Università degli Studi di Genova

Scuola di Scienze Mediche e Farmaceutiche

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

Master in Riabilitazione dei Disordini Muscoloscheletrici

A.A. 2018/2019

Campus Universitario di Savona

Analisi dei cambiamenti morfo-strutturali e funzionali indotti dal Nordic Hamstring Exercise

Candidato:

Dott. FT Simone Bianchi

Relatore:

Dott. FT Lorenzo Attanasio

INDICE

I. ABSTRACT.....1

II. BACKGROUND.....3

III. MATERALI E METODI.....7
- a. Disegno dello studio.....7
- b. Ricerca nella letteratura.....7
- c. Criteri di eleggibilità.....8
- d. Selezione degli studi.....9
- e. Raccolta dati.....9
- f. Critical appraisal.....9
- g. Misure di outcome.....10

IV. RISULTATI.....11
- a. Risultati della ricerca.....11
- b. Qualità degli studi.....12
- c. Caratteristiche degli studi.....13
- d. Outcome funzionali.....19
- e. Outcome strutturali.....20

V. DISCUSSIONE.....24
- a. Outcome funzionali.....24
- b. Outcome strutturali.....26
- c. Limitazioni.....31

VI. CONCLUSIONI.....32
- a. Take home message.....34

VII. BIBLIOGRAFIA.....35

VIII. ALLEGATI.....40

a. Allegato 1.....40

b. Allegato 2.....41

ABSTRACT

Background

Gli hamstring sono un gruppo muscolare spesso suscettibile di lesione e problematiche sia nella popolazione sportiva sia in quella generale. Tradizionalmente l'esercizio eccentrico ha un ruolo di primo piano nel trattamento e nella prevenzione delle lesioni muscolari degli hamstring, in cui viene somministrato con la finalità di incrementare la forza e l'elasticità muscolare.

Obiettivi

Tra gli esercizi più indagati in letteratura si trova il "Nordic hamstring exercise" (NHE), che sarà oggetto di studio in questa revisione. L'obiettivo dell'elaborato sarà quello di esaminare gli effetti della contrazione eccentrica sia a livello strutturale che funzionale, valutando criticamente le possibili implicazioni nella prevenzione e nel trattamento delle lesioni degli hamstring.

Materiali e metodi

Per reperire gli articoli è stata condotta una ricerca in letteratura consultando le banche dati Medline (Pubmed) e PEDro. Sono stati inclusi articoli in lingua inglese e in cui i soggetti eseguivano un protocollo che avesse come esercizio eccentrico il "Nordic Hamstring Exercise" (NHE), non sono stati posti limiti temporali mentre sono stati esclusi studi in cui i soggetti riportavano lesioni acute degli hamstring e/o disordini traumatici, patologie o interventi chirurgici a ginocchio o anca. Sono stati valutati come outcome per valutare gli effetti dell'esercizio la forza eccentrica, la "fascicle length", il "pennation angle", la "cross-sectional area" e la "muscle thickness". La selezione degli studi è stata condotta da un unico operatore che ha selezionato gli articoli in base a lettura di titolo e abstract e, successivamente, alla lettura del full-text. Per valutare la qualità degli studi considerati è stato utilizzato il "Tool for the assessment of Study quality and reporting in Exercise" (i.e. TESTEX).

Risultati

Dal processo di selezione sono stati inclusi 14 articoli. Di questi 10 valutavano la forza eccentrica, 8 la “fascicle length”, 7 il “pennation angle”, 2 la “cross-sectional area” e 6 la “muscle thickness”. Alla valutazione tramite scala TESTEX la maggior parte degli articoli ha totolazzato un punteggio compreso fra sei e nove.

Conclusioni

I risultati dello studio consentono di dimostrare l’efficacia di un programma basato sul NHE nel produrre adattamenti sia a livello funzionale, determinando un incremento della forza eccentrica, sia strutturale, in particolare con un incremento della “fascicle length” e una diminuzione del “pennation angle” mentre i risultati sono deboli relativamente alla “cross-sectional area e la “muscle thickness”. Questi risultati avvalorano la tesi dell’adozione di un programma basato sul NHE al fine della prevenzione e del trattamento delle lesioni muscolari degli hamstring.

BACKGROUND

Gli Hamstring, o ischio-crurali, sono un complesso di muscoli situati nella porzione posteriore della coscia, formato da bicipite femorale, semitendinoso e semimembranoso.

Il semitendinoso e il capo lungo del bicipite presentano un'origine comune nella porzione postero-mediale della tuberosità ischiatica, mentre l'inserzione del semimembranoso è localizzata in sede più antero-laterale (figura 1)[1].

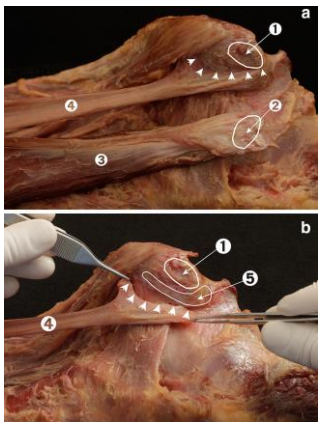

Figura 1: Visione posterolaterale dell'area di inserzione prossimale degli hamstring. E' possibile individuare: area di inserzione comune del semitendinoso e del capo lungo del bicipite (1), inserzione prossimale del tendine comune (2), tendine comune del semitendinoso e del capo lungo del bicipite, ruotato di 180° (3), tendine prossimale del semimembranoso (4), area di inserzione del semimembranoso (5). Riprodotta da Stepien et al. 2019 [1]

Il bicipite femorale, l'unico muscolo biarticolare del complesso degli hamstring, origina con un capo lungo dalla tuberosità ischiatica e con un capo breve dal labbro laterale della linea aspra a livello del terzo medio del femore; è localizzato nella porzione postero-laterale del femore e distalmente i due tendini presentano un'inserzione comune sulla testa del perone [1].

Il semimembranoso e il semitendinoso decorrono nella porzione postero-mediale del femore. Il semitendinoso presenta un'inserzione sulla porzione mediale della tibia attraverso la zampa d'oca superficiale(insieme ai muscoli gracile e sartorio); il semimembranoso distalmente presenta una suddivisione in tre parti: una prima parte delle fibre si inserisce sul condilo mediale della tibia, delle fibre continuano nella fascia del muscolo popliteo e nella parete posteriore della capsula articolare del ginocchio [2][3].

Semimbranoso, semitendinoso e capo lungo del bicipite sono innervati dalla porzione tibiale del nervo sciatico, mentre il capo breve del bicipite femorale è innervato dalla porzione peroneale del nervo sciatico [2].

Nel loro complesso gli hamstring sono i principali antagonisti del quadricipite femorale, la loro azione principale è qella di determinare, attraverso la loro contrazione, una flessione di ginocchio e un'estensione d'anca. Inoltre per via della sua inserzione laterale il bicipite femorale determina una rotazione esterna di tibia e perone; per via della loro inserzione sul'aspetto mediale della porzione prossimale della tibia, il semimbranoso e il semitendinoso contraendosi inducono una rotazione interna di tibia [1].

Le lesioni muscolari degli hamstring rappresentano un tipo di infortunio molto diffuso nella popolazione sportiva, sia tra i professionisti (in cui rappresentano una delle cause più frequenti che portano all'esclusione dalla competizione) che tra gli atleti ricreazionali, con ricadute sia sulla performace sportiva che nella vita qoutidiana.

Diversi studi epidemiologici ne hanno studiato la prevalenza in diversi sport, in particolare nel calcio è stimata fra il 12 e il 15%, per il running attorno all'11% e per l'Australian Football tra il 16 e il 23% [4].

Per quanto riguarda i fattori di rischio per lesione muscolare degli hamstring ("hamstring strain" o HSI) essi si possono dividere in non modificabili e modificabili: tra i primi, molti studi sono concordi nell'individuare l'età avanzata e avere una storia di precedenti infortuni [5][6]; tra i principali fattori di rischio modificabili invece sono emersi un deficit di forza eccentrica [7], di cross-sectional area [7] e una ridotta lunghezza del fascicolo muscolare ("fascicle length") [8][9].

Data quindi la frequenza di questo tipo di problematiche e le ricadute sulla performance e sulla partecipazione sportiva, diventa molto interessante analizzare gli effetti che l'esercizio accentrico può indurre sui fattori di rischio non modificabili. Infatti l'esercizio eccentrico è una tipologia di intervento che viene spesso proposta, essendo stata dimostrata la sua capacità di promuovere il ritorno allo sport in tempi più rapidi e, al contempo, di ridurre il numero di recidive rispetto a forme di intervento "convenzionali" (e.g. stretching, contrazione concentrica) [10][11]. Anche se non sono state del tutto chiarite le cause della manifesta superiorità dell'esercizio eccentrico come strumento riabilitativo e terapeutico nelle lesioni degli hamstring, sono state avanzate diverse ipotesi, tra cui la modifica di alcune variabili morfo-strutturali connesse con il rischio di lesione. Tra gli esercizi più proposti per il gruppo muscolare degli hamstring si trova il "Nordic Hamstring Exercise" (NHE), che in molti studi viene suggerito come strumento per ridurre l'incidenza di infortuni muscolari [12].

Esemplificativo è il fatto che viene proposto anche dalla Fédération Internationale de Football Association (FIFA) all'interno del suo FIFA 11+ (fifamedicalnetwork.com, allegato 1), un programma di esercizi consigliato da eseguire come preparazione all'attività sportiva [13], poichè si è dimostrato un utile strumento di prevenzione efficace nel determinare una riduzione dell'incidenza degli infortuni [14][15].

Il "Nordic Hamstring Exercise" (NHE), conosciuto anche come "Nordic Curl", è un esercizio sviluppato con lo scopo di allenare la forza eccentrica degli hamstring. Si tratta di un esercizio che richiede l'intervento di una terza persona, il cui scopo è quello di fissare i piedi del paziente al suolo, mentre il soggetto parte da una posizione iniziale con il tronco in posizione eretta con le ginocchia flesse e arti inferiori paralleli. Il soggetto quindi scende verso il suolo tramite una progressiva estensione delle ginocchia, che deve essere eseguita il più lentamente possibile al fine di massimizzare il carico sugli hamstring durante la fase eccentrica; le braccia invece vengono utilizzate per attutire l'impatto col suolo una volta raggiunto il "break-point angle" (cioè il punto in cui il soggetto non riesce più a contrastare la forza di gravità e cadrebbe al suolo) e per ritornare alla posizione iniziale riducendo il carico durante la fase concentrica [16][17].

Figura 2: esecuzione del Nordic Hamstring Exercise (NHE). Riprodotto da Whyte et al. 2019 [17]

Inoltre, grazie alla sua facile accessibilità e facilità di esecuzione, poichè sfrutta semplicemente il peso del corpo del soggetto contro gravità senza bisogno di strumenti o macchinari costosi o difficilmente accessibili nella quotidianità, può essere efficacemente proposto anche a soggetti non sportivi professionisti.

Quindi, data la frequenza delle problematiche legate agli hamstring, soprattutto nella popolazione sportiva, sarebbe molto utile capire quali possono essere le implicazioni di un allenamento eccentrico, in particolare un esercizio facilmente applicabile come il NHE.

Scopo di questo studio è quello di condurre una revisione sistematica della letteratura scientifica al fine di valutare quali possono essere gli effetti strutturali e funzionali indotti da un programma di rinforzo eccentrico tramite il "Nordic Hamstring Exercise", che sarà oggetto di studio in questa revisione. Per fare ciò il quesito clinico su cui è stata condotta la ricerca era: "Effetto dell'esercizio eccentrico sulla morfologia (struttura) e funzione degli hamstring".

