsi al singolo filamento di actina, causando l'aumento del numero di ponti trasversali attivi nel singolo sarcomero ⁽³⁹⁾, che si traduce in un aumento sostanziale dei fascicoli muscolari ⁽³⁸⁾. Ciononostante, a livello elettromiografico si è visto che, in termini di richieste metaboliche, le contrazioni eccentriche sembrano richiedere meno energia per unità di lavoro rispetto a quelle concentriche. Questo pare sia dovuto ad un minore reclutamento attivo di unità motorie per velocità di scarica durante una contrazione eccentrica rispetto ad una concentrica ⁽⁴⁰⁾.

Rispetto all'allenamento concentrico, isometrico e tradizionale, si è visto che l'allenamento eccentrico può migliorare maggiormente le prestazioni atletiche producendo adattamenti favorevoli sulla funzione meccanica e sulla morfologia muscolare, adattamenti neuromuscolari e prestazionali, ad esempio salto verticale, velocità di sprint, cambio di direzione. Esistono due metodi per svolgere un allenamento eccentrico funzionale:

1. L'allenamento a due movimenti, una tecnica di movimento lenta/super lenta svolta in negativa, con un carico sovramassimale per una singola ripetizione.
2. L'allenamento a carico eccentrico accentuato. L'AEL prevede che gli atleti eseguano la fase eccentrica di un esercizio con un carico maggiore rispetto alla fase concentrica, rimuovendo parte del carico.

L'AEL induce adattamenti di tipo prevalentemente funzionale a livello di SNC, che andranno a produrre benefici nella prestazione sportiva di un'atleta. Ciò si traduce in un aumento di forza e potenza e, di conseguenza, in una diminuzione degli infortuni muscolari ⁽⁴¹⁾.

Nei paragrafi precedenti sono stati descritti dettagliatamente i meccanismi e fattori di rischio degli HSI nei calciatori. Dalla letteratura si evince che la maggior parte degli HSI avvengono quando gli hamstring sono reclutati nella loro fase eccentrica ^(19,20,25,32,33). La forza eccentrica gioca un ruolo importante nella corsa, precisamente in fase di decelerazione e nel cambio di direzione. Infatti,

un'elevata attività muscolare eccentrica consente agli atleti di decelerare il corpo durante velocità di movimento elevate, prerequisito fondamentale per la successiva fase di accelerazione e per l'esecuzione del cambio di direzione ^(14,15,16,17,37). Uno studio di Jones et al. in calciatrici d'élite di età pari a 22 anni ha evidenziato una complessa interazione tra cambio di direzione, forza velocità e tecnica proponendo come momento fondamentale dell'interazione il penultimo contatto col terreno di gioco. Una forza frenante maggiore e una decelerazione orizzontale più rapida, è stata osservata soltanto nelle calciatrici in grado di sviluppare alte prestazioni di forza eccentrica in hamstring e quadricipite. Inoltre, un numero crescente di prove indica che programmi di allenamento che prevedono il rinforzo eccentrico possono enfatizzare adattamenti neuromuscolari e migliorare il controllo neuro corticale, riducendo così il rischio di lesioni. Le contrazioni eccentriche consentono la dissipazione dell'energia meccanica durante la decelerazione del corpo, permettono di trasformare l'energia dissipata in energia elastica dei tendini, che viene poi recuperata dal corpo, con conseguente minore lavoro muscolare ed energia richiesta durante il gesto atletico. Da studi condotti su atleti adolescenti si evince che, durante l'esecuzione di un movimento ciclico in allungamento-accorciamento, il tendine migliora l'immagazzinamento e il ritorno dell'energia di deformazione elastica. Pertanto, l'allenamento della forza eccentrica sembra essere un valido strumento di prevenzione degli infortuni delle unità muscolo tendinee ⁽⁴²⁾.

2.2 NHE: Nordic Hamstring Exercise

Il NHE è uno degli esercizi più validati in termini di efficacia preventiva negli HSI. Nel 2003, il Centro Medico e di Ricerca F-MARC della Fédération Internationale de Football Association (FIFA) ha progettato il FIFA11, un programma di riscaldamento pre-partita adottato nelle squadre di calcio di élite e amatoriali per ridurre il rischio di infortuni, in cui è stato incluso anche il NHE. Nel 2006, questo programma è stato ampliato e migliorato per formare il FIFA11+. All'interno sono stati inseriti tre serie di NHE: "principiante", minimo 3-5 ripetizioni, "intermedio", minimo 7-10 ripetizioni e "avanzato", minimo 12-15 ripetizioni ⁽⁴³⁾.

Il NHE è un esercizio che si esegue a copro libero, senza l'utilizzo di particolari attrezzature e competenze di allenamento avanzate. La posizione di partenza è in ginocchio con le gambe flesse a 90° rispetto al suolo e bloccate per le caviglie da un partner o da un fermo, assicurandosi così che i piedi non si stacchino dal suolo per tutta la durata dell'esercizio. L'esecuzione prevede un'inclinazione lenta e controllata del tronco verso il pavimento, mantenendo rachide, busto e cosce allineati. Per frenare la caduta in avanti del tronco, l'atleta recluta gli hamstring massimizzando la loro fase eccentrica. Engebretsen et al definiscono un angolo articolare di 30° del ginocchio come

fattore discriminante per suddividere gli atleti in due categorie. Nella prima categoria rientrano i soggetti definiti come “aventi una buona funzionalità degli hamstring”, coloro i quali riescono a raggiungere un angolo articolare a livello del ginocchio di 30°, coerentemente con l’esecuzione dell’esercizio. La seconda categoria è formata da quegli atleti che, al contrario, non riescono a raggiungere l’angolo di 30° a livello del ginocchio e vengono definiti da Engebretsen come “non aventi una buona funzionalità degli hamstring” ⁽⁴⁴⁾. È stato suggerito che, a causa della natura bilaterale di questo esercizio, l’arto dominante può essere sottoposto a uno stress maggiore, con conseguente miglioramento dell’adattamento neuromuscolare in questo arto rispetto all’arto non dominante ⁽⁴⁸⁾. Al contrario, attraverso EMG, Iga et al. hanno dimostrato che sia gli hamstring dell’arto dominante, che di quello non dominante, eseguono equamente la stessa attività muscolare, la quale rimane costante durante tutta la durata dell’esercizio ⁽⁴⁹⁾.

Tuttavia, anche se è dimostrata l’efficacia del NHE, è bene considerare alcuni suoi limiti. Uno di questi è rappresentato dalla pura biomeccanica dell’esercizio, in cui gli hamstring vengono sollecitati solamente nella loro componente monoarticolare del ginocchio e non biarticolare, come avviene nella maggior parte dei gesti atletici calcistici. Infatti, durante l’esecuzione del NHE l’anca viene mantenuta fissa, con il movimento che viene eseguito esclusivamente a carico del ginocchio. Brughelli e Cronin, al contrario di Engebretsen ⁽⁴⁴⁾, hanno messo in dubbio la capacità del NHE di coinvolgere i muscoli posteriori della coscia quando l’atleta si porta al di sotto dei 30° di estensione di ginocchio. Così facendo, sembrerebbe che l’NHE non alleni gli hamstring ad angoli articolari potenzialmente dannosi ⁽⁴⁸⁾. Ancora una volta però, Iga et al. dimostrano che i guadagni nel picco di forza di coppia sono paragonabili tra gli arti e sono evidenti a qualsiasi velocità di esecuzione e a qualsiasi angolo di estensione di ginocchio. Questi adattamenti possono aumentare la quantità di forza che i muscoli posteriori della coscia possono sopportare quando sottoposti a uno stiramento forzato, suggerendo dunque che il NHE può modificare le prestazioni muscolari in posizioni potenzialmente dannose ⁽⁴⁹⁾. Oltretutto, si potrebbe inserire il NHE in un programma di esercizi più ampio che solleciti gli hamstring anche in modalità biarticolare, oppure inserire la variante BNHE (biarticular nordic hamstring exercise). In questo caso, il soggetto abbina contemporaneamente il movimento di estensione d’anca a quello di estensione del ginocchio, così da rendere l’esercizio simile al modello lesionale.

Un altro limite è sicuramente dato dalla scarsa compliance che hanno i calciatori e, più in generale gli atleti, nei confronti di questo esercizio. Come già evidenziato nel capitolo 2.1, durante un allungamento eccentrico due o più teste di miosina si attaccano al filamento di actina formando più ponti trasversali. Man mano che si aumenta la velocità dell’allungamento eccentrico, meno teste di miosina saranno in grado di attaccarsi al filamento di actina per formare ponti trasversali. Di

conseguenza, i ponti trasversali già presenti subiranno un maggiore allungamento e saranno inevitabilmente costretti a staccarsi. Così facendo, le miofibrille vanno incontro a microlesioni che causano un indolenzimento muscolare ad insorgenza ritardata (DOMS) ^(38,45). È dimostrato che il NHE sovraccarica gli hamstring oltre la loro capacità di produzione di forza eccentrica massimale. Tale sovraccarico può provocare DOMS post-esercizio, motivo per cui, secondo Bahr et al nel calcio europeo maschile d'élite ci sarebbe una scarsa compliance per i programmi di prevenzione di HSI che prevedono NHE e, più in generale, rinforzo eccentrico ⁽⁴⁶⁾; compliance troppo bassa per aspettarsi un effetto complessivo sui tassi di infortuni acuti dei flessori di ginocchio ⁽⁴²⁾.

Ciononostante, negli ultimi vent'anni, molti studi hanno esaminato i programmi di allenamento con il NHE, dai quali si evince una significativa riduzione del rischio di HSI. In ambiente calcistico. Mjølsnes et al sono stati i primi a confrontare gli effetti di un allenamento di forza eccentrica con NHE, rispetto ad allenamenti eccentrici con leg curl. L'allenamento con NHE massimizza la forza eccentrica e isometrica degli hamstring, oltre ad aumentare il rapporto di forza H:Q. Brughelli e Cronin evidenziano come la costante esecuzione dell'esercizio NHE può aumentare il picco di forza eccentrica degli hamstring mediamente del 20% ⁽⁴⁸⁾. È stato dimostrato che, per risultare efficace, l'allenamento eccentrico con NHE andrebbe svolto in un periodo compreso tra le quattro e le dieci settimane ^(49,50,51). Quattro settimane di allenamento eccentrico con il NHE sembrano essere il tempo minimo efficace per ottenere i primi risultati a breve termine di miglioramento muscolare e prestazionale, risultando efficaci sia per raggiungere un buon picco di forza bilaterale, sia per ridurre molteplici fattori di rischio intrinseci modificabili di HSI in atleti ^(49,50). 942 calciatori, appartenenti a 54 squadre delle prime 5 divisioni calcistiche danesi sono stati inseriti in un programma di intervento di ventisette sessioni di NHE eseguito in dieci settimane. Attraverso questo programma di allenamento per gli hamstring, si è notata una significativa riduzione del tasso di nuovi infortuni, oltre il 60%, e una riduzione dell'85% del tasso degli infortuni ricorrenti ⁽⁵¹⁾.

Ancora oggi però, pare non essere stato ben chiarito quando inserire nella seduta d'allenamento il NHE. In generale, l'esercizio eccentrico è un esercizio di resistenza che, se somministrato dopo un allenamento ad intervalli ad alta intensità, fornisce uno stimolo anabolico maggiore rispetto all'esercizio eseguito in isolamento. D'altro canto, la somministrazione degli esercizi eccentrici post allenamento potrebbe scontrarsi con uno dei principali fattori di rischio di HSI, ovvero la fatica. Alcuni dati suggeriscono che la fatica e la deplezione di glicogeno inerenti all'attività calcistica possono avere un impatto negativo sul muscolo e sul successivo allenamento di forza. A tal proposito Lovell et al. hanno esaminato, in un periodo di dodici settimane, gli effetti del NHE prima o dopo l'allenamento sull'attivazione neurale e sugli adattamenti dell'architettura muscolare del bicipite femorale in giocatori dilettanti. Da questo studio è emerso che il timing di esecuzione

produce effetti differenti soltanto sull'architettura del bicipite femorale, mentre l'attivazione neurale e la forza eccentrica degli hamstring sono aumentanti con NHE, indipendentemente dal timing di esecuzione ⁽⁵²⁾.

CAPITOLO 3: MATERIALI E METODI

La seguente revisione sistematica è stata eseguita attraverso un approccio EPB (evidence based practice), un processo mirato alla selezione di specifici articoli all'interno delle principali banche dati mediche e fisioterapiche. Il fine primario della revisione è volto a comprendere in che modo il NHE agisce sugli hamstring e, di conseguenza, quanto questo esercizio risulti valido per prevenire le lesioni agli hamstring nei calciatori. Gli studi inclusi prevedono principalmente l'esecuzione di NHE come esercizio di prevenzione. Tutti gli studi sono attuati nella pratica, durante le sedute d'allenamento dei calciatori stessi. La selezione degli articoli scelti per la stesura della revisione sistematica è rappresentata mediante il diagramma di flusso (figura 1) realizzato seguendo le indicazioni fornite dal "Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses" (PRISMA).

3.1 Criteri di eleggibilità degli studi

Il primo passo della stesura del presente contributo è quello di trasformare il titolo della revisione sistematica in una domanda clinica chiara e strutturata. A tal proposito è stato utilizzato il PICOS, uno strumento che rappresenta i cinque elementi principali di una ricerca: P = popolazione, I = intervento, C = confronto, O = obiettivo, S = disegno di studio. Per questa revisione è stato realizzato il seguente PICOS:

- P = calciatori senza precedenti di HSI
- I = NHE
- C
- O = prevenzione delle lesioni agli hamstring
- S = RCT

In questa revisione sistematica sono stati selezionati unicamente trial clinici randomizzati e controllati (RCT) a partire dall'anno 2010, di qualsiasi lingua e reperibili in modalità full text attraverso PubMed Central e il servizio proxy offerto dall'Università di Bologna. Gli studi comprendono partecipanti di età compresa tra i 18 e 40 anni, di ogni provenienza e appartenenza etnica che praticano calcio in squadre amatoriali o d'élite. I calciatori coinvolti negli studi possono presentare storie di precedenti HSI, o di infortuni più generali se avvenuti almeno dopo 6 mesi dai vari interventi. Per essere inclusi, gli studi devono avere un punteggio PEDro score > 5, in modo da essere considerati "ad alta qualità metodologica". Sono stati indagati soltanto gli studi che rispettano la formulazione del PICOS e che includono principalmente NHE come pratica di

prevenzione di HSI per evitare possibili bias derivanti dall'esecuzione di un intero protocollo di esercizi. Non sono stati presi in considerazione tutti gli studi che non rispettano i criteri di inclusione precedentemente descritti e quelli con un punteggio PEDro score < 5.

3.2 Metodiche di ricerca

Per la realizzazione del seguente contributo, un'unica persona ha eseguito le ricerche all'interno delle banche dati, me stesso. L'operazione è avvenuta più volte e ha ricoperto l'arco temporale tra febbraio 2024 e settembre 2024. Così facendo, è stato possibile comprendere a pieno il quesito clinico, affinare la ricerca e, di conseguenza, avere una maggiore affidabilità intra-operatore dello studio effettuato. L'indagine degli articoli scientifici è avvenuta principalmente all'interno di tre banche dati biomediche: "PubMed", "PEDro", "Cochrane Library". Meno usate, ma comunque utili ai fini della ricerca sono state "UpToDate", "Chinal", "Fisioscience". Ulteriori ricerche sono state eseguite analizzando la bibliografia di revisioni sistematiche del medesimo quesito clinico. Le banche dati sono state consultate con l'ausilio del servizio AlmaRe, la biblioteca delle risorse elettroniche dell'Università di Bologna. Dopo aver trasformato l'argomento in quesito di ricerca sottoforma di PICOS, né sono state estratte le parole chiave pertinenti e di interesse per la ricerca. Tali parole selezionate sono state combinate mediante l'uso di operatori Booleani per la realizzazione di una stringa di ricerca da poter utilizzare nelle banche dati biomediche. Le parole chiave individuate sono le seguenti: NHE, injury prevention, HSI, eccentric training, football injuries.

Le strategie di ricerca sono state adattate a seconda dei criteri della banca dati presa in esame. Le principali stringhe di ricerca per banca dati sono qui riportate:

- Pubmed: sono state effettuate ricerche avanzate mediante le seguenti stringhe di ricerca:
 - (NHE) AND (injur* prevention)
 - (NHE) AND (football injur*)
 - (eccentric training) OR (NHE) AND (HSI)
 - (NHE NOT spint exercis*) AND (football AND soccer AND injur* prevention)

Filtri Applicati: "Text Availability: Full Text" ; "Article Type: Randomized Controlled Trial".

- PEDro: Sono state condotte delle ricerche semplici con le seguenti stringhe di ricerca:
 - NHE, HSI
 - NHE, football injuries
 - Eccentric training, injury prevention

- Eccentric training, HSI

Filtri Applicati: Clinical Trial.

➤ Cochrane Library: Sono state effettuate ricerche avanzate mediante le seguenti stringhe di ricerca:

- (NHE), (HSI)
- (NHE), (football injuries)
- (Eccentric training), (injury prevention)
- (Eccentric training), (HSI)

Filtri Applicati: Clinical Trial.

La selezione degli studi è stata effettuata da un singolo revisore indipendente attraverso le seguenti fasi:

- 1) Identificazione: studi totali selezionati mediante stringhe di ricerca;
- 2) Screening: esclusione manuale di studi doppiati e di articoli non coerenti con il quesito di ricerca;
- 3) Eleggibilità: selezione degli articoli dopo lettura di abstract e/o full-text, nel rispetto del PICOS e dei criteri di eleggibilità;
- 4) Inclusione degli studi: numero finale di studi inclusi nella revisione.

Tutti i dati sono stati raccolti e ricavati dalla lettura completa di ogni full-text degli studi inclusi nella revisione.

3.3. Valutazione della qualità degli studi

Uno dei criteri di eleggibilità prende in considerazione la qualità dello studio che viene valutata mediante la scala PEDro (tabella 1). Questa si compone di 11 criteri e ha lo scopo di individuare rapidamente se uno studio è in grado di fornire informazioni attendibili e valide o meno. Il primo item riguarda la validità esterna di uno studio ed è soddisfatto quando all'interno dello studio sono presenti i criteri di eleggibilità. Anche se non calcolato nel punteggio finale di valutazione dello studio, questo item permette di capire se l'intervento studiato è generalizzabile alla popolazione. Da item 2 ad item 9 viene valutata la validità interna di uno studio, mentre item 10 e 11 valutano se i dati presenti nello studio sono sufficienti e tali da rendere lo studio interpretabile attraverso essi. Per ognuno di questi 11 criteri, si risponde con "SI" se il criterio viene chiaramente soddisfatto, "NO"

nel caso in cui non venga soddisfatto o non è specificato in maniera chiara. Le affermazioni positive si sommano e si ricava un punteggio finale. Gli RCT con punteggio ≥ 5 sono considerati “ad alta qualità metodologica”. Per questo motivo, gli studi scelti per questa revisione sistematica prevedono tutti un PEDro score ≥ 5 .