L'obbiettivo è quello di valutare gli effetti indotti dall'esercizio eccentrico sulla muscolatura degli hamstring a livello di architettura strutturale e funzionalità in modo da valutarne le possibili ricadute dal punto di vista clinico, comprendendo i meccanismi attraverso i quali l'allenamento eccentrico produce i suoi effetti in modo tale da rendere gli interventi preventivi e terapeutici più efficaci.

MATERIALI E METODI

Disegno dello studio

Questa revisione sistematica è stata redatta seguendo le linee guida del "Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses" (i.e. PRISMA) [18], una checklist utilizzata per realizzare revisioni sistematiche di studi randomizzati controllati (i.e. RCT).

Non è stato registrato alcun protocollo per questa revisione.

Ricerca nella letteratura

E' stata condotta una ricerca consultando le banche dati MedLine (PubMed) e PEDro (Physiotherapy Evidence Database). Sono state realizzate due ricerche diverse, con diverse parole chiave, per i database consultati.

Per MedLine (PubMed) è stata realizzata una ricerca utilizzando le seguenti parole chiave:

Hamstring, semitendinosus, biceps femoris, semimembranosus, eccentric, exercise, Nordic hamstring, structur, structural change*, morphology, adaptation, physiological, architectur*, eccentric strength, length-tension, fascicle length, pennation angle, cross sectional area*

Le parole chiave sono poi state combinate fra loro e con gli operatori booleani (i.e. AND, OR).

(((((((hamstring muscles[MeSH Terms]) OR hamstring) OR semitendinosus) OR semimembranosus) OR "biceps femoris")) AND (((((((eccentric) OR muscle contraction[MeSH Terms]) OR "muscle contraction") OR exercise[MeSH Terms]) OR exercise) OR "nordic hamstring exercise") OR nhe)) AND ((((((((((structur) OR "structural change*") OR morphology) OR adaptation, physiological[MeSH Terms]) OR architectur*) OR "eccentric strength") OR "length-tension") OR "fascicle length") OR "pennation angle") OR "cross-sectional area")*

Nel database PEDro invece è stata eseguita una ricerca semplice, usando la parola chiave: "*nordic hamstring*"

La ricerca degli articoli è stata condotta da ottobre a marzo, con termine in data 15.03.2020.

Criteri di eleggibilità

I criteri di inclusione ed esclusione sulla base dei quali sono stati valutati gli articoli da inserire nella revisione erano i seguenti:

Criteri di inclusione:

-articoli in lingua inglese

-studi randomizzati controllati (RCT)

-studi in cui i soggetti fossero sportivi e/o atleti ricreazionali

-studi in cui i soggetti come esercizio eccentrico performavano il "Nordic Hamstring Exercise" (NHE) per un periodo di almeno 4 settimane, al fine di avere un orizzonte temporale sufficiente per poter valutare gli effetti dell'esercizio

- studi in cui vengano riportate almeno una fra le seguenti misure di outcome funzionali (forza, misurata tramite dinamometro isocinetico) o strutturali ("cross-sectional area", "pennation angle" e "fascicle length", misurati tramite ecografia muscolo-tendinea)

Criteri di esclusione:

-articoli non in lingua inglese

-studi in cui fossero adottati , nel gruppo di intervento, esercizi differenti dal "Nordic Hamstring Exercise"; non sono stati esclusi studi in cui i soggetti avessero già avuto, precedentemente allo studio, altre esperienze di allenamento degli arti inferiori

-studi in cui i soggetti riportavano lesioni degli hamstring (documentate da esami strumentali) nei 6 mesi precedenti all'inclusione nello stesso

-studi in cui i soggetti manifestavano: disordini traumatici, patologie o interventi chirurgici a ginocchio o anca; patologie neurologiche, disordini lombari e/o sacroiliaci che avrebbero posto delle potenziali limitazioni nell'esecuzione dell'esercizio

Non sono invece stati posti limiti temporali relativamente alla pubblicazione degli articoli, all'età e al sesso dei partecipanti.

Selezione degli studi

Gli articoli reperiti sono stati passati attraverso un processo di selezione, in cui il primo passaggio consisteva nell'eliminazione dei dublicati. Il processo di selezione è proseguito attraverso la lettura di Titolo e Abstract verificandone la pertinenza al quesito della ricerca e, infine, per gli articoli rimasti, tramite la lettura del Full Text, al fine di verificare il soddisfacimento dei criteri di eleggibilità.

I risultati ottenuti attraverso la ricerca verranno riportati attraverso il PRISMA Flow Chart, tradotto e modificato dal GIMBE [19].

Raccolta dati

Per ciascuno degli studi inclusi nella revisione sono state estratte le informazioni rilevanti, con particolare riferimento a: caratteristiche della popolazione (numerosità e livello di attività sportiva), intervento (durata e dose), outcome (forza e variazioni morfo-strutturali). Per le misure di forza e di architettura muscolare sono state raccolte le medie e le deviazioni standard. L'estrazione dei dati è stata effettuata da un'unica persona.

Critical appraisal

Gli articoli selezionati per far parte della revisione sono stati sottoposti a valutazione della qualità metodologica (i.e. "risk of bias") e del reporting tramite il "Tool for the assessment of Study quality and reporting in Exercise" (TESTEX) [20]. Infatti negli studi che hanno come intervento delle tipologie di esercizi alcuni dei criteri generalmente utilizzati per la valutazione della qualità dei trial, come ad esempio il cieco dei partecipanti e dei ricercatori, sono molto difficili da realizzare. Questo strumento, appositamente messo a punto con lo scopo di valutare gli studi che hanno per oggetto di intervento l'esercizio fisico, è costituito da 15 items (5 riguardanti la qualità metodologica e 10 riguardanti il reporting), ognuno dei quali può assumere un punteggio di 0 o 1. La scala ha inoltre dimostrato di avere un'ottima affidabilità inter-operatore, infatti gli score attribuiti dai tre osservatori nella valutazione di 19 studi sono risultati sostanzialmente concordi, quasi perfettamente, con un intra-class correlation coefficient che è risultato compreso fra 0.91 e 0.96 [20].

Misure di outcome

Scopo primario dello studio sarà quello di valutare gli effetti indotti dall'esercizio eccentrico sugli hamstring. Per fare questo sono stati valutati due tipologie di outcome: morfo-strutturali e funzionali.

Come outcome strutturali sono stati presi in considerazione la "fascicle length", "pennation angle", "cross-sectional area" e "muscle thickness". Per valutare questi outcome verrà utilizzata l'indagine ecografica bidimensionale con le immagini ottenute lungo l'asse longitudinale del ventre muscolare del capo lungo del bicipite femorale.

Come outcome funzionale sarà valutata la forza eccentrica degli hamstring che verrà misurata tramite dinamometro in isocinetica (con la forza misurata espressa in Newton).

Per l'interpretazione dell'entità dei risultati è stato valutato l'"effect size" (i.e. ES) basandosi sulla scala proposta da Hopkins[21]; quindi considerando l'effetto come trascurabile (ES<0.20), scarso (0.20-0.59), moderato (0.60-1.19), ampio (1.20-1.99) o molto ampio (>2.00). Mentre la significatività statistica delle misurazioni è stata valutata attraverso "il p value", dove la significatività era settata con $p < 0.05$.

RISULTATI

Risultati della ricerca

Le stringhe di ricerca utilizzate hanno prodotto 879 risultati, 859 sulla banca dati Medline e 20 sulla banca dati PEDro.

Il primo passaggio è stato quello di elimare i 7 duplicati individuati, portando quindi il numero degli articoli a 872, di cui è stata fatta una selezione attrverso la lettura di titolo e abstract. Di questi 831 sono stati giudicati non pertinenti con il quesito clinico e lo scopo della revisione. Dei rimanenti 41 articoli,di 1 articolo non è stato possibile ottenere il full-text ed è stato quindi escluso dalla ricerca; dei rimanenti articoli di 26 si è proceduto alla lettura del full-text e sono stati esclusi perchè non soddisfacevano i criteri di inclusione o presentavano criteri di esclusione. Quindi al termine di questo processo sono rimasti 14 articoli scientifici che soddisfacevano i criteri di inclusione e sono stati inclusi nella revisione. Di seguito sono riportati attraverso il Prisma Statement i vari passaggi relativi al reperimento degli articoli e al processo di selezione degli stessi (Tabella1).

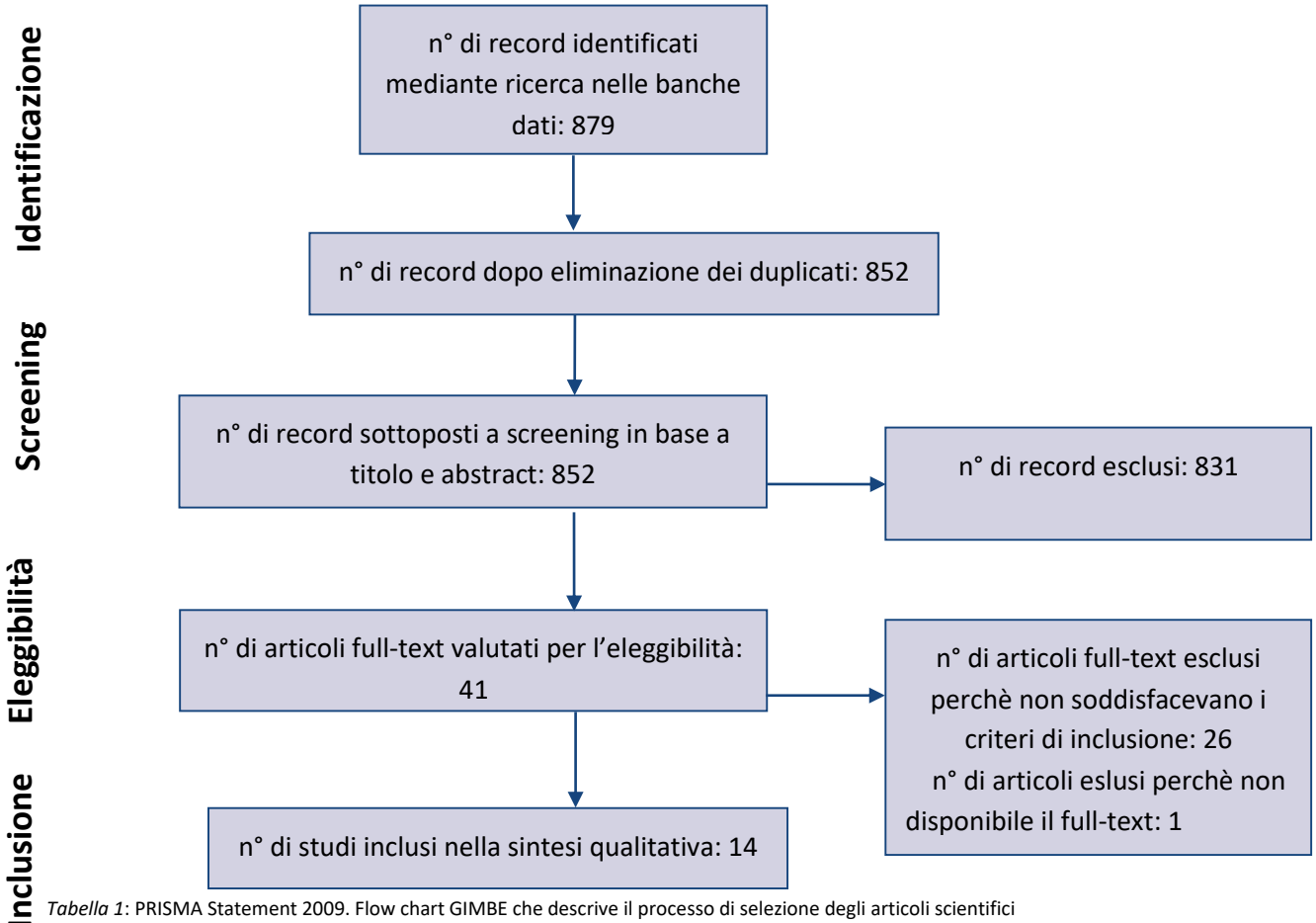

Tabella 1: PRISMA Statement 2009. Flow chart GIMBE che descrive il processo di selezione degli articoli scientifici

Qualità degli studi

I 14 studi inclusi nella revisione sono stati quindi sottoposti a valutazione della qualità, eseguita da un unico revisore tramite scala TESTEX, i cui risultati sono stati sintetizzati nella tabella seguente (Tabella 2).