CAPITOLO 4: RISULTATI

4.1 Selezione degli studi

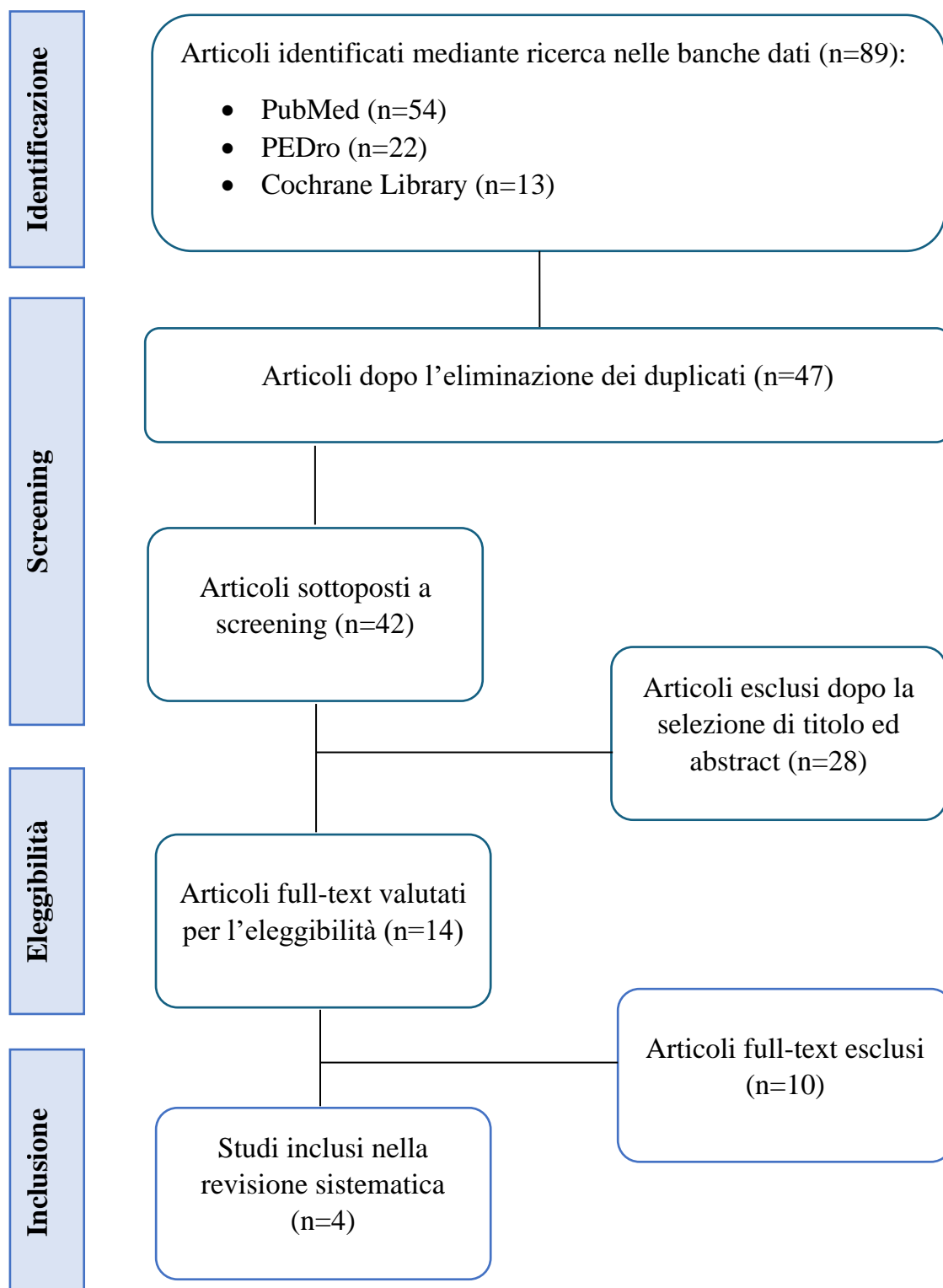


Figura 1. PRISMA Flow Diagram

La ricerca è stata condotta principalmente in tre banche dati biomediche, PubMed, PEDro e Cochrane Library, nell'arco temporale compreso tra febbraio 2024 e settembre 2024. Sono stati identificati 89 studi utilizzando apposite stringhe di ricerca contenenti le parole chiave dell'elaborato. Di questi, 47 sono stati eliminati in quanto duplicati, lasciando 42 studi da sottoporre alla fase di screening.

Attraverso la lettura di titoli e abstract, 28 studi sono stati esclusi durante la fase di screening. Successivamente, 14 studi, coerenti con il quesito di ricerca, sono stati valutati per l'eleggibilità, ovvero sono stati letti e analizzati per intero. Solo 4 di questi studi hanno soddisfatto i criteri PICOS e gli altri criteri di eleggibilità descritti nel capitolo 3 e sono stati quindi inclusi in questa revisione sistematica.

L'intero processo di ricerca e selezione degli studi è schematizzato nel PRISMA Flow Diagram (Figura 1), realizzato seguendo le indicazioni del Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA). Il diagramma illustra in dettaglio il numero di studi analizzati a ogni fase e le ragioni delle esclusioni.

I 4 studi inclusi in questa revisione sistematica sono:

1. Petersen J, Thorborg K, Nielsen MB, Budtz-Jørgensen E, Hölmich P. *Preventive effect of eccentric training on acute hamstring injuries in men's soccer: a cluster-randomized controlled trial*, 2011 ⁽⁵¹⁾.
2. Nick van der Horst, Dirk-Wouter Smits, Jesper Petersen, Edwin A. Goedhart, Frank J.G. Backx. *The Preventive Effect of the Nordic Hamstring Exercise on Hamstring Injuries in Amateur Soccer Players*, 2015 ⁽⁵³⁾.
3. Ahmed Ebrahim Elerian, Mohsen M. El-Sayyad, Hend Adel Abdelhalim Dorgham. *Effect of Pre-training and Post-training Nordic Exercise on Hamstring Injury Prevention, Recurrence, and Severity in Soccer Players*, 2019 ⁽⁵⁴⁾.
4. Nicholas J.Ripley, Matthew Cuthbert, Paul Comfort, John J.McMahon. *Effect of additional Nordic hamstring exercise or sprint training on the modifiable risk factors of hamstring strain injuries and performance*, 2023 ⁽⁵⁵⁾.

La qualità metodologica degli studi inclusi è stata valutata mediante l'utilizzo della PEDro scale e sono stati ottenuti i seguenti punteggi:

Tabella 2. Analisi della qualità metodologica degli studi secondo la PEDro scale

Items scala di PEDro	Articolo 1 Petersen et al. (2011)	Articolo 2 Van her Host et al. (2015)	Articolo 3 Elerian et al. (2019)	Articolo 4 Ripley et al. (2023)
Criteria di eleggibilità	SI	SI	SI	SI
Allocazione casuale	SI	SI	SI	SI
Assegnazione nascosta	SI	SI	SI	SI
Comparabilità iniziale	SI	SI	SI	SI
Cecità pazienti	NO	NO	NO	NO
Cecità terapisti	NO	NO	NO	NO
Cecità valutatori	NO	NO	NO	NO
Follow-up adeguato	SI	NO	SI	SI
Analisi per l'intenzione al trattamento	SI	SI	NO	NO
Comparazione statistica tra i gruppi	SI	SI	SI	SI
Misura dimensioni dell'effetto e variabilità	SI	SI	SI	SI
Totale	7/10	6/10	6/10	6/10

4.2 Caratteristiche degli studi

Tabella 3. Caratteristiche dello studio di Petersen et al.

Studio	Criteri di inclusione ed esclusione	Partecipanti	Intervento	Outcome	Risultati
<p>RCT PEDro scale: 7/10</p> <p>Petersen J, Thorborg K, Nielsen MB, Budtz- Jørgensen E, Hölmich P. Preventive effect of eccentric training on acute hamstring injuries in men's soccer: a cluster- randomized controlled trial, 2011, Danimarca.</p>	<p>Inclusione: squadre di calcio delle prime cinque divisioni calcistiche danesi</p> <p>Esclusione: squadre che avevano già adottato esercizi eccentrici sugli hamstring</p>	<p>N°squadre 54</p> <p>N°partecipanti 942</p> <p>Gruppo intervento 461</p> <p>Gruppo controllo 481</p>	<p>Durata: 10 settimane di intervento durante la pausa di metà stagione (gennaio 2008), con follow up da gennaio 2008 a gennaio 2009.</p> <p>Gruppo intervento: 27 sessioni di esercizi nordici abbinato al consueto programma di allenamento. L'esercizio è stato condotto da una a tre volte a settimana con due, tre serie, dalle cinque alle dodici ripetizioni a serie.</p> <p>Gruppo controllo: esecuzione del normale programma di allenamento</p>	<p>Riduzione degli infortuni agli hamstring nel calcio professionistico ed amatoriale completando un programma di allenamento che si concentri sulla forza eccentrica degli hamstring</p>	<p>Il programma di allenamento ha ridotto il tasso di nuovi infortuni di oltre il 60%, dell'85% il tasso di infortuni ricorrenti. Sono stati registrati un totale di 67 infortuni in 67 giocatori, 15 nel gruppo di intervento (12 nuovi e 3 ricorrenti) e 52 nel gruppo di controllo (32 nuovi e 20 ricorrenti) Non si sono verificati infortuni durante l'esecuzione del NHE.</p>

Nello studio di Petersen et al. vengono somministrate delle sedute di allenamento che includano la prevenzione di HSI mediante NHE, rispetto ad un allenamento senza esercizi eccentrici aggiuntivi per gli hamstring, con l'obiettivo di ridurre il tasso di HSI. 942 calciatori, provenienti da cinquanta squadre di calcio maschili danesi professionistiche ed amatoriali, sono stati inclusi e divisi in due gruppi attraverso una randomizzazione casuale utilizzando le squadre come unità di cluster. Per essere inclusi, i calciatori dovevano far parte di una squadra calcistica che militava nelle prime cinque divisioni danesi; inoltre, sono stati esclusi tutti quei calciatori che stavano già svolgendo sedute di allenamento con carichi eccentrici agli hamstring. 481 giocatori sono stati assegnati al gruppo di controllo per svolgere il loro consueto programma di allenamento, mentre ai 461 giocatori del gruppo d'intervento è stato inserito un programma di allenamento eccentrico progressivo di dieci settimane di NHE, seguito da un programma stagionale settimanale. Tutti i giocatori hanno riportato informazioni personali riguardo posizione di gioco, età e dettagli di eventuali infortuni agli hamstring nei 12 mesi prima della sperimentazione, in conformità con le raccomandazioni dell'Injury Consensus Group. Attraverso un modulo opportunamente progettato da fisioterapisti e staff medici, sono stati registrati tutti gli infortuni agli hamstring, al di fuori di quelli causati da una contusione e il rispettivo periodo di stop. A questo modulo è stato integrato un esame ecografico della coscia infortunata entro sette giorni dal trauma. Lo studio di dieci settimane si è svolto durante la pausa di metà stagione 2007-2008, tra gennaio e marzo 2008, mentre la registrazione degli infortuni è durata fino al gennaio del 2009, includendo dunque anche la prima metà della stagione 2008-2009. L'intervento prevedeva 27 sessioni di NHE progressive così suddivise:

Tabella 3.1: suddivisione dell'intervento

SETTIMANA	SESSIONI A SETTIMANA	SERIE E RIPETIZIONI
1	1	2×5
2	2	2×6
3	3	3×6-8
4	3	3×8-10
5-10	3	3×12-10-8
10+	1	3×12-10-8

Le squadre del gruppo intervento hanno eseguito mediamente il 91% delle 27 sessioni di allenamento previste, mentre il periodo medio di registrazione degli infortuni è stato di 318 giorni. Non si sono verificati infortuni ai flessori di coscia durante l'esecuzione dell'esercizio. Entro questo arco temporale sono stati registrati un totale di 67 (44 nuovi e 23 ricorrenti) infortuni acuti agli

hamstring in 67 giocatori, con 15 infortuni nel gruppo intervento (12 nuovi e 3 ricorrenti) e 52 nel gruppo controllo (32 nuovi e 23 ricorrenti). Dei 15 infortuni del gruppo intervento, 9 (60%) sono avvenuti durante il periodo di allenamento di 10 settimane, mentre il numero corrispondente nel gruppo controllo era 12 (23%). Confrontando i risultati ottenuti dai due gruppi, si evince che i tassi complessivi di lesioni agli hamstring erano significativamente più bassi nel gruppo studio rispetto al gruppo controllo, sia riguardo le lesioni nuove, sia quelle ricorrenti. Infatti, il programma di allenamento ha ridotto di oltre il 60% il tasso di nuovi infortuni e del 85% il tasso di infortuni ricorrenti. Tuttavia, con l'esecuzione di questo programma di allenamento, non è stato documentato alcun effetto benefico sulla gravità degli infortuni, dato che il periodo medio di infortunio nel gruppo controllo è stato di 8,2 giorni più breve rispetto al gruppo d'intervento. In questo studio è stato riportato il numero di infortuni indipendentemente dal tempo di esposizione, il che potrebbe essere un limite dello studio. In realtà "tempo di esposizione" non è sinonimo di "tempo a rischio" di subire un infortunio; a tal proposito andrebbe fatta una valutazione dettagliata dell'esposizione, ma quest'approccio non è stato possibile, in quanto l'intervento è stato eseguito su ampia scala (942 calciatori). Nonostante ciò, i risultati di questo studio dimostrano che attraverso l'allenamento eccentrico con NHE si riducono i tassi di HSI nuovi e ricorrenti, per cui l'efficacia di questo programma di allenamento è generalizzabile per i calciatori professionisti e dilettanti maschi.

Tabella 4. Caratteristiche dello studio di Van her Horst et al.

Studio	Criteri di inclusione ed esclusione	Partecipanti	Intervento	Outcome	Risultati
<p>RCT PEDro scale: 6/10</p> <p>Nick van der Horst, Dirk-Wouter Smits, Jesper Petersen, Edwin A. Goedhart, Frank J.G. Backx. The Preventive Effect of the Nordic Hamstring Exercise on Hamstring Injuries in Amateur Soccer Players, 2015. Olanda.</p>	<p>Inclusione: giocatori di calcio di Ereeste Klasse (seconda divisione olandese) di età compresa tra i 18 e I 40 anni</p> <p>Esclusione: giocatori che si sono uniti ad una squadra partecipante dopo l'inizio della sperimentazione</p>	<p>N°squadre 32</p> <p>N°partecipanti 572</p> <p>Gruppo intervento 16 squadre, 292 giocatori</p> <p>Gruppo controllo 16 squadre, 287 giocatori</p> <p>Età media 24,5 anni</p>	<p>25 sessioni di NHE durante le prime 13 settimane dopo la pausa invernale. La 1° settimana una sessione di NHE, 2 serie per cinque ripetizioni. Dalla 2° alla 13° settimana 2 sessioni, due/tre serie da 6 a 10 ripetizioni.</p> <p>Lo staff medico ha registrato gli infortuni agli hamstring per l'intero anno solare (2013), gli infortuni rilevati dalla 1° alla 13° settimana, da quelli del resto dell'anno (14°-52° settimana).</p> <p>I giocatori che si sono infortunati all'inizio dell'intervento hanno potuto iniziare il protocollo la settimana 1 dopo il completo recupero. Sono state fornite istruzioni specifiche per i giocatori che hanno subito un infortunio durante il periodo di intervento che ha limitato l'esecuzione di NHE. Ai giocatori che hanno subito</p>	<p>Principale: riduzione dell'incidenza degli infortuni agli hamstring.</p> <p>Secondario: riduzione della gravità dell'infortunio, come numero di giorni trascorsi dalla data dell'infortunio alla data del return to play;</p> <p>compliance al protocollo di intervento, calcolata come quantità di sessioni NHE / 25 × 100 = % compliance</p>	<p>I risultati mostrano che l'esecuzione del protocollo NHE nell'allenamento regolare di calcio dilettantistico comporta un rischio ridotto di lesioni ai muscoli posteriori della coscia nei calciatori dilettanti maschi. Il protocollo NHE non ha ridotto la gravità delle lesioni ai muscoli posteriori della coscia.</p> <p>Sono stati registrati undici infortuni ai muscoli posteriori della coscia (31%) nel gruppo di intervento e 25 (69%) nel gruppo di controllo. Cinque degli 11 infortuni ai muscoli posteriori della coscia (45%) nel gruppo di intervento e 7 dei 25 infortuni ai muscoli posteriori della coscia (28%) nel gruppo di controllo si sono verificati entro il periodo di intervento di 13 settimane.</p> <p>Durante il periodo di allenamento non vi era alcuna differenza statisticamente significativa riguardo l'incidenza degli infortuni tra gruppo intervento e gruppo controllo. Dopo l'intervento, sono stati registrati 18 infortuni ai muscoli posteriori della coscia (72%) nel gruppo di controllo e 6 (55%) nel gruppo di intervento, mostrando una differenza statisticamente significativa dopo l'esecuzione di NHE.</p> <p>Infine, La differenza nella gravità dell'infortunio tra I gruppi di intervento e di controllo non era statisticamente significativa</p>

			<p>un infortunio entro le prime 5 settimane del periodo di intervento è stato chiesto di riavviare il programma dopo il completo recupero. Il programma doveva essere riavviato da 1 settimana indietro nel programma da dove il giocatore si trovava quando ha subito l'infortunio.</p> <p>Ai giocatori che hanno subito un infortunio tra la settimana 6 e la settimana 13 del periodo di intervento è stato chiesto di riavviare il programma dalla settimana 4.</p>		
--	--	--	---	--	--

Allo stesso modo, anche lo studio di Van der Horst et al. ha come scopo quello di indagare l'effetto preventivo dell'NHE sull'incidenza e sulla gravità degli infortuni agli hamstring nei calciatori di sesso maschile. In questo progetto sono state selezionate 40 squadre di calcio che militavano in Eerste Klasse, la seconda serie olandese; 8 squadre hanno ritirato la selezione o sono state perse al follow up, per cui la sperimentazione è stata svolta con 32 squadre. Queste giocano generalmente una/due partite a settimana, con due o tre sessioni di allenamento settimanali. Sono stati inclusi tutti i calciatori di età compresa tra i 18 e i 40 anni, ad eccezione di coloro che si erano uniti alle squadre partecipanti dopo l'inizio della sperimentazione. Le squadre di calcio sono state utilizzate come unità di cluster per evitare bias e la randomizzazione è avvenuta in maniera causale assegnando 16 squadre (292 calciatori) al gruppo intervento e le restanti 16 (287 calciatori) al gruppo controllo. L'intervento consisteva in 25 sessioni di NHE supervisionato dall'allenatore della squadra o dallo staff medico, è stato effettuato durante le prime 13 settimane dopo la pausa invernale ed è stato così suddiviso:

Tabella 4.1: suddivisione dell'intervento

SETTIMANA	FREQUENZA SETTIMANALE	SERIE ALLENAMENTO	PER RIPETIZIONI PER SERIE
1	1	2	5
2	2	2	6
3	2	3	6
4	2	3	6,7,8
5	2	3	8,9,10
6-13	2	3	10,9,8

A differenza del programma di allenamento di Petersen et al., questo è stato progettato affinché tutti i calciatori potessero terminarlo, compresi coloro che subivano infortuni durante le 13 settimane. Infatti, i giocatori che si fossero infortunati all'inizio dell'intervento avrebbero potuto iniziare il protocollo dalla settimana 1, dopo il completo recupero. Se i giocatori avessero subito un infortunio entro le prime 5 settimane dall'intervento avrebbero avuto la possibilità di riavviare il programma dopo il completo recupero, partendo dalla settimana precedente rispetto a quella in cui si trovavano prima del trauma. Infine, avrebbero dovuto riavviare il programma dalla settimana 4 quei giocatori che si fossero infortunati tra la settimana 6 e la settimana 13. Lo staff medico delle squadre partecipanti era responsabile della registrazione degli infortuni ai flessori di coscia per un intero anno solare (2013), quindi sono state divise le lesioni registrate durante l'intervento (1-13 settimane) da quelle dopo l'intervento (14-52 settimane). Riguardo l'esposizione in partita o in allenamento non si sono presentate differenze significative tra i due gruppi. Durante il periodo di registrazione, sono stati segnalati 36 infortuni in 579 giocatori di cui la maggior parte in partita rispetto che in allenamento (23). La posizione in campo non ha influito sull'incidenza degli infortuni, tranne per i portieri che non ne hanno subiti, mentre l'accelerazione è stata segnalata come causa più frequente di infortunio (53%) rispetto alla decelerazione o al calcio del pallone. Di questi 36 infortuni, 11 si sono verificati nel gruppo studio (35%), 25 nel gruppo controllo (69%) e non è stata mostrata nessuna differenza statisticamente significativa tra i due gruppi riguardo gli infortuni subiti nelle 13 settimane di sperimentazione (5 nel gruppo studio e 7 nel gruppo intervento). Questo dato risulta conforme al pensiero degli autori, i quali non si aspettavano nessun effetto dell'intervento fino al completamento del protocollo NHE; infatti, nel periodo 14-52 settimane, sono stati registrati 18 infortuni agli hamstring nel gruppo controllo (72%) e 6 nel gruppo intervento (55%), mostrando una differenza significativa tra i due gruppi. Come nello studio di Petersen et al., non è stata registrata nessuna differenza statisticamente significativa riguardo la

gravità degli infortuni; infatti, i giocatori sono stati assenti in media 31 ± 15 giorni nel gruppo intervento e 28 ± 19 giorni nel gruppo controllo. L'aderenza all'intervento è stata del 91%. Sebbene il presente studio intendesse monitorare l'esposizione di ogni giocatore incluso, ciò non è stato possibile per la perdita di dati in merito all'esposizione a causa delle sostituzioni di allenatori e giocatori; di conseguenza sono stati calcolati dei giocatori la cui esposizione era stata registrata per l'intero anno solare. Inoltre, è da considerare il fatto che non è stato possibile monitorare gli infortuni agli hamstring con un supporto medico indipendente includendo un ulteriore esame strumentale; infatti, il monitoraggio è avvenuto con un modulo di registrazione per la lesione, progettato per identificare l'infortunio e l'eventuale diagnosi differenziale; dunque, la sottostima di lesioni lievi potrebbe aver portato tassi di incidenza complessivi inferiori rispetto a quelli avuti. Ciononostante, in accordo con Petersen et al., questo studio ha dimostrato che l'esecuzione del protocollo NHE nell'allenamento regolare di calcio riduce il rischio di lesioni ai muscoli posteriori della coscia, ma non ne riduce la gravità.

Tabella 5. Caratteristiche dello studio di Elerian et al.