Articoli	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Totale
Duhig et al.2019 [22]	1	0	1	1	1	2	0	2	1	0	1	1	11
Delextrat et al. 2019 [23]	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	6
Sebelien et al. 2014 [24]	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	6
Whyte et al. 2019 [17]	1	1	1	1	1	2	0	0	1	0	1	1	10
Siddle et al. 2018 [25]	1	1	1	1	1	1	0	2	0	0	1	0	9
Pollard et al. 2019 [26]	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	6
Mendiguchia et al. 2020 [27]	1	0	1	1	1	2	0	0	0	1	1	0	8
Seymore et al. 2017 [28]	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	7
Timmins et al. 2016 [29]	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	8
Ribeiro-Alvares et al. 2017 [30]	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	5
Delahunt et al. 2016 [31]	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	6
Lovell et al. 2017 [4]	0	0	1	0	0	2	0	0	0	1	1	1	5
Bourne et al. 2016 [32]	1	0	0	1	1	0	0	2	1	0	1	1	8
Mjolsnes et al. 2016 [33]	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	1	0	4

Tabella 2: riassunto dei punteggi in base ai criteri della scala TESTEX. Items: 1 elegibility criteria specified, 2 randomization specified, 3 allocation concealment, 4 groups similar at baseline, 5 blinding of assessor, 6 outcome measures assessed in 85% of patients, 7 intention-to-treat analysis, 8 between-group statistical comparisons reported, 9 point measures and measures of variability for all reported outcome measures, 10 activity monitoring in control groups, 11 relative exercise intensity remained constant, 12 exercise volume and energy expenditure

La maggior parte degli studi ha totalizzato un punteggio compreso fra sei e nove[23][24][25][26][27][28][29][31][32]. Gli articoli che hanno dimostrato un maggior soddisfacimento dei criteri di valutazione sono risultati essere Duhig et al.[22], con un punteggio di undici, e Whyte et al. [17],con un punteggio di dieci punti; mentre due articoli hanno ottenuto cinque punti[30][4] e uno quattro[33].

Il criterio meno soddisfatto negli studi inclusi è risultato l'item relativo all'analisi dei risultati (item 7), che attribuisce un punto nel caso in cui venga fatta un'analisi del tipo intention-to-treat. Questa procedura consiste nel non escludere dalla analisi dei dati i pazienti che non aderiscono al trattamento assegnato tramite randomizzazione. In caso di abbandono del trial da parte di uno o più soggetti , vengono utilizzati gli ultimi dati raccolti o, in alternativa, i valori alla baseline. In questo modo si evita una possibile interpretazione erronea dell'efficacia del trattamento.

L'item 8, relativo alla presenza di una comparazione statistica fra i risultati del gruppo di intervento e quello di controllo, risulta poco soddisfatto poichè solo in tre studi[22][25][32] quest'analisi è stata effettivamente eseguita. Lo scopo principale è quello valutare l'effettiva efficacia dell'esercizio, assicurando che le variazioni negli outcome misurati siano dovuti all'intervento e non ad altri fattori.

Poco soddisfatti sono risultati anche l'item 2 (in quanto non sempre era ben descritta la modalità attraverso cui veniva eseguito il processo di randomizzazione dei soggetti nei trial) e l'item 10. Quest'ultimo valuta la presenza di un monitoraggio dell'attività del gruppo di controllo, al fine di evitare che i soggetti in esso allocati svolgessero dell'attività fisica diversa o in aggiunta a quella loro indicata costituendo così un fattore di confondimento nell'interpretazione dei risultati.

Caratteristiche degli studi

Per ciascuno degli studi inclusi un unico operatore ha provveduto ad estrarre i dati rilevanti ai fini della revisione. In particolare sono stati raccolti i dati relativi alla popolazione (numerosità, rapporto maschi-femmine, livello di attività sportiva), all'intervento tramite NHE (durata e dose), al gruppo di controllo e agli outcome misurati (funzionali e strutturali).

Tutti gli articoli considerati hanno incluso soggetti che svolgessero attività sportiva, a livello ricreativo o professionale. In particolare, in metà degli articoli considerati i soggetti praticavano sport di squadra; tra questi il calcio era il più rappresentato[24][25][27][4][33], seguito da hockey[23], gaelic football [17] e rugby[23].

Gli studi differivano per la durata e il volume dell'intervento (i.e. NHE). La maggior parte degli studi[23][25][26][27][28][29][31] adottava un protocollo di allenamento distribuito su sei settimane, solo tre studi utilizzavano un protoccollo con durata minore [22][17][30], mentre quattro studi utilizzano un protocollo più lungo[4][24][32][33].

Anche la tipologia di controllo risultava differente fra gli studi. Infatti, la maggioranza presentava un gruppo di controllo che non svolgeva alcun esercizio particolare, oltre alla normale routine ricreativa o sportiva, o utilizzavano lo stretching come attività per il gruppo di controllo[28][22]. Nei rimanenti sette studi invece, nel gruppo di controllo venivano considerate altre tipologie di allenamento, rinforzo concentrico[29], esercizi mirati alla "core stability"[4], o altri esercizi come hamstring curl"[32][21][24][33] o hip extension exercise"[17][32].

I dati raccolti sono riassunti nella tabella seguente (Tabella 3):

Autore	Popolazione (M:F), livello di attività, soggetti analizzati per gruppo	Dose intervento	Tipologia controllo	Outcome
Duhig 2019 [22]	30 (30:0), recreationally active men 15 NHE group 13 CLC group	(allenamenti x serie x ripetizioni) Week 1 (2 × 2 × 6) Week 2 (2 × 3 × 6) Week 3 (2 × 4 × 6) Week 4 (2 × 5 × 6) Week 5 (1 × 5 × 6)	Concentric leg curl (allenamenti x serie x ripetizioni) Week 1 (2 × 2 × 6) Week 2 (2 × 3 × 6) Week 3 (2 × 4 × 6) Week 4 (2 × 5 × 6) Week 5 (1 × 5 × 6)	**Fascicle length** NHE vs CLC: mean difference = 1.90 cm; 95% CI = 1.34–2.45 cm; p < 0.001;d = 2.57 **Pennation angle** NHE vs CLC: mean difference = 2.52◦; 95% CI = 1.60–3.45°; p < 0.001; d = 2.07 **Muscle thickness** NHE vs CLC: mean difference = 0.01 cm; 95% CI = −0.20 to 0.23 cm; p = 0.868; d = 0.03
Delextrat 2019 [23]	30 (0:30), hockey players 9 NHE group 8 CG 8 ELC group	Week 1: 3 x (2 x 6) (2 x 6) (2 x 7) Week 2: 3 x (2 x 7) (2 x 8) (2 x 8) Week 3: 3 x (2 x 9) (2 x 9) (3 x 7) Week 4: 3 x (3 x 7) (3 x 8) (3 x 8) Week 5: 3 x (3 x 9) (3 x 9) (3 x 10) Week 6: 3 x (3 x 10) (3 x 7) (3 x 7)	Usual training (CG) Eccentric leg curl (ELC)	**Forza** (isocinetico a 120°$^{s-1}$): NHE group -Dominant leg NHE: media +/- SD = pre 55.4 Nm +/- 15.8 Nm, Post 62.2 Nm +/- 19.4 Nm; p > 0.05 - Non dominant leg NHE vs CG: mean difference = 12.9 Nm; 95% CI 3.1 to 20.4 Nm; p = 0.05; d = 0.73
Sebelien 2014 [24]	119 (119:0), soccer players 16 NHE group 11 CG	Week 1: 1 x 2 x 5 Week 2: 2 x 2 x 6 Week 3: 3 x 3 x 6/8 Week 4: 3 x 3 x 8/12 Week 5: 3 x3 x 8/12 two days per week during the soccer season: 3 x 8/12 reps	PNF hamstring Stretching 3 x 30” 3 x 45” 3 days week during preseason, and two days per week during the soccer season	**Forza** (isocinetico a 60°$^{s-1}$) NHE vs stretching: standardized mean difference = 1.10 Nm; 95% CI 0.27 to 1.93 Nm
Whyte 2019 [17]	26 (26:0), gaelic football players 13 NHE group 11 HEE group	Week 1: 2 x 2 x 6 Week 2: 2 x 3 x 6 Week 3: 2 x 4 x 8 Week 4: 2 x 4 x 10	45° Hip extension exercise Week 1: 2 x 2 x 6 Week 2: 2 x 3 x 6 Week 3: 2 x 4 x 8 Week 4: 2 x 4 x 10	**Forza** (isocinetico a 60°$^{s-1}$) - Dominant leg NHE: media +/- SD = Pre 187.5 Nm +/- 59.1 Nm; Post 224.7 Nm +/- 60.6 Nm; p<.0001 d= 1.41 -Non dominant leg NHE: media +/-SD = Pre 186.2 Nm +/- 50.5 Nm; Post 215.0 Nm +/- 60.1 Nm; p<.0001 d=1.27
Siddle 2018 [25]	16 (16:0), soccer (8) and rugby (8) players 7 NHE group 7 CG	NHE + usual training Week 1: 1 x 2 x 5 Week 2: 2 x 2 x 6 Week 3: 2 x 3 x 6 Week 4: 2 x 3 x 6/7/8 Week 5: 2 x 3 x 8/9/10 Week 6: 2 x 3 x 10/9/8	Usual training	**Forza** (isocinetico a 180°$^{s-1}$) NHE vs CG: mean difference = 29.46 Nm, 95% CI 15.54 to 43.37 Nm, P = 0.001, d = 2.55
Pollard 2019 [26]	30 (30:0), recreationally active men 10 $NHE_{bodyweight}$ group 10 $RHC_{weighted}$ group (*numero di soggetti randomizzati*)	$NHE_{bodyweight}$ Week 1: 2 x 4 x 6 Week 2: 2 x 4 x 6 Week 3: 1 x 2 x 4 Week 4: 1x 2 x 4 Week 5: 1 x 2 x 4	Razor Hamstring curl Week 1: 2 x 4 x 6 Week 2: 2 x 4 x 6 Week 3: 1 x 2 x 4 Week 4: 1x 2 x 4 Week 5: 1 x 2 x 4	**Fascicle length** -NHE: media +/- SD = Pre 9.85 cm ± 0.90 cm, Post 10.41 cm ± 0.67 cm, p > 0.05 d = 0.71 -HC: media +/- SD = Pre 9.76 cm ± 0.80 cm, Post 9.71 cm ± 0.75 cm, p > 0.05 d = 0.00 **Pennation angle**