Studio	Criteri di inclusiono ed esclusione	Partecipanti	Intervento	Outcome	Risultati
<p>RCT PEDro scale 6/10</p> <p>Ahmed Ebrahim Elerian, Mohsen M. El-Sayyad, Hend Adel Abdelhalim Dorgham . Effect of Pre-training and Post-training Nordic Exercise on Hamstring Injury Prevention, Recurrence, and Severity in Soccer Players, 2019, Egitto.</p>	<p>Inclusione: giocatori maschi con normali condizioni di salute, età compresa tra I 21 e I 35 anni; intervallo di peso tra 60-86kg, intervallo di Altezza compreso tra 1.65-1.95m, intervallo di indice di massa corporea tra 22-22,9 kg/m²; giocatore attivo;</p> <p>esclusione: giocatori che avevano subito almeno un infortunio ai muscoli flessori della coscia almeno da zero a sei mesi prima dell'inizio del protocollo; giocatori</p>	<p>N° partecipanti: 34 giocatori di calcio professionisti di età compresa tra I 21 e I 35 anni provenienti da club is ono di Alessandria d'Egitto</p> <p>Gruppo intervento: 17 giocatori hanno eseguito NHE durante e dopo l'allenamento</p> <p>17 giocatori hanno eseguito NHE solo prima dell'allenamento.</p> <p>Gruppo controllo: la stessa squadra della stagione precedente</p>	<p>La durata del protocollo è stata di 12 settimane. L'NHE è stato eseguito due volte a settimana, eccetto la prima settimana, in cui è stato eseguito una volta con 2 serie da 5 ripetizioni. Dalla seconda alla dodicesima settimana sono state effettuate dalle 3-4 serie per 5-12 ripetizioni. I tradizionali esercizi di riscaldamento brasiliani sono stati mantenuti ed effettuati per 20 minuti prima della seduta di rinforzo muscolare. È stato scelto come metodo di raffreddamento l'immersione in acqua fredda per 10 minuti. Invece, la corsa aerobica a bassa intensità è stata usata come modalità di recupero attivo dall'esercizio.</p>	<p>Principale: La riduzione dell'incidenza degli infortuni ai muscoli posteriori della coscia come infortuni iniziali o ricorrenti.</p> <p>Secondario: la gravità degli infortuni e la compliance al protocollo</p>	<p>I due gruppi risultavano omogenei sia per caratteristiche fisiche che per ore giocate.</p> <p>Il dato sugli infortuni iniziali tra i due gruppi di interventi e il gruppo di controllo (squadra stagione precedente) è altamente significativo: nei gruppi d'intervento si sono verificati 4 infortuni iniziali su 34 giocatori (11,7%), mentre la stagione precedente ha visto 13 infortuni iniziali su 35 (35,1%).</p> <p>Di fondamentale rilevanza è anche il dato sugli infortuni ricorrenti: 1 su 34 nei gruppi d'intervento (2,9%), contro I 7 su 35 della stagione precedente (18,9%). Dunque, gli infortuni totali nei gruppi d'intervento sono stati 5 su 34 (14,7%), mentre 20 su 35 (62.5%) nel gruppo controllo.</p> <p>Riguardo la gravità degli infortuni, il gruppo controllo si presentava con un intervallo di 5-10 giorni di assenza, con una media di 7,95 giorni. I gruppi intervento hanno presentato un intervallo di 1-3 giorni con 1,9 giorni di media, dunque questo valore è stato considerato significativo.</p> <p>Infine, riguardo alla conformità al protocollo, solo due giocatori sono stati esclusi dal gruppo intervento a causa di un infortunio che li ha portati ad un'assenza di oltre una settimana; tutti gli altri hanno completato l'intero programma.</p>

	che sono entrati a far parte della squadra dopo l'inizio del protocollo.				Ricapitolando, i due gruppi studiati hanno portato a una percentuale di prevenzione totale degli infortuni del 70% rispetto alla stagione precedente. Con solo il gruppo di intervento uno, ha mostrato un tasso di prevenzione degli infortuni del 92,3%. Inoltre, c'è stata una diminuzione dell'85% nei tassi di recidiva con il gruppo di intervento due rispetto alla stagione precedente e un tasso di prevenzione del 100% con il gruppo di intervento uno.
--	--	--	--	--	--

Nonostante gli studi di Petersen et al. e Van der Horst et al. dimostrino l'efficacia dei programmi di allenamento basati su NHE per prevenire HSI, rimane ancora poco chiaro quando inserire nella seduta di allenamento il NHE. A tal proposito, la pubblicazione di Elerian et al. mira a studiare l'effetto del NHE prima e dopo l'allenamento sulla prevenzione, la recidiva e la gravità degli infortuni agli hamstring nei calciatori. Questo progetto è stato rivolto ai club sportivi provenienti da Alessandria d'Egitto e lo Sporting club è stato scelto in maniera casuale tramite randomizzazione semplice. Sono stati inclusi i giocatori maschi in normali condizioni di salute, mentre sono stati esclusi sia i calciatori con storia di infortunio agli hamstring nei sei mesi precedenti dall'inizio del protocollo, sia quei giocatori aggregati in squadra dopo l'inizio del protocollo. In totale, i calciatori scelti sono stati 34 e sono stati suddivisi in maniera casuale in due gruppi omogenei di intervento: 17 giocatori hanno eseguito NHE sia prima che dopo l'allenamento (gruppo di intervento 1), mentre i restanti 17 hanno eseguito NHE solo prima dell'allenamento (gruppo di intervento 2). Al termine del protocollo, i risultati ottenuti sono stati confrontati con i dati del club della stagione precedente (gruppo di controllo). Per garantire un sufficiente adattamento muscolare al fine di prevenire HSI, la durata dell'intervento è stata di 12 settimane ed è stato eseguito da entrambi i gruppi due volte a settimana, eccetto la prima settimana in cui è stato eseguito una volta. Per bilanciare il volume settimanale dell'intervento tra i due gruppi, il gruppo di intervento 1 eseguiva due volte la metà delle serie e delle ripetizioni del gruppo 2. L'intervento era così organizzato:

Tabella 5.1: esercizio nordico prima e dopo l'allenamento

SETTIMANA	FREQUENZA DELLA SESSIONE	SERIE	RIPETIZIONI	VOLUME SETTIMANALE
1-2	1-2	1	2	5-10
3-6	2	1-2	3	12-28
7-9	2	2	4	32-36
10-11	2	2	5	36-40
12	2	2	6	48

Tabella 5.2: esercizio nordico prima dell'allenamento

SETTIMANA	FREQUENZA DELLA SESSIONE	SERIE	RIPETIZIONI	VOLUME SETTIMANALE
1	1	2	5	10
2	2	3	5	30
3	2	3	6	36
4-12	2	4	6-7-7-8-8-9-9-10-12	48-96

Per tutta la durata dell'intervento, sono stati mantenuti in entrambi i gruppi intervento gli stessi esercizi di riscaldamento praticati l'anno precedente dal gruppo di controllo. Per 20 minuti si eseguiva un riscaldamento muscolare composto da salti con ginocchia alte, oscillazioni delle braccia, corsa a ginocchia alte, passi laterali, rotazioni della parte superiore del corpo, ritmo di corsa e pliometrie. Terminata la seduta d'allenamento, si eseguiva il defaticamento tramite la corsa aerobica a bassa intensità, per recuperare in maniera attiva e dieci minuti tramite immersione in acqua fredda. Tutti i giocatori hanno completato il protocollo, eccetto due calciatori a causa di infortuni che hanno causato la loro assenza per più di una settimana. I gruppi di intervento hanno avuto simile durata di esposizione, 116 ore per il gruppo con NHE pre e post-allenamento, 117 ore per il gruppo NHE pre-allenamento. Nei due gruppi intervento si sono verificati soltanto 4 infortuni iniziali agli hamstring su 34 giocatori (11,7%), 1 nel gruppo d'intervento uno (5,9%), 3 nel gruppo d'intervento due (17,6%), mentre la stagione precedente era stata caratterizzata da 13 infortuni iniziali su 35 (35,1%). Su 34 giocatori, una sola recidiva da infortunio è stata riscontrata nel gruppo intervento (2,9%), contro i 7 su 35 della stagione precedente (18,9%). Dunque, gli infortuni totali

nei gruppi di intervento sono stati 5 su 34 (14,7%), rispetto ai 20 su 35 (62,5%) nel gruppo controllo. La gravità degli infortuni è stata definita come il numero di giorni persi dalla data dell'infortunio fino al completo ritorno all'allenamento e alla disponibilità per la selezione per la partita e includeva livelli lievi (0 giorni), minimi (1-3 giorni), lievi (4-7 giorni), moderati (8-28 giorni), gravi (>28 giorni). A tal proposito, gli infortunati del gruppo controllo sono stati assenti dai 5 ai 10 giorni, con una media di 7,95 giorni; invece, nei gruppi d'intervento le assenze sono state di un giorno nel gruppo 1, 2-3 giorni nel gruppo 2. Ricapitolando, dai gruppi d'intervento si è riscontrata una prevenzione totale degli infortuni del 70% rispetto alla stagione precedente. Il gruppo NHE pre e post allenamento ha mostrato un tasso di prevenzione di nuovi infortuni del 92,3%, mentre il dato corrispondente del gruppo NHE pre allenamento è stato 77%. In merito alle recidive, c'è stata una diminuzione dell'85% nel gruppo 2 e del 100% nel gruppo 1. In conclusione, l'uso di NHE come protocollo di prevenzione per i calciatori professionisti ha avuto successo nel ridurre il numero di infortuni iniziali e ricorrenti ai muscoli posteriori della coscia, nonché la loro gravità. Inoltre, l'uso di NHE sia durante il pre-allenamento che durante il post-allenamento ha avuto il maggiore effetto nel prevenire gli infortuni ai muscoli posteriori della coscia.

Tabella 6. Caratteristiche dello studio di Ripley et al.

Studio	Criteri di inclusione ed esclusione	Partecipanti	Intervento	Outcome	Risultati
<p>RCT PEDro scale 6/10</p> <p>Nicholas J. Ripley, Matthew Cuthbert, Paul Comfort, John J. McMahon. Effect of additional Nordic hamstring exercise or sprint training on the modifiable risk factors of hamstring strain injuries and performance, 2023,</p>	<p>Inclusione: Atleti che partecipano regolarmente a sport di squadra. Atleti con esperienza di allenamenti di resistenza, compresi NHE e sprint</p> <p>Esclusione: atleti che hanno subito un infortunio muscolo-scheletrico e/o con storie di HSI entro 6 mesi dallo studio.</p>	<p>N°partecipanti: 38 atleti collegiali</p> <p>N°partecipanti tornati in una seconda occasione per determinare l'affidabilità tra le sessioni (post-intervento): 24.</p> <p>Gruppo controllo con allenamento di sola resistenza: 10, 2 femmine e 8 maschi di età media $23,50 \pm 2,95$ anni, altezza $= 1,75 \pm 0,09$ m, massa $77,66 \pm 11,82$ kg.</p> <p>Gruppo intervento con allenamento di resistenza ed NHE aggiuntivo: 15, 7 femmine e 8 maschi di età</p>	<p>I partecipanti al gruppo di controllo e a entrambi i gruppi di intervento hanno completato un identico programma di allenamento di resistenza degli arti inferiori, eseguito due volte a settimana per sette settimane. Ogni sessione di allenamento di resistenza consisteva in tre esercizi per gli arti inferiori, in cui il volume di allenamento è rimasto costante per tutto l'intervento di allenamento, mentre l'intensità è stata manipolata. I gruppi di intervento hanno eseguito NHE o sprint aggiuntivo all'inizio o alla fine di ogni sessione di allenamento. In NHE aggiuntivo, l'intensità dell'allenamento aumentava quando gli atleti avevano raggiunto una forza tale da controllare l'esercizio a 10-20° di estensione di ginocchio; da quel momento, gli atleti avrebbero dovuto</p>	<p>Riduzione dei principali fattori di rischio modificabili di HSI, nello specifico l'aumento di forza eccentrica degli hamstring e del bicipite femorale, attraverso un approccio multimodale e all'allenamento.</p>	<p>I risultati del presente studio dimostrano che un approccio multimodale all'allenamento dei muscoli posteriori della coscia è altamente efficace nel ridurre i principali fattori di rischio modificabili dell'HSI. I risultati più rilevanti sono stati ottenuti nella misura della forza eccentrica degli hamstring, misurata con il dispositivo Nordbord, e nella forza massima degli arti inferiori misurata attraverso la trazione isometrica a metà coscia (IMPT). Da pre a post allenamento, il gruppo con NHE aggiuntivo ha visto un miglioramento della forza eccentrica del 35%, il gruppo con sprint aggiuntivo ha avuto un miglioramento del 30%, mentre del 12% è stato il miglioramento del gruppo controllo.</p> <p>In merito alla forza massima degli arti inferiori, da pre a post allenamento, entrambi i gruppi di intervento hanno avuto aumenti significativi sia nella forza di picco assoluta che relativa, rispettivamente 22% per il gruppo NHE sia nella forza massima assoluta che relativa, 35% per il gruppo sprint sia nella forza massima assoluta che relativa. Non significativo è stato l'aumento di forza massima assoluta nel gruppo d'intervento (7%), piccolo ma significativo invece</p>

Inghilera.	<p>media 21,40 ± 2,64 anni, altezza = 1,74 ± 0,04 m, massa 76,95 ± 14,20 kg.</p> <p>Gruppo intervento con allenamento di resistenza e sprint aggiuntivo: 13, 4 femmine e 9 maschi di età media 22,15 ± 2,54 anni, altezza = 1,74 ± 0,05 m, massa 70,55 ± 7,84 kg</p>	<p>eseguire NHE con un disco da 2,5kg. In sprint aggiuntivo invece, le prime quattro settimane sono state caratterizzate da un aumento incrementale nel volume dello sprint; per le successive tre settimane è stato ridotto al minimo il carico di allenamento per ridurre qualsiasi rischio di HSI. Immediatamente dopo l'allenamento, utilizzando una scala numerica da 1 a 10, è stata ottenuta una valutazione dello sforzo percepito (RPE) da tutti i partecipanti. Circa 24 ore dopo l'allenamento, utilizzando una scala numerica del dolore da 1 a 10, è stato ottenuto un punteggio per DOMS per tutti i partecipanti.</p>	<p>l'aumento della forza netta relativa (9%). L'intervento non è stato significativo per le misure di: salto contromovimento, corsa veloce, misure di RPE e DOMS.</p>
------------	--	--	---

Se gli studi fin ora descritti mostrano i risultati positivi ottenuti sui calciatori attraverso programmi di allenamento basati su NHE per prevenire le lesioni agli hamstring, lo studio di Ripley et al. mira ad osservare l'effetto di un programma di allenamento di resistenza con aggiunta di NHE o sprint sui fattori di rischio modificabili di HSI. Sono stati selezionati partecipanti che praticano regolarmente sport di squadra (calcio, basket, rugby, football americano, netball, hockey su ghiaccio) e che non hanno subito infortuni muscolo-scheletrici e/o con storie di HSI entro sei mesi dall'intervento; in totale, 38 atleti universitari sono stati inclusi nel progetto e, di questi, 24 sono tornati in una seconda occasione per determinare l'affidabilità tra le sessioni. Gli atleti sono stati divisi in tre gruppi: per sette settimane, il gruppo controllo (10 atleti) ha eseguito un allenamento di

resistenza, mentre ai due gruppi intervento è stato aggiunto NHE (15 atleti) o sprint (13 atleti). L'allenamento di resistenza veniva eseguito due volte a settimana e ogni sessione prevedeva tre esercizi per gli arti inferiori; il volume dell'allenamento non variava, mentre l'intensità veniva manipolata. Il gruppo NHE ha mantenuto il volume dell'intervento costante per sette settimane; quando i partecipanti riuscivano a controllare l'esercizio a 10-20° di estensione di ginocchio, veniva richiesto di continuare l'esercizio con un disco da 2,5kg. Il gruppo sprint invece ha sperimentato aumenti incrementali di volume di sprint per le prime quattro settimane e successivamente ha mantenuto il volume di sprint costante per le rimanenti tre settimane. Dato l'outcome principale, ovvero la riduzione dei principali fattori di rischio modificabili di HSI e l'aumento di forza del bicipite femorale attraverso un allenamento multimodale, il presente studio ha mostrato notevoli miglioramenti riguardo la riduzione dei fattori di rischio modificabili, in particolare nelle misure di: forza eccentrica degli hamstring misurata con dispositivo Nordbord, forza massima degli arti inferiori misurata con trazioni isometriche a metà coscia (IMPT), lunghezza assoluta e relativa del bicipite femorale misurata con imaging ecografico. Da pre a post allenamento, il gruppo con NHE aggiuntivo ha visto un miglioramento della forza eccentrica del 35%, il gruppo con sprint aggiuntivo ha avuto un miglioramento del 30%, mentre del 12% è stato il miglioramento del gruppo controllo. In merito alla forza massima degli arti inferiori, da pre a post allenamento, entrambi i gruppi di intervento hanno avuto aumenti significativi sia nella forza di picco assoluta che relativa, nello specifico il 22% per il gruppo NHE e il 35% per il gruppo sprint. Non significativo è stato l'aumento di forza massima assoluta nel gruppo d'intervento (7%), piccolo ma significativo invece l'aumento della forza netta relativa (9%). Riguardo la lunghezza del fascio femorale è stata osservata un'interazione significativa tempo × allenamento sia a livello assoluto che relativo. Il gruppo NHE ha mostrato un aumento di lunghezza assoluta e relativa del 12%, il gruppo sprint del 9,5% e 9% il gruppo controllo. L'intervento ha residuo dei miglioramenti piccoli, ma non significativi per le misure di: salto contro-movimento, corsa veloce, misure di RPE e DOMS. Il presente studio non si concentra solo ed esclusivamente su calciatori e, sebbene tutti i partecipanti abbiano riferito di aver partecipato a uno sport regolarmente, il livello competitivo e le richieste prestazionali potrebbero aver influenzato le risposte individuali osservate durante l'intervento. Tuttavia, l'intervento risulta essere ecologicamente valido in quanto estendibile agli atleti che praticano sport di squadra, dunque ciò evidenzia pure un punto di forza. Un altro punto di forza è stata la compliance all'intervento del 100%. In conclusione, lo studio evidenzia che l'utilizzo di NHE in aggiunta al programma di allenamento di resistenza determina significativi aumenti della lunghezza del bicipite femorale e della forza eccentrica degli hamstring rispetto ai gruppi di sprint e

di controllo. Inoltre, un approccio multimodale all'allenamento dei muscoli posteriori della coscia degli atleti è altamente efficace nel ridurre i principali fattori di rischio modificabili di HSI.

CAPITOLO 5: DISCUSSIONE E LIMITI DELLA REVISIONE

Lo scopo di questa revisione sistematica è valutare l'efficacia del Nordic Hamstring Exercise (NHE) nella prevenzione delle lesioni muscolari agli hamstring nei calciatori. In linea con criteri di eleggibilità adottati, sono stati selezionati quattro studi clinici randomizzati controllati (RCTs) che hanno indagato, in campo, l'impatto del NHE e hanno permesso di analizzare in modo approfondito il ruolo del NHE come strumento di prevenzione e di quantificarne l'efficacia. In particolare, gli studi di Petersen et al. e Van her Horst e colleghi hanno permesso di analizzare gli effetti di questo esercizio su ampia scala, coinvolgendo un totale di 1514 calciatori di squadre amatoriali e professionistiche attraverso due protocolli di allenamento con NHE progressivo molto simili tra loro sia per carico di lavoro che per durata dell'intervento, rispettivamente 10 e 13 settimane. Petersen e colleghi hanno monitorato 942 calciatori, divisi in un gruppo sperimentale (481 calciatori) e uno di controllo (461 calciatori) per 318 giorni; i risultati hanno dimostrato una diminuzione superiore al 60% dei nuovi infortuni e un calo dell'85% degli infortuni ricorrenti, con le squadre del gruppo intervento che hanno eseguito mediamente il 91% delle 27 sessioni di allenamento previste. La stessa compliance è stata ottenuta dall'intervento di Van her Horst et al.; gli autori hanno selezionato un totale di 572 calciatori, seguiti al follow up per un intero anno solare. A differenza di Petersen et al. che hanno considerato l'intero periodo di follow-up, Van her Horst e colleghi hanno effettuato un'analisi più dettagliata, evidenziando differenze significative nella prevenzione delle HSI tra i due gruppi solo nella fase post-intervento. Nell'anno solare, sono stati registrati 36 infortuni, 11 nel gruppo intervento e 25 nel gruppo di controllo: se durante la fase di intervento non sono state osservate differenze significative tra i due gruppi (5 infortuni nel gruppo sperimentale e 7 nel gruppo di controllo), nella fase post-intervento è stata evidenziata una riduzione del 67% degli infortuni nel gruppo sperimentale (6 infortuni) rispetto al gruppo di controllo in cui si sono verificati 18 infortuni e una riduzione del 55%. Dato che il NHE è un esercizio eccentrico e, in quanto tale porta a DOMS ^(38,45), si è spesso parlato di scarsa compliance tra i club di calcio europei amatoriali e d'élite ⁽⁴⁶⁾; nonostante ciò, in questi studi la compliance è stata del 91% per entrambi i gruppi d'intervento. Ciò potrebbe essere dato dal fatto che un allenamento con NHE progressivo permette al muscolo sia di adattarsi al carico di lavoro in modo graduale, sia di sviluppare un miglioramento prestazionale a lungo termine. Per quanto concerne i gruppi di controllo, i due studi

sottolineano che hanno eseguito i loro normali programmi di allenamento stagionali previsti nelle varie squadre. Non essendo però specificata la tipologia di allenamento, non è stato possibile compiere una standardizzazione dell'intervento nei gruppi di controllo e, di conseguenza, valutare le differenze tra i vari studi, per determinare quanto un intervento potesse essere migliore dell'altro. Ciò nonostante, come sottolineato sia da Petersen et al. che da Van her Horst e colleghi, non è stato possibile monitorare gli allenamenti di ogni squadra a causa dell'elevato numero di giocatori selezionati; d'altronde, un campione così numeroso permette la generalizzabilità dei risultati verso tutte le squadre di calcio che vogliono adottare questi protocolli preventivi.