		Week 6: 1 x 2 x 4	Week 6: 1 x 2 x 4	-NHE: media +/- SD = Pre 16.00° ± 1.96°, Post 15.88° ± 1.98°, p > 0.05 d = 0.09 -HC: media +/- SD = Pre 15.57° ± 1.45°, Post 15.49° ± 1.14°, p > 0.05 d = 0.05 **Muscle thickness** -NHE: media +/- SD = Pre 2.56 cm +/- 0.39 cm, Post 2.67 cm +/- 0.38 cm, p > 0.05 d = 0.32 -HC: media +/- SD = Pre 2.44 cm +/- 0.30 cm, Post 2.48 cm +/- 0.32 cm, p > 0.05 d = 0.03
Mendiguchia 2020 [27]	32 (32:0), soccer players 7 NHE group 8 CG	Week 1: 1 x 2 x 5 Week 2: 2 x 2 x 6 Week 3: 3 x 3 x 6/8 Week 4: 3 x 3 x 8/10 Week 5/6: 3 x 3 x 12/10/8	Usual soccer practice (CG)	**Fascicle length** NHe vs CG: mean difference = 0.76457 cm, 95% IC -0.119 to 1.649 cm **Pennation angle** NHE vs CG: mean difference = 1.088°, 95% IC -1.276 to 3.452° **Muscle thickness** NHE vs CG: mean diffence = 0.083 cm, 95% IC -0.059 to 0.226 cm
Seymore 2017 [28]	20, recreationally active adults 10 NHE group 10 stretching group	NHE + static stretching Week 1: 1 x 2 x 5 Week 2: 2 x 2 x 6 Week 3: 3 x 3 x 6 Week 4: 3 x 3 x 8 Week 5: 3 x 3 x 12/10/8 Week 6: 3 x 3 x 12/10/8	Static stretching	**Forza** (isocinetico 60°s^{-1}) NHE vs stretching: standardized mean difference = 1.05 Nm/kg, 95% IC 0.10 to 2.00 Nm/kg **Fascicle length** NHE vs stretching: mean difference = 0.29 cm, 95% CI -0.18 to 0.76 cm **Pennation angle** NHE vs stretching: mean difference = -1.00°, 95% CI -1.96 to -0.04° **Cross-sectional area** NHE: media +/- SD = Pre 16.08 cm^2± 6.43 cm^2; Post 18.05 cm^2 ± 7.33 cm^2; p < 0.05
Timmins 2016 [29]	28 (28:0), recreationally active men 14 NHE group 14 Concentric group	Week 1: 2 x 4 x 6 Week 2: 3 x 4 x 6 Week 3: 3 x 5 x 6 Week 4: 3 x 5 x 8 Week 5: 3 x 6 x 6 Week 6: 3 x 6 x 8	Allenamento concentrico Week 1: 2 x 4 x 6 Week 2: 3 x 4 x 6 Week 3: 3 x 5 x 6 Week 4: 3 x 5 x 8 Week 5: 3 x 6 x 6 Week 6: 3 x 6 x 8	**Forza** (isocinetico 60°s^{-1}) NHE vs Concentric: standardized mean difference = 0.50 Nm, 95% CI -0.25 to 1,26 Nm **Fascicle length** NHE vs Concentric: mean difference = 3.27 cm, 95% CI 3.05 to 3.49 cm **Pennation angle** NHE vs Concentric: mean difference = 3.55°, 95% CI 3.24 to 3.86° **Muscle thickness** NHE vs Concentric: mean difference = 0.08 cm, 95% CI 0.02 to 0.14 cm
Ribeiro-Alvares 2017 [30]	20 (6:14), recreationally active adults 10 NHE group	Week 1: 2 x 3 x 6 Week 2: 2 x 3 x 7 Week 3 : 2 x 3 x 8	Nessun esercizio, attività abituale	**Forza** (isocinetico 60°s^{-1}) NHE vs CG: standardized mean difference = 1.06 Nm, 95% CI 0.11 to 2.02 Nm

	10 CG (*numero di soggetti randomizzati*)	Week 4: 2 x 3 x 10		**Fascicle length** NHE vs CG: mean difference = 1.63 cm, 95% CI 1.07 to 2.19 cm **Pennation angle** NHE vs CG: mean difference = 2.23°, 95% CI 1.44 to 3.02° **Muscle thickness 0** NHE vs CG: mean difference = 0.00 cm, 95% CI -0.15 to 0.15 cm
Delahunt 2016 [31]	29 (29:0), recreationally active men 15 NHE group 14 CG (*numero di soggetti randomizzati*)	Week 1: 1 x 2 x 5 Week 2: 2 x 2 x 6 Week 3: 3 x 3 x 6 Week 4: 3 x 3 x 8 Week 5: 3 x 3 x 12/10/8 Week 6: 3 x 3 x 12/10/8	Nessun esercizio, attività abituale	**Forza** (isometrico 120°$^{s-1}$) NHE vs CG: standardized mean difference = 2.55 Nm, 95% CI 1.54 to 3.56 Nm
Lovell 2017 [4]	35 (35:0), soccer players 10 core stability group 9 NHE_{BEF} group 12 NHE_{AFT} group	Week 1: 1 x 2 x 5 Week 2: 2 x 3 x 5 Week 3: 2 x 3 x 6 Week 4: 2 x 4 x 6 Week 5: 2 x 4 x 7 Week 6: 2 x 4 x 7 Week 7: 2 x 4 x 8 Week 8: 2 x 4 x 8 Week 9: 2 x 4 x 9 Week 10: 2 x 4 x 9 Week 11: 2 x 4 x 10 Week 12: 2 x 4 x 12	Esercizi di core stability Week1: 1 x 3 x 20s Week 2-4: 2 x 3 x 25s Week 5-7: 2 x 3 x 30s Week 8-12: 2 x 3 x 40s	**Forza** (isocinetico 30°$^{s-1}$) NHE_{BEF}: mean change = +11.9%, 90% CI 3.6 to 20.9% NHE_{AFT}: mean change = +11.6%, 90% CI 2.6 to 21.5% **Fascicle length** NHE_{AFT}: mean change = −0.29 cm, 90% CI −1.70 to 1.11 cm NHE_{BEF}: mean change = 1.58 cm, 90% CI 0.48 to 2.68 cm **Pennation angle** NHE_{AFT}: mean change = 1.03°, 90% CI −0.08 to 2.14° NHE_{BEF}: mean change = −1.47°, 90% CI −2.37 to −0.58° **Muscle thickness** NHE_{AFT}: mean change = +0.17 cm, 90% CI 0.05 to 0.29 cm NHE_{BEF}: mean change = −0.07 cm, 90% CI −0.17 to 0.03 cm
Bourne 2016 [32]	30 (30:0), recreationally active men 10 NHE group 10 CG 10 HEE group (*numero di soggetti randomizzati*)	Week 1: 2 x 2 x 6 Week 2: 2 x 3 x 6 Week 3: 2 x 4 x 8 Week 4: 2 x 4 x 10 Week 5–8: 2 x 5 x 8–10 Week 9: 2 x 6 x 6 Week 10: 2 x 5 x 5	Nessun esercizio, attività abituale (CG) Hip extension exercise Week 1: 2 x 2 x 6 Week 2: 2 x 3 x 6 Week 3: 2 x 4 x 8 Week 4: 2 x 4 x 10 Week 5–8: 2 x 5 x 8–10 Week 9: 2 x 6 x 6 Week 10: 2 x 5 x 5	**Fascicle length** NHE vs CG: mean difference = 2.40 cm, 95% CI 1.28 to 3.53 cm, d=2.19, p<0.001 HE vs CG: mean difference = 1.63 cm, 95% CI 0.51 to 2.76 cm, d=1.84, p=0.003) **Anatomic Cross-sectional area** NHE vs CG: mean difference = 3.67%, 95% CI −1.51% to 8.84%, d=1.07, p=0.245 HEE vs NHE: mean difference = 5.24%, 95% CI 0.061% to 10.41%, d=0.98, p=0.047
Mjolsnes 2016 [33]	22 (22:0), soccer players 11 NHE group 11 CG (*numero di soggetti randomizzati*)	Week 1: 1 x 2 x 5 Week 2: 2 x 2 x 6 Week 3: 3 x 3 x 6–8 Week 4: 3 x 3 x 8–10 Week 5–10: 3 x 3 x 12–10–8	Hamstring curl Week 1: 1 x 10 (RM test) Week 2: 2 x 2 x 6 Week 3: 3 x 3 x 6–8 Week 4: 3 x 3 x 8–12 Week 5–10: 3 x 3 x 8–12	**Forza** (isocinetico 60°$^{s-1}$) NHE: mean difference = Pre 240 Nm +/- 12 Nm, post 267 Nm +/- 13 Nm, P=0.001

Tabella 3: riassunto dei principali dati estratti dai singoli articoli. Relativamente agli outcome viene riportata la significatività statistica (p value) e l'effect size (d). NHE: nordic hamstring exercise CG: control group CLC: concentric leg curl ELC: eccentric leg curl HEE: hip extension exercise RHC: razor hamstring curl NHE_{AFT}: nhe dopo allenamento sul campo NHE_{BEF}: nhe prima di allenamento sul campo

La rivalutazione degli outcome è stata eseguita mediamente entro una settimana dalla fine del programma di intervento, nella maggior parte degli articoli; mentre in cinque articoli la tempistica non era chiaramente esplicitata[23][31][27][33][24].

La valutazione degli effetti di un allenamento basato sul NHE è stata fatta mediante comparazione fra gli outcome del gruppo di intervento e quelli del gruppo di controllo. In quattro articoli[17][26][4][33] non è stato possibile fare una comparazione statistica fra i gruppi perchè i dati riportati erano insufficienti; in questi casi è stata riportata unicamente la variazione mostrata dal gruppo di intervento.

Outcome funzionali

Forza

Dieci articoli valutavano la forza eccentrica degli hamstring con dinamometro isocinetico. La posizione utilizzata dai soggetti nei test differiva fra gli articoli. Nella maggior parte degli studi i soggetti erano seduti ad anca flessa intorno ai 90°[23][25][28][29], mentre per il ginocchio la posizione di partenza più utilizzata era a 90° di flessione[29][4][33]. La velocità angolare a cui veniva eseguito il test isocinetico differiva fra gli articoli, sebbene la maggior parte abbia utilizzato una velocità di 60°s^{-1} [17][28][29][30][33]. Inoltre, negli articoli di Delahunt et al.[31] e Sebelien et al.[24], la forza veniva misurata in un range articolare ridotto, rispettivamente trai i 90° e i 30° di flessione di ginocchio e tra i 60° e 20°.

Sei articoli confrontavano il NHE con un controllo costituito da allenamento abituale[23][25] nessuna attività fisica[30][31] o stretching con due differenti modalità, "PNF hamstring stretching"[24] (che consisteva nel portare in allungamento il muscolo, eseguire una contrazione isometrica e successivamente riportare in allungamento) e stretching statico[28]. In tutti si evidenzia un incremento statisticamente significativo della forza eccentrica a favore del gruppo di intervento.

Rispetto ad un controllo costituito dall'allenamento abituale, Siddle et al.[25] mostra un incremento statisticamente significativo e con ES molto ampio a favore del gruppo che eseguiva il NHE (mean difference: 29.46 Nm, 95% CI 15.54 to 43.37 Nm, P = 0.001, d = 2.55); i restanti due studi invece mostrano entrambi un incremento della forza, statisticamente significativo, rispetto allo stretching, sia PNF[24] (smd: 1.10 Nm; 95% CI 0.27 to 1.93 Nm) sia rispetto allo stretching statico[28] (smd: 1.05 Nm/kg, 95% IC 0.10 to 2.00 Nm/kg).

Uno studio[29] eseguiva la comparazione con un programma di rinforzo concentrico, non evidenziando incrementi della forza significativi a favore del NHE, che tuttavia non risulta statisticamente significativo.