Per prevenire gli infortuni agli hamstring è fondamentale capire quali siano i principali fattori di rischio di lesione, individuare gli esercizi in relazione alla problematica e conoscere il modo in cui questi agiscono sul muscolo. Se i primi due studi si concentrano esclusivamente sui tassi di prevenzione di infortuni, l'intervento di Ripley et al. è più specifico e mette a confronto tre gruppi, in modo da analizzare quale sia la strategia migliore di allenamento per ridurre i principali fattori di rischio di HSI. La sperimentazione è stata condotta su 38 atleti collegiali selezionati in maniera casuale, che praticavano diversi sport, principalmente calcio, basket, rugby. Questi sono stati randomizzati in tre gruppi: per sette settimane, il gruppo di controllo (10 atleti) ha eseguito un allenamento di resistenza per gli arti inferiori, mentre ai due gruppi intervento, oltre allo stesso allenamento praticato dal gruppo di controllo, è stato aggiunto NHE (15 atleti) o sprint (13 atleti). Ripley e colleghi hanno notato che il gruppo con NHE aggiuntivo, rispetto agli altri due, ha mostrato maggiori miglioramenti riguardo la riduzione dei principali fattori di rischio modificabili di HSI, in particolare nelle misure di lunghezza del bicipite femorale, forza eccentrica e massima degli hamstring. Queste ultime due sono strettamente correlate all'H:Q ratio e alla fatica: nel primo caso un aumento di forza degli hamstring, in particolare quella eccentrica, andrebbe a compensare la capacità del quadricipite, che di solito non è ben compensato dai muscoli antagonisti; in secondo luogo, dato che la fatica è una diretta conseguenza di un carico di lavoro troppo elevato per il muscolo, l'aumento della forza permette di mantenere più a lungo un esercizio ad una determinata intensità e potenza ^(26,32). Nonostante da questa sperimentazione vengano tratti dei dati significativi in favore del NHE, è da sottolineare che i tre gruppi di questo studio non avevano lo stesso numero esatto di partecipanti e non è stato indicato quali partecipanti sono stati inclusi nei tre gruppi in relazione allo sport praticato. Inoltre, il livello competitivo e le richieste prestazionali potrebbero aver influenzato le risposte individuali osservate durante l'intervento. Un altro aspetto da considerare è il numero del campione: se ciò da un lato rende i risultati di questo studio difficilmente estendibili ai soli calciatori, dall'altro i risultati ottenuti su un piccolo campione evidenziano l'efficacia dell'intervento in questione. Oltretutto, data la compliance del 100% ed

essendo questo un intervento eterogeneo, potrebbe essere valido in quanto estendibile a tutti gli atleti che praticano sport di squadra. Nessuno dei tre studi però specifica quale sia il momento migliore durante l'allenamento per eseguire il rinforzo eccentrico ed in particolare NHE. È molto importante capire quando inserire NHE durante la seduta per trarne tutti i benefici possibili in termini di riduzione dei fattori di rischio di HSI e, di conseguenza, di prevenzione degli infortuni. Sebbene dallo studio di Lovell et al. fosse emerso che l'attivazione neurale e la forza eccentrica degli hamstring aumentava indipendentemente dal timing di esecuzione ⁽⁵²⁾, uno studio più recente di Elerian e colleghi analizza due gruppi omogenei di intervento in cui il primo avrebbe eseguito NHE sia prima che dopo l'allenamento, il secondo solo prima dell'allenamento raddoppiando il carico di lavoro rispetto al gruppo di intervento uno. Per questo studio è stata scelta attraverso randomizzazione semplice una squadra della prima serie egiziana, lo Sporting Club di Alessandria d'Egitto. Tutti i 34 giocatori sono stati selezionati e divisi in modo equo ma casuale in questi due gruppi, hanno eseguito un protocollo di 12 settimane e i risultati ottenuti al termine della sperimentazione sono stati confrontati con i dati del club della stagione precedente. Questo è l'unico studio incluso nella revisione che ha evidenziato una riduzione statisticamente significativa della gravità degli infortuni, rendendolo un dato particolarmente rilevante (gravità di un infortunio intesa come numero di giorni persi dalla data dell'infortunio fino al completo ritorno all'allenamento e alla partita). Nonostante la significatività di tale dato, andrebbe pure considerato che l'intervento è stato condotto su un piccolo campione, decisamente minore rispetto alle sperimentazioni di Petersen et al. e Van her Horst et al.; inoltre, la mancanza di un follow up dopo l'intervento potrebbe essere fonte di bias in quanto viene isolato un singolo momento della stagione senza tenere conto dei risultati a lungo termine di tale sperimentazione. Tuttavia, analizzando le dodici settimane di intervento, i risultati valorizzano l'efficacia dell'intervento; infatti, rispetto alla stagione precedente, si è riscontrata una prevenzione totale degli infortuni del 70% con il gruppo uno che ha mostrato un tasso di prevenzione dai nuovi infortuni del 92,3%, mentre del 77% è stato il valore corrispettivo del gruppo due. Dato che il NHE è un esercizio eccentrico di resistenza che potrebbe scontrarsi con uno dei principali fattori di rischio di HSI, ovvero la fatica, eseguire una parte di lavoro a inizio allenamento e la restante parte a fine allenamento potrebbe essere una strategia vantaggiosa per trarre il massimo dell'efficacia del NHE.

Tuttavia, la presente revisione sistematica include una serie di limiti operativi. Trattandosi di una tesi di laurea, tutto il lavoro è stato svolto da una sola persona, dunque viene a mancare l'affidabilità inter-operatore in quanto non sono presenti ulteriori revisori che eseguono il processo di ricerca nelle banche dati, di selezione e valutazione critica degli studi scelti. La selezione degli articoli è stata effettuata principalmente tramite ricerche basate su stringhe di parole chiave e una successiva

analisi di titoli, abstract e testo completo. Tale metodologia, sebbene efficiente, presenta il limite di potenziali bias linguistici. La mia conoscenza della lingua inglese, pur adeguata, potrebbe non aver consentito di individuare tutti gli articoli pertinenti, soprattutto quelli con un linguaggio altamente specifico o con sfumature linguistiche complesse. Per questo elaborato sono stati scelti studi selezionati principalmente da tre banche dati (PubMed, PEDro, Cochrane Library) e con accesso al contenuto gratuito o garantito dal servizio AlmaRE dell'Università; tale scelta ha portato all'esclusione di eventuali studi inerenti al tema presenti nelle banche dati non utilizzate, o di studi il cui contenuto era visibile soltanto al pagamento. Inoltre, l'insufficienza di trial clinici su ampia scala ha limitato la possibilità di condurre un'analisi approfondita sulla qualità delle sperimentazioni incluse in questa revisione. Di conseguenza, l'assenza di studi di follow-up a lungo termine (superiori a 12 mesi) impedisce di valutare in modo completo l'efficacia del NHE nel lungo periodo.

CAPITOLO 6: CONCLUSIONI

Un'attenta analisi critica dei risultati dei trial clinici inclusi in questo progetto, ha permesso di evidenziare l'efficacia del NHE nella prevenzione degli infortuni agli hamstring nei calciatori. Il NHE è un esercizio eccentrico per gli ischiocrurali, semplice da praticare perché può essere svolto in poco tempo, non richiede l'uso di attrezzature aggiuntive e dunque risulta facilmente integrabile alle sedute d'allenamento. Come visto nel capitolo 1, gli infortuni agli ischiocrurali nel calcio si verificano più frequentemente durante gesti atletici che richiedono una contrazione eccentrica di questi muscoli, come lo sprint e il tiro. Pertanto, il NHE, rinforzando specificamente gli hamstring in modo eccentrico, rappresenterebbe un intervento preventivo particolarmente efficace. Tuttavia, è proprio per via della sua natura eccentrica che il NHE presenta scarsa compliance tra i calciatori perché porta inevitabilmente a DOMS ^(38,45,46). Nonostante ciò, in questi quattro studi la partecipazione ad ogni sperimentazione è stata superiore al 90%. Tale dato, oltre ad essere frutto di un ottimo lavoro motivazionale e professionale dei vari colleghi nei confronti dei calciatori, sembrerebbe derivare dal metodo di allenamento adottato, ovvero la distribuzione del carico di lavoro nel tempo attraverso sedute di allenamento con NHE progressivo. Inoltre, riguardo il timing di esecuzione, pare che si ottengano maggiori benefici in termini di prevenzione se il carico di lavoro viene equamente diviso ed eseguito ad inizio e a fine allenamento. Malgrado gli autori non abbiano specificato con precisione i programmi di allenamento dei gruppi di controllo, tutte le sperimentazioni sono state caratterizzate da una netta riduzione del tasso di infortuni dei gruppi intervento rispetto ai relativi gruppi controllo. Tuttavia, non conoscere i programmi di allenamento dei gruppi di controllo rende difficile sia valutare le differenze tra i vari interventi, che stabilire

quale sia il più efficace e il più standardizzabile; questo dovrebbe essere un elemento su cui concentrare gli studi futuri. Sicuramente il NHE inserito all'interno di un allenamento di forza e resistenza, come dimostrato nello studio di Ripley et al., è l'esercizio che più di tutti riesce a ridurre i principali fattori di rischio modificabili di HSI, aumentando la lunghezza muscolare del bicipite femorale e la forza eccentrica degli hamstring. Nonostante ciò, a parità di allenamento, anche l'aggiunta dei soli esercizi di sprint, seppur in maniera minore, sembrerebbe garantire la riduzione dei fattori di rischio di HSI allo stesso modo del NHE.

Gli studi di questa revisione hanno evidenziato l'efficacia del NHE come misura preventiva per ridurre significativamente il rischio di infortuni agli hamstring nel calcio, in quanto questo esercizio si distingue, per la sua capacità, di rafforzare in modo specifico la forza eccentrica degli ischiocrurali, un fattore cruciale nella prevenzione di queste lesioni. Tuttavia, nonostante le evidenze scientifiche a riguardo, l'implementazione del NHE nei programmi di allenamento di calcio non è del tutto diffusa. Le ricerche future dovrebbero dunque basarsi sia su una standardizzazione di questi protocolli per definire con precisione i parametri ottimali di esecuzione di NHE, sia sugli effetti a lungo termine dell'esercizio, sia per stabilire la sua efficacia nel tempo. In conclusione, un aumento più diffuso e consapevole di questo esercizio all'interno dei programmi di allenamento potrebbe contribuire a ridurre significativamente i tassi di HSI, migliorando così le prestazioni dei calciatori.

BIBLIOGRAFIA

1. ScienzeMotorie. Scienze Motorie. 2023
2. 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.* giugno 2016;50(12):731–7.
3. Ekstrand J, Hägglund M, Waldén M. Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *Am J Sports Med.* giugno 2011;39(6):1226–32.
4. Arnason: Prevention of hamstring strains in elite -
5. Biz C, Nicoletti P, Baldin G, Bragazzi NL, Crimi A, Ruggieri P. Hamstring Strain Injury (HSI) Prevention in Professional and Semi-Professional Football Teams: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health.* gennaio 2021;18(16):8272.
6. Ekstrand J, Hägglund M, Waldén M. Injury incidence and injury patterns in professional football: the UEFA injury study. *Br J Sports Med.* 1 giugno 2011;45(7):553–8.
7. Lesione muscolare ischiocrurali - FisioScience - 2022
8. Hamstring muscle injury in the athlete: state of the art - Journal of ISAKOS -
9. Huygaerts S, Cos F, Cohen DD, Calleja-González J, Guitart M, Blazeovich AJ, et al. Mechanisms of Hamstring Strain Injury: Interactions between Fatigue, Muscle Activation and Function. *Sports.* 18 maggio 2020;8(5):65.
10. Afonso J, Rocha-Rodrigues S, Clemente FM, Aquino M, Nikolaidis PT, Sarmento H, et al. The Hamstrings: Anatomic and Physiologic Variations and Their Potential Relationships With Injury Risk. *Front Physiol.* 7 luglio 2021;12:694604.
11. Chumanov ES, Heiderscheit BC, Thelen DG. Hamstring Musculotendon Dynamics during Stance and Swing Phases of High-Speed Running. *Med Sci Sports Exerc.* marzo 2011;43(3):525.
12. Liu Y, Sun Y, Zhu W, Yu J. The late swing and early stance of sprinting are most hazardous for hamstring injuries. *J Sport Health Sci.* giugno 2017;6(2):133–6.
13. Schache AG, Dorn TW, Blanch PD, Brown N a. T, Pandy MG. Mechanics of the Human Hamstring Muscles during Sprinting. *Med Sci Sports Exerc.* aprile 2012;44(4):647.
14. A previous hamstring injury affects kicking mechanics in soccer players - *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 2018 December;58(12):1815-22
15. Kellis E, Katis A. Biomechanical Characteristics and Determinants of Instep Soccer Kick. *J Sports Sci Med.* 1 giugno 2007;6(2):154–65.
16. Manolopoulos E, Katis A, Manolopoulos K, Kalapotharakos V, Kellis E. Effects of a 10-Week Resistance Exercise Program on Soccer Kick Biomechanics and Muscle Strength. *J Strength Cond Res.* dicembre 2013;27(12):3391.

17. Lees A, Asai T, Andersen TB, Nunome H, Sterzing T. The biomechanics of kicking in soccer: A review. *J Sports Sci.* 1 giugno 2010;28(8):805–17.
18. Liu H, Garrett WE, Moorman CT, Yu B. Injury rate, mechanism, and risk factors of hamstring strain injuries in sports: A review of the literature. *J Sport Health Sci.* 1 settembre 2012;1(2):92–101.
19. Brooks JHM, Fuller CW, Kemp SPT, Reddin DB. Incidence, risk, and prevention of hamstring muscle injuries in professional rugby union. *Am J Sports Med.* agosto 2006;34(8):1297–306.
20. Flores DV, Mejía Gómez C, Estrada-Castrillón M, Smitaman E, Pathria MN. MR Imaging of Muscle Trauma: Anatomy, Biomechanics, Pathophysiology, and Imaging Appearance. *Radiogr Rev Publ Radiol Soc N Am Inc.* 2018;38(1):124–48.
21. La classificazione delle lesioni muscolari
22. Mueller-Wohlfahrt HW, Haensel L, Mithoefer K, Ekstrand J, English B, McNally S, et al. Terminology and classification of muscle injuries in sport: the Munich consensus statement. *Br J Sports Med.* aprile 2013;47(6):342–50.
23. Feeley BT, Kennelly S, Barnes RP, Muller MS, Kelly BT, Rodeo SA, et al. Epidemiology of National Football League training camp injuries from 1998 to 2007. *Am J Sports Med.* agosto 2008;36(8):1597–603.
24. Hayashi D, Hamilton B, Guermazi A, de Villiers R, Crema MD, Roemer FW. Traumatic injuries of thigh and calf muscles in athletes: role and clinical relevance of MR imaging and ultrasound. *Insights Imaging.* dicembre 2012;3(6):591–601.
25. Jokela A, Valle X, Kosola J, Rodas G, Til L, Burova M, et al. Mechanisms of Hamstring Injury in Professional Soccer Players: Video Analysis and Magnetic Resonance Imaging Findings. *Clin J Sport Med Off J Can Acad Sport Med.* 1 maggio 2023;33(3):217–24.
26. Opar DA, Williams MD, Shield AJ. Hamstring Strain Injuries. *Sports Med.* 1 marzo 2012;42(3):209–26.
27. Woods C, Hawkins RD, Maltby S, Hulse M, Thomas A, Hodson A, et al. The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football--analysis of hamstring injuries. *Br J Sports Med.* febbraio 2004;38(1):36–41.
28. Heiser TM, Weber J, Sullivan G, Clare P, Jacobs RR. Prophylaxis and management of hamstring muscle injuries in intercollegiate football players. *Am J Sports Med.* 1984;12(5):368–70.
29. Hennessey L, Watson AW. Flexibility and posture assessment in relation to hamstring injury. *Br J Sports Med* 1993 Dec; 27 (4): 243–6
30. Tokutake G, Kuramochi R, Murata Y, Enoki S, Koto Y, Shimizu T. The Risk Factors of Hamstring Strain Injury Induced by High-Speed Running. *J Sports Sci Med.* dicembre 2018;17(4):650–5.

31. Henderson G, Barnes CA, Portas MD. Factors associated with increased propensity for hamstring injury in English Premier League soccer players. *J Sci Med Sport*. luglio 2010;13(4):397–402.
32. Cameron M, Adams R, Maher C. Motor control and strength as predictors of hamstring injury in elite players of Australian football. *Phys Ther Sport*. 1 novembre 2003;4(4):159–66.
33. Ribeiro-Alvares JB, Dornelles MP, Fritsch CG, de Lima-E-Silva FX, Medeiros TM, Severo-Silveira L, et al. Prevalence of Hamstring Strain Injury Risk Factors in Professional and Under-20 Male Football (Soccer) Players. *J Sport Rehabil*. 1 marzo 2020;29(3):339–45.
34. Allen TJ, Leung M, Proske U. The effect of fatigue from exercise on human limb position sense. *J Physiol*. 15 aprile 2010;588(Pt 8):1369–77.
35. Clement D, Arvinen-Barrow M, Fetty T. Psychosocial Responses During Different Phases of Sport-Injury Rehabilitation: A Qualitative Study. *J Athl Train*. gennaio 2015;50(1):95–104.
36. van Mechelen W, Hlobil H, Kemper HC. Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries. A review of concepts. *Sports Med Auckl NZ*. agosto 1992;14(2):82–99.
37. Arnason A, Andersen TE, Holme I, Engebretsen L, Bahr R. Prevention of hamstring strains in elite soccer: an intervention study. *Scand J Med Sci Sports*. 2008;18(1):40–8.
38. Franchi MV, Atherton PJ, Reeves ND, Flück M, Williams J, Mitchell WK, et al. Architectural, functional and molecular responses to concentric and eccentric loading in human skeletal muscle. *Acta Physiol Oxf Engl*. marzo 2014;210(3):642–54.
39. Linari M, Lucii L, Reconditi M, Casoni MEV, Amenitsch H, Bernstorff S, et al. A combined mechanical and X-ray diffraction study of stretch potentiation in single frog muscle fibres. *J Physiol*. 2000;526(3):589–96.
40. Chaabene H, Prieske O, Negra Y, Granacher U. Change of Direction Speed: Toward a Strength Training Approach with Accentuated Eccentric Muscle Actions. *Sports Med*. 1 agosto 2018;48(8):1773–9.
41. Suchomel TJ, Nimphius S, Bellon CR, Stone MH. The Importance of Muscular Strength: Training Considerations. *Sports Med*. 1 aprile 2018;48(4):765–85.
42. Malliaras P, Kamal B, Nowell A, Farley T, Dhamu H, Simpson V, et al. Patellar tendon adaptation in relation to load-intensity and contraction type. *J Biomech*. 26 luglio 2013;46(11):1893–9.
43. Al Attar WSA, Soomro N, Sinclair PJ, Pappas E, Sanders RH. Effect of Injury Prevention Programs that Include the Nordic Hamstring Exercise on Hamstring Injury Rates in Soccer Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*. 1 maggio 2017;47(5):907–16.
44. Engebretsen AH, Myklebust G, Holme I, Engebretsen L, Bahr R. Intrinsic Risk Factors for Hamstring Injuries Among Male Soccer Players: A Prospective Cohort Study. *Am J Sports Med*. 1 giugno 2010;38(6):1147–53.
45. Franchi MV, Reeves ND, Narici MV. Skeletal Muscle Remodeling in Response to Eccentric vs. Concentric Loading: Morphological, Molecular, and Metabolic Adaptations. *Front Physiol*. 2017;8:447.

46. Bahr R, Thorborg K, Ekstrand J. Evidence-based hamstring injury prevention is not adopted by the majority of Champions League or Norwegian Premier League football teams: the Nordic Hamstring survey. *Br J Sports Med.* novembre 2015;49(22):1466–71.
47. Mjølsnes R, Arnason A, Østhagen T, Raastad T, Bahr R. A 10-week randomized trial comparing eccentric vs. concentric hamstring strength training in well-trained soccer players. *Scand J Med Sci Sports.* ottobre 2004;14(5):311–7.
48. Brughelli M, Cronin J. Altering the length-tension relationship with eccentric exercise : implications for performance and injury. *Sports Med Auckl NZ.* 2007;37(9):807–26.
49. Iga J, Fruer CS, Deighan M, Croix MDS, James DVB. «Nordic» hamstrings exercise - engagement characteristics and training responses. *Int J Sports Med.* dicembre 2012;33(12):1000–4.
50. Ribeiro-Alvares JB, Marques VB, Vaz MA, Baroni BM. Four Weeks of Nordic Hamstring Exercise Reduce Muscle Injury Risk Factors in Young Adults. *J Strength Cond Res.* maggio 2018;32(5):1254–62.
51. Petersen J, Thorborg K, Nielsen MB, Budtz-Jørgensen E, Hölmich P. Preventive effect of eccentric training on acute hamstring injuries in men's soccer: a cluster-randomized controlled trial. *Am J Sports Med.* novembre 2011;39(11):2296–303.
52. Lovell R, Knox M, Weston M, Siegler JC, Brennan S, Marshall PWM. Hamstring injury prevention in soccer: Before or after training? *Scand J Med Sci Sports.* febbraio 2018;28(2):658–66.
53. Nick van der Horst, Dirk-Wouter Smits, Jesper Petersen, Edwin A. Goedhart, Frank J.G. Backx. *The Preventive Effect of the Nordic Hamstring Exercise on Hamstring Injuries in Amateur Soccer Players, 2015*
54. Ahmed Ebrahim Elerian, Mohsen M. El-Sayyad, Hend Adel Abdelhalim Dorgham. *Effect of Pre-training and Post-training Nordic Exercise on Hamstring Injury Prevention, Recurrence, and Severity in Soccer Players, 2019.*
55. Nicholas J.Ripley, Matthew Cuthbert, Paul Comfort, John J.McMahon. *Effect of additional Nordic hamstring exercise or sprint training on the modifiable risk factors of hamstring strain injuries and performance, 2023*