Nei restanti quattro studi[17][4][33] in cui non è stato possibile fare una comparazione statistica fra i risultati dei gruppi, viene evidenziato un incremento statisticamente significativo della forza nel gruppo di intervento fra la baseline e la rivalutazione, con un ES da piccolo a moderato. In particolare, nello studio di Delextrat et al.[23] veniva riportata la comparazione intergruppo solo relativamente all'arto inferiore non dominante, risultando un incremento statisticamente significativo (mean difference = 12.9 Nm; 95% CI 3.1 to 20.4 Nm; p = 0.05; d = 0.73). Lovell et al.[4] evidenzia un incremento di circa 11% nei gruppi di intervento (NHE_{BEF}: mean change = +11.9%, 90% CI 3.6 to 20.9%, NHE_{AFT}: mean change = +11.6%, 90% CI 2.6 to 21.5%), mentre il gruppo che eseguiva esercizi di "core stability" non mostrava evidenti variazioni nella forza. Whyte et al.[17] mostrava invece un incremento statisticamente significativo della stessa sia nell'arto dominante sia in quello non dominante (arto dominante: media +/- SD = Pre 187.5 Nm +/- 59.1 Nm; Post 224.7 Nm +/- 60.6 Nm; p<.0001 d= 1.41; arto non dominante: media +/-SD = Pre 186.2 Nm +/- 50.5 Nm; Post 215.0 Nm +/- 60.1 Nm; p<.0001 d=1.27). Infine, un incremento statisticamente significativo era presente anche nello studio di Mjolsnes et al.[33] (mean difference = Pre 240 Nm +/- 12 Nm, post 267 Nm +/- 13 Nm, P=0.001).

<u>Outcome strutturali</u>

Per gli outcome strutturali ("fascicle length", "pennation angle" e "muscle thickness") la valutazione è stata fatta tramite indagine ecografica. Per stimare la lunghezza del fascicolo muscolare dalle immagini ecografiche, la maggior parte degli studi[22][26][29][30][4][32] utilizzava un'equazione trigonometrica, che era la seguente:

$$FL=\sin(AA+90°) \times MT/\sin(180°-(AA+180°-PA),$$

Dei restanti due studi, uno[27] utilizzava una metodica di estrapolazione lineare manuale, e uno[28] utilizzava una visione panoramica che consente di visualizzare tutto il fascicolo muscolare ("EFOV").

Fascicle length

Otto[22][26][27][28][29][30][4][32] tra gli articoli inclusi valutavano la "fascicle length", e di questi sei[22][27][28][29][30][32] eseguivano una comparazione intergruppo.

In due trial veniva rilevata la superiorità di un programma basato sul NHE rispetto a nessuna attività, in particolare sia nello studio di Ribeiro-Alvares et al.[30] (mean difference = 1.63 cm, 95% CI 1.07 to 2.19 cm) sia in quello di Bourne et al.[32], in quest'ultimo caso associato ad ES molto ampio (mean difference = 2.40 cm, 95% CI 1.28 to 3.53 cm, d=2.19, p<0.001). Un terzo autore invece non rilevava differenze confrontando il gruppo di intervento con un controllo che eseguisse un allenamento abituale di calcio[27], mentre un altro studio non mostrava variazioni significative rispetto al gruppo che eseguiva stretching statico[28].

Il NHE è stato messo a confronto con un programma di esercizio concentrico in altri due studi. Sia Timmins[29] (mean difference: 3.27 cm, 95% CI 3.05 to 3.49 cm) che Duhig e colleghi[22] (mean difference: 1.90 cm; 95% CI = 1.34–2.45 cm; p < 0.001; d = 2.57) hanno mostrato una maggior efficacia del programma eccentrico nell'aumentare la lunghezza del fascicolo muscolare; nel secondo caso in particolare l'effect size era molto ampio.

Nei restanti due articoli non è stato possibile fare la comparazione statistica dei risultati tra gruppi differenti. Lovell et al.[4] mostra un aumento con scarso ES nel gruppo in cui l'intervento era somministrato prima dell'allenamento sul campo, mentre non evidenzia differenze significative nel gruppo in cui l'intervento era somministrato dopo l'allenamento sul campo (NHE_{AFT}: mean change = −0.29 cm, 90% CI −1.70 to 1.11 cm; NHE_{BEF}: mean change = 1.58 cm, 90% CI 0.48 to 2.68 cm). Parimenti, Pollard et al.[26] non evidenziano effetti significativi dei protocolli di esercizio su questo outcome.

Pennation angle

Sette studi valutavano il "pennation angle". Cinque di questi eseguivano una comparazione intergruppo. Due autori mostrano una riduzione statisticamente significativa nel gruppo NHE rispetto al gruppo che non eseguiva nessuna attività[30] (mean difference = 2.23°, 95% CI 1.44° to 3.02°) o eseguiva stretching statico[28] (mean difference = -1.00°, 95% CI -1.96° to -0.04°). Mendiguchia e colleghi[27] al contrario, non hanno ottenuto differenze significative tra gruppo di intervento e gruppo di controllo che svolgeva solo l'usuale allenamento di calcio.

Anche per quanto riguarda il confronto con protocolli di esercizio concentrico, due articoli sono invece concordi nel mostrare una riduzione di questo outcome nel gruppo di intervento, precisamente Timmins et al.[29] (mean difference = 3.55°, 95% CI 3.24 to 3.86°) e Duhig et al.[22] (mean difference: 2.52◦; 95% CI = 1.60–3.45°; p < 0.001; d = 2.07).

I restanti due articoli non eseguivano la comparazione fra gruppi. Lovell et al.[4] dimostrava un cambiamento dell'angolo di pennazione solo nel gruppo in cui il protocollo di esercizi veniva eseguito prma dell'allenamento (NHE_{AFT}: mean change = 1.03°, 90% CI −0.08 to 2.14°; NHE_{BEF}: mean change = −1.47°, 90% CI −2.37 to −0.58°); Pollard et al.[26] non evidenziava invece alcun effetto.

Cross-sectional area e muscle thickness

Per quanto riguarda il volume muscolare due studi valutavano la "cross-sectional area" (fisiologica o anatomica), uno[32] eseguiva anche una comparazione intergruppo. Lo studio di Bourne et al.[32] mostra un incremento della "anatomical cross-sectional area", definita come la zona di tessuto valutata perpendicolarmente all'asse longitudinale del muscolo del capo lungo del bicipite femorale, non statisticamente significativo tra gruppo di intervento e di controllo (i.e. attività abituale) (mean difference = 3.67%, 95% CI −1.51% to 8.84%, d=1.07, p=0.245) e , sopratutto, il confronto un'altra tipologia di esercizio, "hip extension exercise", risultava statisticamente a favore di quest'ultimo con ES moderato (mean difference: 5.24%, 95% CI 0.061% to 10.41%, d=0.98, p=0.047). Seymore et al.[28] evidenziava un aumento della "physiological cross-sectional area", definita come il volume muscolare diviso per la lunghezza del fascicolo, statisticamente significativa tra la baseline e la rivalutazione nel gruppo di intervento (media +/- SD = Pre 16.08 cm^2± 6.43 cm^2; Post 18.05 cm^2 ± 7.33 cm^2; p < 0.05).

In sei studi veniva valutata la "muscle thickness", definita come la distanza tra l'aponeurosi superficiale e intermedia del capo lungo del bicipite femorale. Comparando il NHE in confronto a tipologie di allenamento concentrico, solo in un articolo[29] l'aumento risultava statisticamente significativo (mean difference = 0.08 cm, 95% CI 0.02 to 0.14 cm), mentre in quello di Duhig et al.[22] non si evidenziavano differenze. Allo stesso modo, altri due autori[27][30] non hanno ottenuto risultati significativi confrontando il gruppo di intervento con un controllo costituito dall'attività/allenamento abituale.

Nei restanti due studi dove non è stato possibile valutare i risultati integruppo, Pollard et al.[26] non mostra alcuna variazione statisticamente significativa, mentre Lovell et al.[4]

mostra una differenza con scarso ES solo nel gruppo che eseguiva l'intervento dopo l'allenamento in campo (NHE_{AFT}: mean change = +0.17 cm, 90% CI 0.05 to 0.29 cm; NHE_{BEF}: mean change = −0.07 cm, 90% CI −0.17 to 0.03 cm).

DISCUSSIONE

Lo scopo di questa revisione era quello di indagare gli effetti prodotti da un programma di allenamento basato sul NHE sulla forza e sull'architettura del gruppo muscolare degli hamstring, valutandone quelle che potrebbero essere le ricadute cliniche.

Sono stati valutati due tipi di outcome: funzionali, cioè la forza eccentrica, e strutturali, cioè "fascicle length", "pennation angle", "cross-sectional area" e "muscle thickness".

I risultati suggeriscono che un programma di intervento incentrato sulla somministrazione di un protocollo basato sul NHE possa intervenire sui fattori di rischio associati ad HSI, favorendo un incremento della forza eccentrica degli hamstring e inducendo degli adattamenti strutturali.

Outcome funzionali

Quasi tutti gli articoli analizzati mostrano l'efficacia di un protocollo basato sul NHE al fine di incrementare la forza eccentrica degli hamstring. In particolare il NHE si è rivelato più efficace nei confronti di gruppi di controllo che non performavano alcun esercizio di rinforzo (stretching o nessuna attività) mentre, come mostra lo studio di Timmins et al.[29], non ci sono dati che ne dimostrino una superiorità nei confronti di un programma di rinforzo basato sull'allenamento concentrico.

Un importante aspetto è che, nonostante i protocolli di allenamento inclusi nella revisione non fossero omogenei dal punto di vista della lunghezza (i.e. variabili dalle 4 alle 10 settimane), producevano risultati simili sulla forza eccentrica. È possibile ipotizzare che questo sia dovuto al fatto che in una prima fase gli aumenti di forza siano dovuti principalmente ad adattamenti neurali, e solo successivamente si instaurino cambiamenti strutturali. E' stato proposto che l'incremento di attivazione muscolare successivo ad un allenamento eccentrico sia il risultato di una maggior eccitabilità muscolare[34], un reclutamento preferenziale delle fibre muscolari di tipo II[35], e di una ottimizzazione del numero e della sincronizzazione della unità motorie reclutate[36].

L'aumento di forza eccentrica costituisce un fattore protettivo nei confronti delle lesioni muscolari degli hamstring (HSI): si ritiene che questo possa essere dovuto al miglior controllo muscolare e la rapidità di attivazione durante la contrazione eccentrica, che

consentirebbero di evitare in ultima analisi l'over-stretching del muscolo e la sua conseguente lesione[37]. Inoltre, alcuni autori[4][23] indicano che il NHE determini uno spostamento del picco di forza eccentrica degli hamstring verso lunghezze muscolari maggiori, che sono quelle in cui si ritiene si verifichino più frequentemente le lesioni di questo gruppo muscolare. Questo costituirebbe un ulteriore fattore protettivo in un'ottica di prevenzione nei confronti di HSI[38]. A questo proposito, è necessario anche considerare come sia stato dimostrato che atleti che abbiano subito lesione dei muscoli ischiocrurali presentino una ridotta attivazione del bicipite femorale[39]. E' quindi ragionevole ritenere che un programma di rinforzo eccentrico basato sul NHE possa essere utile non solo come prevenzione, ma anche nel trattamento di postumi di HSI per incrementare l'attivazione e la forza degli hamstring.

La misurazione della forza in gran parte degli studi selezionati è stata ottenuta tramite dinamometro isocinetico (IKD). Il test isocinetico è ritenuto il gold standard per la valutazione della forza[40], anche se la sua utilità predittiva rispetto all'identificazione di soggetti a rischio di lesione muscolare è dibattuta, in quanto non sarebbe in grado di riprodurre le condizioni dinamiche in cui si verifica la lesione[41][42]. Inoltre alcuni studi mostrano risultati contrastanti sulla misurazione della forza eccentrica fra dinamometro isocinetico e altri dispositivi (come il Nordi Hamstring Device, i.e. NHD[43]), in particolare in questi ultimi i valori di forza risulterebbero più bassi rispetto a quelli misurati con dinamometro. Questo effetto si ritiene possa essere spiegato dall'influenza esercitata dalla posizione dell'anca tenuta durante il test di forza e dai conseguenti suoi effetti sulla relazione tra lunghezza e tensione muscolare[43]. La posizione più comune che viene fatta assumere ai soggetti durante i test con dinamometro è in flessione d'anca, questo porterebbe a un aumento della lunghezza muscolare durante il test e conseguentemente ad un aumento della forza eccentrica registrata[43].

La posizione utilizzata dai soggetti nei test differiva fra gli articoli. Nella maggior parte degli studi i soggetti erano seduti ad anca flessa intorno ai 90°, solo negli studi di Whyte et al.[17], Delahunt et al.[31] e Mjolnes et al.[33] veniva utilizzata una flessione maggiore, compresa fra 100 e 120°. Per il test la posizione di partenza più utilizzata è con ginocchio flesso a 90°, negli studi di Sebelien et al.[24] e Ribeiro-Alvares et al.[30] la valutazione veniva eseguita ad un minor angolo di flessione . Anche la velocità angolare differiva fra gli articoli, la maggior parte utilizzava una velocità di $60°s^{-1}$ [17][28][29][30][33].

Quello che emerge è l'assenza di una posizione e di una velocità angolare standard da utilizzare per la rilevazione della forza e, considerando gli effetti che ciò potrebbe avere sul

risultato del test, potrebbe costituire un fattore confondente, in particolare quando si confrontano i dati raccolti da studi diversi. Per rendere la misura più affidabile occorrerebbe standardizzare il posizionamento dei soggetti nel test di forza eseguito tramite dinamometro isocinetico.

Outcome strutturali

Fascicle length

Degli otto articoli inclusi, solo sei hanno analizzato la differenza tra gruppo di intervento e gruppo di controllo. Di questi, quattro[22][29][30][32] hanno evidenziato una maggior efficacia del nordic hamstring nell'aumentare la lunghezza del fascicolo muscolare del bicipite femorale; al contrario, altri due autori[27][28] non hanno rilevato differenze significative tra i due gruppi.

L'unico articolo che mostrava dati contrastanti era quello di Lovell et al.[4], che mostrava risultati opposti fra i due gruppi di intervento che performavano il protocollo basato sul NHE prima o dopo l'allenamento sul campo, con una riduzione della "fascicle length" nel gruppo "NHE$_{AFTER}$". Questo risultato potrebbe essere dovuto alla difficoltà nell'eseguire in modo ottimale un programma di rinforzo dopo una sessione di allenamento sul campo; inoltre anche la compliance rispetto all'adesione al trattamento risultava bassa nei gruppi inficiandone i risultati.

Un programma basato sul NHE risulta quindi efficace nel determinare un incremento di questo outcome sia rispetto ai gruppi di controllo sia rispetto ad altre tipologie di allenamento, in particolare se paragonato a programmi di allenamento concentrico che, al contrario, ne determinano una riduzione[22][29]. Questa variazione è data da un aumento dei sarcomeri in serie, ed è ritenuto un importante fattore nelle lesioni degli hamstring. I meccanismi attraverso cui ciò avviene non sono completamente noti. E' stato proposto che questo incremento sia associato ad uno spostamento verso destra nel rapporto forza-lunghezza muscolare, riducendo la suscettibilità alle lesioni muscolari[44]. Un'altra possibile spiegazione è che l'allungamento del fascicolo produca un aumento nella capacità di sopportare l'allungamento[45], riducendo lo stress sui sarcomeri nelle attività fisiche ad alta intensità, quando gli hamstring sono attivati in allungamento[44][46].

L'incremento della "fascicle length" è ritenuto un fattore preventivo importante rispetto al rischio di incorrere in HSI, sebbene le evidenze a supporto siano comunque

limitate. Si stima che calciatori professionisti con una "fascicle length" del bicipite femorale inferiore a 10.56 cm abbiano un rischio di incorrere in lesioni muscolari quadruplicato rispetto ad atleti con un valore maggiore; parallelamente si stima che il rischio decresca di circa il 74% ogni 0.5 cm di incremento[8].

Relativamente alla tecnica di misurazione dell'outcome strutturale, è necessario sottolineare come la valutazione in quasi tutti gli articoli inclusi sia stata fatta tramite un ecografo con le seguenti specifiche: 12 MHz, depth 8 cm, field of view 14 x 47 mm. Piccole variazioni si trovano negli studi di Lovell et al.[4] e Ribeiro-Alvares et al,[30] mentre Seymore et al.[28] non riportava le caratteristiche dell'ecografo.

La lunghezza reale del fascicolo viene stimata indirettamente tramite una formula trigonometrica, dato che la porzione visibile dei fascicoli del capo lungo del bicipite femorale è compresa fra il 30 e il 50% della lunghezza totale[47][48]. Questa modalità è stata però recentemente criticata per il possibile errore che potrebbe ripercuotersi sui risultati. L'equazione utilizzata negli studi di Duhig et al.[22], Pollard et al.[26], Timmins et al.[29], Ribeiro-Alvares et al.[30], Bourne et al.[32] e Lovell et al. [4] al fine di ottenere la "fascicle length" era la seguente:

FL=sin (AA+90°) x MT/sin(180°-(AA+180°-PA),

AA = aponeurosis angle, MT = muscle thickness and PA = pennation angle

Questo costituisce una prima possibile fonte di errore e confondimento nelle misurazioni fatte, ed è riconducibile a tre cause: la non considerazione della curvatura delle fibre e dell'aponeurosi; il considerare l'architettura muscolare omogenea, senza tener conto di eventuali differenze strutturali prossimo-distali; il non considerare l'influenza sui risultati data dalla variazione del "pennation angle".

Mettendo in comparazione il metodo di stima indiretto con l'utilizzo di altre tecniche, come la "EFOV" (una tecnica di scansione panoramica del muscolo), ciò che emerge è che i risultati potrebbero essere affetti da una sovrastima fino a 2 centimetri, che in parte ridimensiona gli importanti incrementi riportati[49].

Quindi, alla luce delle possibili criticità evidenziate, i risultati ottenuti vanno letti criticamente, tenendo conto dei possibili errori di stima insiti nel metodo di misurazione.

Pennation angle

Quasi tutti gli articoli analizzati mostrano una riduzione del "pennation angle" al termine del programma basato sul NHE. La riduzione si evidenzia rispetto al confronto con i vari gruppi di controllo, con l'eccezione dello studio di Mendiguchia et al. [27], i cui risultati peraltro non statisticamente significativi, potrebbero essere stati influenzati dall'esecuzione dell'esercizio in una condizione di affaticamento dopo l'allenamento sul campo. Infine risultati omogenei emergono da entrambi gli articoli[30][22] che facevano un confronto con tipologie di allenamento concentrico, essendo concordi nel mostrare una maggior efficacia del NHE nella diminuzione del "pennation angle". Risultati contrastanti emergono dallo studio di Lovell et al.[4], in cui occorre tenere presente le criticità già discusse nella sezione relativa alla "fascicle length", mentre uno studio[24] mostra risultati statisticamente non significativi.

Per quanto riguarda la misura del "pennation angle" tramite ecografia occorre ricordare che essa risulta influenzata a seconda del punto del muscolo in cui viene fatta la misurazione, risultando minore se rilevata in prossimità della giunzione miotendinea distale rispetto alla stessa rilevazione in prossimità del ventre muscolare[49]. Gli articoli presi in esame risultavano omogenei per quanto riguarda la metodologia utilizzata, con rilevazione a livello del ventre muscolare.

Studi su atleti professionisti e l'incidenza di HSI hanno dimostrato un incremento del "pennation angle" nell'arto inferiore che ha subito la lesione in confronto a quello non infortunato, per questo motivo un incremento di questo parametro è ritenuto un fattore che può incrementare il rischio di re-infortunio[50]. Inoltre l'incremento del pennation angle, associabile ad un incremento di ipertrofia muscolare, sarebbe associato ad un accorciamento della "fascicle length"[51].

Cross-sectional area e muscle thickness

Solo due studi, Seymore et al.[28] e Bourne et al.[32], valutavano come outcome la "cross-sectional area": solo nel primo caso veniva evidenziato un aumento di questo outcome nel gruppo di intervento.

Nei restanti studi, per valutare l'ipertrofia eventualmente prodotta non veniva misurata la "cross-sectional area", ma veniva fatta una valutazione indiretta attraverso la "muscle thickness" rilevata tramite indagine ecografica.

Nelle ultime decadi l'introduzione di nuove metodiche di imaging come la risonanza magnetica o la tomografia computerizzata (CT) hanno consentito di rivoluzionare le tecniche di misurazione della massa muscolare. In particolare la risonanza magnetica (i.e. MRI, "magnetic resonance imaging") è ritenuta il gold standard per la valutazione morfometrica del sistema muscolo-scheletrico, sia in ambito clinico che di ricerca[52]. Tuttavia queste metodiche non sempre sono applicabili per gli alti costi (MRI) o per l'esposizione dei soggetti a radiazioni ionizzanti (CT); per questo motivo gli ultrasuoni rimangono uno strumento valido per quantificare la massa muscolare. Diversi studi mostrano infatti una correlazione positiva fra la "muscle thickness" (i.e. MT) misurata con indagine ecografica tramite modalità B-mode e l'"anatomical cross-sectional area" (i.e. ACSA) misurata tramite MRI. Come nel caso dello studio di Franchi et al.[53] che mostra una correlazione significativa fra l'incremento della MT e l'incremento della ACSA del vasto laterale dopo l'applicazione di un protocollo di rinforzo muscolare.

I dati relativi alla "muscle thickness" non consentono di ritenere il NHE uno strumento superiore ad altri nell'incrementare questo specifico outcome, infatti solo uno studio[29] dimostra una superiorità rispetto all'allenamento concentrico. Nei restanti studi i risultati, non statisticamente significativi, non consentono di evidenziare la maggior efficacia di un protocollo basato su questa tipologia di esercizio, rispetto ad altre tipologie di intervento[22] o ai vari controlli[27][30].

Analogamente a quanto detto per la misurazione del "pennation angle" tramite ecografia anche la misura della "muscle thickness" risulta influenzata a seconda del punto del muscolo in cui viene fatta la misurazione[49], e quindi anch'essa suscettibile di errori nella sua interpretazione.

Gli incrementi della "cross sectional area", soprattutto nei due studi che la misuravano direttamente come outcome[26][29], sono suggestivi di un'ipertrofia muscolare. Tuttavia i dati non consentono di trarre conclusioni certe sull'efficacia del NHE rispetto alla capacità di incrementare la "cross-sectional area". Questo perchè solo in due studi si registrava direttamente l'outcome desiderato e solo in uno l'incremento risultava statisticamente significativo. Ulteriori studi che valutino gli effetti misurando direttamente questo outcome sarebbero quindi necessari per poter valutare gli effetti del NHE sull'ipertrofia. I risultati sulla "muscle thickness" sono anch'essi deboli, infatti solo uno studio[29] riporta un incremento statisticamente significativo, non consentendo di trarre conclusioni certe.

Occorre ricordare che nonostante l'ipertrofia non è ritenuta il principale fattore di rischio[8], molti soggetti dopo una lesione presentano atrofia e ridotta attivazione dei muscoli coinvolti[54]. Quindi diventa un obiettivo del programma di riabilitazione lavorare su questi deficit, tuttavia i risultati ottenuti, nonostante sembrino poter suggerire che un programma di rinforzo eccentrico possa essere utile, sono ancora deboli e limitate per potergli attribuire una efficacia certa.

Limitazioni

Vi sono alcuni limitazioni che potenzialmente riducono la validità dei risultati. Innanzitutto, dai trials esaminati emerge l'assenza di un protocollo unitario e omogeneo di allenamento, il risultato è rispecchiato dal fatto che gli studi inclusi risultano eterogenei sia sulla durata del programma di intervento sia sulla dose, con alcuni studi che eseguivano un elevato volume allenante mentre altri optavano per un volume decisamente minore. Inoltre gli studi differivano fra loro anche per la tipologia di intervento con cui veniva confrontato il NHE, sia nei casi in cui si optava per un gruppo di controllo (che non svolgesse alcuna attività, continuasse con la normale routine di allenamento o svolgesse stretching) sia nel confronto con altre forme di allenamento di rinforzo (concentrico, eccentrico, "core stability"). Infine anche la ridotta numerosità campionaria degli studi ne riduce la potenza statistica.

CONCLUSIONI

In conclusione, è ragionevole ritenere che l'allenamento eccentrico sia efficace nell'indurre degli adattamenti sia funzionali (con riferimento alla forza eccentrica) sia strutturali sull'architettura muscolare degli hamstring. I risultati sono coerenti con altri studi presenti in letteratura su questo determinato argomento[55].

Ciò lo rende un valido strumento da utilizzare con finalità preventive, riducendo il rischio di HSI, grazie alla sua capacità nell'aumentare la forza eccentrica e la "fascicle length" e nel ridurre il "pennation angle". Inoltre si rivela utile nella pratica clinica anche nel trattamento delle lesioni muscolari, grazie agli effetti positivi sopratutto sulla forza, mentre sono più limitati quelli sull'ipertrofia, in quanto tali parametri potrebbero risultare deficitari post-infortunio, rendendo quindi necessario intervenire su questi aspetti nei programmi riabilitativi, al fine di pervenire ad un pieno recupero funzionale.

D'altra parte, nonostante queste prove di efficacia a favore del NHE, esso non va considerato come una panacea per le lesioni degli hamstring. Infatti occorre ricordare le criticità connesse alla misurazione degli outcome di interesse, motivo per il quale gli importanti aumenti registrati in molti studi risultano probabilmente sovrastimati per via delle metodiche utilizzate. In assenza ancora di un "gold standard", con particolare riferimento alla misura degli outcome strutturali, in particolare per la stima della "fascicle length" o metodiche standardizzate, con riferimento alla posizione da far assumere ai soggetti per il test di forza, andrebbero condotti trial più robusti per poter ottenere i risultati più attendibili possibili e meglio valutare l'impatto effettivo dell'allenamento sulle variabili strutturali che costituiscono principale fattore di rischio per lesioni muscolari.

Data la capacità di questo tipo di allenamento di determinare degli adattamenti positivi sulla forza e sull'architettura muscolare, in particolare su parametri che qualora risultassero deficitari sono associati ad un incremento del rischio di lesioni muscolari, sembrerebbe opportuna la sua adozione, a fini preventivi, soprattutto in quegli sport che richiedono frequenti scatti e risultano quindi più a rischio. Tuttavia nonostante ciò i dati mostrano che l'aderenza registrata a piani di prevenzione, basati sul NHE, da parte di società sportive professionistiche di èlite è molto bassa, ad esempio studi su società calcistiche mostrano che più dell'83% dei club indagati non era aderente al programma di allenamento[56][57]. Una motivazione che potrebbe spiegare questi riscontri, apparentemente inspiegabili, fra

l'efficacia dell'adozione di un protocollo basato sul NHE sulla riduzione degli infortuni muscolari agli hamstring e la scarsa aderenza mostrata nello sport di èlite potrebbe risiedere nel fatto che spesso venivano proposti protocollo di intervento ad "alto volume", cioè con elevato numero di ripetizioni nel corso delle settimane, con conseguente elevata incidenza dell'effetto DOMS e sulla fatica percepita[58]. Tuttavia i risultati di questa revisione mostrano che anche un basso dosaggio di allenamento eccentrico, con protocolli più brevi e un minor numero di ripetizioni, è in grado di intervenire sulle variabili connesse con l'incidenza di HSI, come dimostrato dai dati sovrapponibili fra studi che utilizzavano protocolli di 4-6 settimane e studi che utilizzavano protocolli più lunghi, anche superiori alle 10 settimane. Questo dato potrebbe essere utile, contribuendo ad innalzare il livello di compliance e adesione, sopratutto in quegli sport in cui il la frequenza di infortunio è maggiore, come appunto il calcio.

Anche la qualità degli studi costituisce una limitazione, perchè spesso il design e la conduzione dello studio presentavano delle lacune, sopratutto nell'esplicitazione del processo di randomizzazione, nel monitoraggio sul gruppo di controllo, affinchè seguisse quanto indicato per non inficiare i risultati, e nell'esecuzione di un'analisi statistica di tipo "intentio-to-treat", che spesso non risultava eseguita.

La più grande limitazione però è legata ai limiti intrinseci nella rilevazione degli outcome strutturali. Questo soprattutto in relazione alla "fascicle length". Infatti nei trial analizzati la metodica di indagine ecografica utilizzata non è più ritenuta affidabile, alla luce dei recenti studi in merito, ed andrebbe quindi sostituita con metodiche che limitino la possibile sovrastima dei risultati e consentano di ottenere risultati più aderenti alla realtà, come la metodica "EFOV".

Infine in questa revisione sono stati presi in considerazioni solo gli outcome strutturali del solo capo lungo del bicipite femorale. Questo poichè si stima che l'80% delle lesioni di questo gruppo muscolare sono a carico di questa porzione[7][59], e ciò comporta un maggior interesse e una maggior numerosità di articoli scientifici riguardo alla valutazione di questo muscolo rispetto al capo-breve, al semimembranoso e al semitendinoso. Ciò d'altra parte potrebbe costituire una limitazione, in quanto costituisce solo una parte del gruppo muscolare degli hamstring.

TAKE HOME MESSAGE

-NHE è in grado di indurre degli adattamenti strutturali e funzionali, quindi potrebbe essere utile sia in una fase di prevenzione sia in un programma di trattamento delle lesioni muscolari

-limitazioni nell'affidabilità dei metodi di rilevamento degli outcome

-NHE non va ritenuto una panacea perchè probabilmente i risultati dei trial sono sovrastimati

-servono trial più robusti per avere una stima più precisa dei reali effetti indotti dall'allenamento

BIBLIOGRAFIA

1. Stępień K, Śmigielski R, Mouton C, Ciszek B, Engelhardt M, Seil R. Anatomy of proximal attachment, course, and innervation of hamstring muscles: a pictorial essay. Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc [Internet]. 2019;27(3):673–84. Available from: http://dx.doi.org/10.1007/s00167-018-5265-z

2. Ahmad CS, Redler LH, Ciccotti MG, Maffulli N, Longo UG, Bradley J. Evaluation and management of hamstring injuries. Am J Sports Med. 2013;41(12):2933–47.

3. Bejui J, Walch G, Gonon GP, Carret JP, Neidhardt JH, Fischer LP. Anatomical and functional study on the musculus semimembranosus. Anat Clin. 1984;6(3):215–23.

4. 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 Sport. 2018;28(2):658–66.

5. Hauge Engebretsen A, 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. 2010;38(6):1147–53.

6. Henderson G, Barnes CA, Portas MD. Factors associated with increased propensity for hamstring injury in English Premier League soccer players. J Sci Med Sport [Internet]. 2010;13(4):397–402. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2009.08.003

7. Opar DA, Williams MD, Timmins RG, Hickey J, Duhig SJ, Shield AJ. Eccentric hamstring strength and hamstring injury risk in Australian footballers. Med Sci Sports Exerc. 2015;47(4):857–65.

8. Timmins RG, Bourne MN, Shield AJ, Williams MD, Lorenzen C, Opar DA. Short biceps femoris fascicles and eccentric knee flexor weakness increase the risk of hamstring injury in elite football (soccer): A prospective cohort study. Br J Sports Med. 2016;50(24):1524–35.

9. Lieber RL, Fridén J. Functional and Clinical Significance. Muscle Nerve. 2000;23(November):1647–66.

10. Askling CM, Tengvar M, Tarassova O, Thorstensson A. Acute hamstring injuries in Swedish elite sprinters and jumpers: A prospective randomised controlled clinical trial comparing two rehabilitation protocols. Br J Sports Med. 2014;48(7):532–9.

11. Pas HIMFL, Reurink G, Tol JL, Weir A, Winters M, Moen MH. Efficacy of rehabilitation (lengthening) exercises, platelet-rich plasma injections, and other conservative interventions in acute hamstring injuries: An updated systematic review and meta-analysis. Br J Sports Med. 2015;49(18):1197–205.

12. Van Dyk N, Behan FP, Whiteley R. Including the Nordic hamstring exercise in injury prevention programmes halves the rate of hamstring injuries: A systematic review and meta-analysis of 8459 athletes. Br J Sports Med. 2019;(August 2018):1362–70.

13. Bizzini M, Dvorak J. FIFA 11+: An effective programme to prevent football injuries in various player groups worldwide - A narrative review. Br J Sports Med. 2015;49(9):577–9.

14. Owoeye OBA, Akinbo SRA, Tella BA, Olawale OA. Efficacy of the FIFA 11+ Warm-Up Programme in Male Youth Football: A Cluste...: EBSCOhost. J Sport Sci Med [Internet]. 2014;(December 2013):321–8. Available from: http://web.a.ebscohost.com.ezproxy.library.unlv.edu/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=3&sid=66859ceb-8540-4bf1-a8c3-dc4fb95c5ac6%40sessionmgr4002&hid=4106

15. Silvers-Granelli H, Mandelbaum B, Adeniji O, Insler S, Bizzini M, Pohlig R, et al. Efficacy of the FIFA 11+ injury prevention program in the collegiate male soccer player. Am J Sports Med. 2015;43(11):2628–37.

16. Mendiguchia J, Alentorn-Geli E, Brughelli M. Hamstring strain injuries: Are we heading in the right direction? Br J Sports Med. 2012;46(2):81–5.

17. Whyte EF, Heneghan B, Feely K, Moran KA, O'Connor S. The Effect of Hip Extension and Nordic Hamstring Exercise Protocols on Hamstring Strength. J Strength Cond Res. 2019;1.

18. www.prisma-statement.org

19. www.gimbe.org

20. Smart NA, Waldron M, Ismail H, Giallauria F, Vigorito C, Cornelissen V, et al. Validation of a new tool for the assessment of study quality and reporting in exercise training studies: TESTEX. Int J Evid Based Healthc. 2015;13(1):9–18.

21. Hopkins WG. Linear Models and Effect Magnitudes for Research , Clinical and Practical Applications. 2012;(October):49–57.

22. Duhig SJ, Bourne MN, Buhmann RL, Williams MD, Minett GM, Roberts LA, et al. Effect of concentric and eccentric hamstring training on sprint recovery, strength and muscle architecture in inexperienced athletes. J Sci Med Sport [Internet]. 2019;22(7):769–74. Available from: https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.01.010

23. Delextrat A, Bateman J, Ross C, Harman J, Davis L, Vanrenterghem J, et al. Changes in Torque-Angle Profiles of the Hamstrings and Hamstrings-to-Quadriceps Ratio After Two Hamstring Strengthening Exercise Interventions in Female Hockey Players. J strength Cond Res. 2020;34(2):396–405.

24. Sebelien C, Stiller CH, Maher SF, Qu X. Effects of Implementing Nordic Hamstring Exercises for Semi-professional Soccer Players in Akershus, Norway. Orthop Phys Ther Pract [Internet]. 2014;26(March):90–7. Available from: http://myaccess.library.utoronto.ca/login?url=http://search.ebscohost.com.myaccess.library.utoronto.ca/login.aspx?direct=true&db=cin20&AN=2012551806&site=ehost-live

25. Siddle J, Greig M, Weaver K, Page RM, Harper D, Brogden CM. Acute adaptations and subsequent preservation of strength and speed measures following a Nordic hamstring curl intervention: a randomised controlled trial. J Sports Sci [Internet]. 2019;37(8):911–20. Available from: https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1535786

26. Pollard CW, Opar DA, Williams MD, Bourne MN, Timmins RG. Razor hamstring curl and Nordic hamstring exercise architectural adaptations: Impact of exercise selection and intensity. Scand J Med Sci Sport. 2019;29(5):706–15.

27. Mendiguchia J, Conceição F, Edouard P, Fonseca M, Pereira R, Lopes H, et al. Sprint versus isolated eccentric training: Comparative effects on hamstring architecture and performance in soccer players. PLoS One. 2020;15(2):1–19.

28. Seymore KD, Domire ZJ, DeVita P, Rider PM, Kulas AS. The effect of Nordic hamstring strength training on muscle architecture, stiffness, and strength. Eur J Appl Physiol. 2017;117(5):943–53.

29. Timmins R, Ruddy J, Presland J, Maniar N, Shield A, Williams M, et al. Architectural Changes of the Biceps Femoris After Concentric or Eccentric Training. Med Sci Sports Exerc. 2015 Oct 13;48.

30. Alvares J, Marques V, Vaz M, Baroni B. Four Weeks of Nordic Hamstring Exercise Reduce Muscle Injury Risk Factors in Young Adults. J Strength Cond Res. 2017 Apr 1;32:1.

31. Delahunt E, McGroarty M, De Vito G, Ditroilo M. Nordic hamstring exercise training alters knee joint kinematics and hamstring activation patterns in young men. Eur J Appl Physiol. 2016;116(4):663–72.

32. Bourne MN, Duhig SJ, Timmins RG, Williams MD, Opar DA, Al Najjar A, et al. Impact of the Nordic hamstring and hip extension exercises on hamstring architecture and morphology: Implications for injury prevention. Br J Sports Med. 2017;51(5):469–77.

33. 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. 2004 Nov 1;14:311–7.

34. Duclay J, Martin A, Robbe A, Pousson M. Spinal Reflex Plasticity during Maximal Dynamic Contractions after Eccentric Training. Med Sci Sports Exerc. 2008 May 1;40:722–34.

35. Hortobágyi T, Hill JP, Houmard JA, Fraser DD, Lambert NJ, Israel RG. Adaptive responses to muscle lengthening and shortening in humans. J Appl Physiol. 1996;80(3):765–72.

36. Aagaard P. Training-Induced Changes in Neural Function. Exerc Sport Sci Rev. 2003 May 1;31:61–7.

37. Opar DA, Williams MD, Timmins RG, Dear NM, Shield AJ. Knee flexor strength and bicep femoris electromyographical activity is lower in previously strained hamstrings. J Electromyogr Kinesiol [Internet]. 2013;23(3):696–703. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.11.004

38. Guex K, Millet GP. Conceptual framework for strengthening exercises to prevent hamstring strains. Sports Med. 2013 Dec;43(12):1207–15.

39. Daly C, Mccarthy Persson U, Twycross-Lewis R, Woledge RC, Morrissey D. The biomechanics of running in athletes with previous hamstring injury: A case-control study. Scand J Med Sci Sport. 2016 Apr 1;26(4):413–20.

40. Opar DA, Piatkowski T, Williams MD, Shield AJ. A novel device using the nordic hamstring exercise to assess eccentric knee flexor strength: A reliability and retrospective injury study. J Orthop Sports Phys Ther. 2013;43(9):636–40.

41. Green B, Bourne MN, Pizzari T. Isokinetic strength assessment offers limited predictive validity for detecting risk of future hamstring strain in sport: A systematic review and meta-analysis. Br J Sports Med. 2018;52(5):329–36.

42. Van Dyk N, Bahr R, Burnett AF, Whiteley R, Bakken A, Mosler A, et al. A comprehensive strength testing protocol offers no clinical value in predicting risk of hamstring injury: A prospective cohort study of 413 professional football players. Br J Sports Med. 2017;51(23):1695–702.

43. Wiesinger HP, Gressenbauer C, Kösters A, Scharinger M, Müller E. Device and method matter: A critical evaluation of eccentric hamstring muscle strength assessments. Scand J Med Sci Sport. 2020;30(2):217–26.

44. Proske U, Morgan DL. Tjp0537-0333. 2001;333–45.

45. Butterfield TA, Herzog W. Quantification of muscle fiber strain during in vivo repetitive stretch-shortening cycles. J Appl Physiol. 2005;99(2):593–602.

46. Morgan DL. New insights into the behavior of muscle during active lengthening. Biophys J [Internet]. 1990;57(2):209–21. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/S0006-3495(90)82524-8

47. Franchi M V., Raiteri BJ, Longo S, Sinha S, Narici M V., Csapo R. Muscle Architecture Assessment: Strengths, Shortcomings and New Frontiers of in Vivo Imaging Techniques. Ultrasound Med Biol. 2018;44(12):2492–504.

48. Pimenta R, Blazevich AJ, Freitas SR. Biceps femoris long-head architecture assessed using different sonographic techniques. Med Sci Sports Exerc. 2018;50(12):2584–94.

49. Franchi M V., Fitze DP, Raiteri BJ, Hahn D, Spörri J. Ultrasound-derived biceps femoris long head fascicle length: Extrapolation pitfalls. Med Sci Sports Exerc. 2020;52(1):233–43.

50. Timmins RG, Shield AJ, Williams MD, Lorenzen C, Opar DA. Biceps femoris long head architecture: A reliability and retrospective injury study. Med Sci Sports Exerc. 2015;47(5):905–13.

51. Potier T, Alexander C, Seynnes O. Effects of eccentric strength training on biceps femoris muscle architecture and knee joint range of movement. Eur J Appl Physiol. 2009 Apr 1;105:939–44.

52. Ross R, Pedwell H, Rissanen J. Effects of energy restriction and exercise on skeletal muscle and adipose tissue in women as measured by magnetic resonance imaging. Am J Clin Nutr [Internet]. 1995 Jun 1;61(6):1179–85. Available from: https://doi.org/10.1093/ajcn/61.6.1179

53. Franchi M V., Longo S, Mallinson J, Quinlan JI, Taylor T, Greenhaff PL, et al. Muscle thickness correlates to muscle cross-sectional area in the assessment of strength training-induced hypertrophy. Scand J Med Sci Sport. 2018;28(3):846–53.

54. Silder A, Heiderscheit BC, Thelen DG, Enright T, Tuite MJ. MR observations of long-term musculotendon remodeling following a hamstring strain injury. Skeletal Radiol. 2008;37(12):1101–9.

55. Gérard R, Gojon L, Decleve P, Van Cant J. Eccentric Training and Biceps Femoris Architecture and Strength: A Systematic Review With Meta-Analysis. J Athl Train. 2020;55(5).

56. Behan F, Timmins RG, OPar D. The architecture of a hamstring strain injury. Aspetar Sport Med J. :40–3.

57. 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. 2015 Nov;49(22):1466–71.

58. Cuthbert M, Ripley N, McMahon JJ, Evans M, Haff GG, Comfort P. The Effect of Nordic Hamstring Exercise Intervention Volume on Eccentric Strength and Muscle Architecture Adaptations: A Systematic Review and Meta-analyses. Sport Med [Internet]. 2019; Available from: https://doi.org/10.1007/s40279-019-01178-7

59. Bourne M, Opar D, Williams M, Shield A. Eccentric Knee Flexor Strength and Risk of Hamstring Injuries in Rugby Union: A Prospective Study. Am J Sports Med. 2015 Jul 1;In press.

ALLEGATI

1. FIFA 11+ poster (tratto da www.isokinetic.com)

2. scala TESTEX da Smart et al. 2015

International Journal of Evidence-Based Healthcare © 2015 University of Adelaide, Joanna Briggs Institu

Table 1. 'Detailed TESTEX scale' (maximum score 15)

Criterion	Explanation	Scoring
Study quality		
1 – Eligibility criteria specified	Eligibility criteria should be specified and fulfilled and specific diagnostic test values should be provided for all participants.	1 Point – if eligibility criteria are clearly stated and fulfilled
2 – Randomization specified	A description of the method used to allocate patients into treatment groups should be provided.	1 Point – if methods are described and they are truly random e.g. coin-tossing, sequence of randomly generated numbers
3 – Allocation concealment	It should be stated if group allocation was concealed; meaning if a patient was eligible for inclusion in the trial was unaware (when this decision was made) of which group the patient would be allocated to.	1 Point – if group allocation was concealed from patients eligible for inclusion in the trial (e.g. consent should be given before randomization)
4 – Groups similar at baseline	Baseline data of all participants who were randomized should be presented. There should be no significant difference in the measure of the severity of the treated condition between treatment groups.	1 Point – if baseline data are separated by group allocation, presented and no differences are apparent
Blinding of all participants	This item is not scored.	No point
Blinding of all therapists	This item is not scored.	No point
5 – Blinding of assessor (for at least one key outcome)	It is not always possible to blind patients and/or therapists; however, blinding of assessors is reasonable. If assessors of primary outcome measures are blinded to the intervention allocation of the patients, this should be stated clearly.	1 Point – if it is stated unambiguously that the assessor of at least 1 primary outcome measure was blinded to group allocation
Study reporting		
6 – Outcome measures assessed in 85% of patients	The percentage of patients completing the study in both groups should be reported.	No point – if withdrawals are >15%
	Any adverse events (serious medical events, deaths, hospitalizations etc.) should be reported for each intervention group.	1 Point – if adherence>85%
		1 Point – if adverse events are reported
	The percentage of exercise sessions completed by the exercise patients who did not withdraw from the study should be reported.	1 Point – if exercise attendance is reported
		Total possible – 3 points
7 – Intention-to-treat analysis	When a patient withdraws, this analysis is conducted by using either the last value obtained for each of the outcome measures as a post-intervention value, or by using the baseline value as a post value. This analysis should be added to the data of those that did complete the study and an analysis conducted.	1 Point – if intention to treat analysis was performed on outcomes of interest
8 – Between-group statistical comparisons reported	Comparison of exercise vs. comparator (control) group for the primary and at least one secondary outcome should be performed.	1 Point – if between-group statistical comparisons are reported for the primary outcome measure of interest
		1 Point – if between-group statistical comparisons are reported for at least one secondary outcome measure
		Total possible – 2 points
9 – Point measures and measures of variability for all reported outcome measures	Point estimates should be provided for all outcomes, otherwise this could be deemed selective outcome reporting.	1 Point – if all outcomes are reported with point estimates
10 – Activity monitoring in control groups	Between-group differences may be diluted if control patients crossover to intervention. As many as one third of patients do this, so some measure e.g. exercise diary or activity monitoring should be supplied so this effect can be measured and quantified.	1 Point – if control patients are asked to report their levels of physical activity and data are presented
11 – Relative exercise intensity remained constant	Exercise intensity is considered by many to be the best stimulus for adaptation. Once patients begin an exercise programme at a set intensity they will begin to adapt. Throughout the study duration the relative intensity will fall in those that do adapt. Therefore, periodic assessment of exercise capacity should be conducted and the intensity titrated up (or in those that lose fitness, titrated down) so that exercise intensity remains constant.	1 Point – if exercise load is titrated to keep relative intensity constant
12 – Exercise volume and energy expenditure	Exercise parameters; session and programme duration, session frequency, exercise training intensity and modality should be clearly reported.	1 Point – if exercise volume and energy expenditure can be calculated
	Total out of a possible	**15 points**