



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI GENOVA



Università degli Studi di Genova

Scuola di Scienze Mediche e Farmaceutiche

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

Master in Riabilitazione dei Disordini Muscoloscheletrici

A.A. 2018/2019

Campus Universitario di Savona

Effetto degli esercizi di rinforzo dei muscoli intrinseci del piede sulla biomeccanica del piede

Candidato:

Dott. Federico Vignali, FT

Relatore:

Dott. Marcello Girardini, FT, OMT

INDICE

- Abstract	pag. 4
- Introduzione	pag. 5
- Materiali e metodi	pag. 9
- Obiettivi e disegno di studio	pag.9
- Strategie di ricerca	pag. 9
- Selezione degli studi	pag.10
- Criteri di eleggibilità	pag. 10
- Valutazione qualitativa degli studi e del rischio di bias	pag.11
- Processo di estrazione dei dati	pag. 12
- Risultati	pag. 14
- Risultati della ricerca	pag. 14
- Flow Chart	pag. 15
- Qualità degli studi	pag. 16
- Sintesi qualitativa dei risultati	pag. 16
- Discussione	pag. 19
- Limiti dello studio	pag. 25
- Conclusioni	pag. 26
- Tabelle sinottiche	pag. 27
- Bibliografia	pag. 33

ABSTRACT

- Background: sempre più interesse negli ultimi anni viene posto a riguardo del ruolo dei muscoli intrinseci del piede nel controllo statico e dinamico di tali strutture ed alle strategie utilizzate per allenarle, a tale proposito, questo studio tramite una revisione della letteratura ha indagato quali fossero le strategie migliori di esercizio per allenare queste strutture mettendole in relazione alle modificazioni effettive che esse riuscivano ad ottenere a livello dei parametri di controllo statico e dinamico del piede stesso in varie tipologie di soggetti.
- Obiettivo: effettuare una revisione della letteratura per evidenziare come queste strategie di allenamento riescano ad ottenere delle modificazioni effettive a livello del controllo statico e dinamico del piede.
- Disegno di studio: revisione della letteratura
- Metodi: 3 database online (Pubmed, Cochrane Library e PEDro) sono stati utilizzati per la ricerca nel periodo dal 15/10/2019 al 10/04/2020, cercando studi che prendessero in considerazione esercizi per la muscolatura intrinseca del piede in relazione a valutazioni del controllo statico e dinamico del piede stesso.
- Risultati: sono stati reperiti 6 studi, 3 di questi eseguivano solo valutazioni di parametri di controllo statico, 3 avevano valutazioni di parametri di controllo sia statico che dinamico, in tutti gli studi troviamo buona concordanza nell'affermare come l'esercizio mirato alla muscolatura intrinseca influenzi positivamente parametri di controllo statico come Navicular Drop, Foot Posture Index, Arch Height Index e larghezza del piede; dal punto di vista del controllo dinamico si assiste ad un miglioramento significativo nell'esecuzione di task dinamici oltre ad un miglioramento del ROM del centro di pressione del piede in direzione mediolaterale, mentre non si notano variazioni importanti nel Dynamic Navicular Drop per quanto riguarda i valori ottenuti.
- Conclusioni: le evidenze concordano come gli esercizi di forza per la muscolatura intrinseca del piede possano modificare in maniera positiva il controllo statico e dinamico del piede, rendendolo un aspetto fondamentale nella fase decisionale degli obiettivi riabilitativi al fine di ottimizzare il controllo del piede non solo in una popolazione giovane ed attiva ma anche in soggetti con problematiche di supporto dell'arco plantare mediale o in donne incinte.

INTRODUZIONE

Il piede è la struttura anatomica situata all'estremità distale della gamba, alla quale è collegato dalla caviglia. Rappresenta la porzione più distale dell'arto inferiore. In esso si distinguono la caviglia, che media la continuità con la gamba, il tallone, che costituisce l'estremità posteriore del piede, il metatarso, che costituisce la porzione anteriore del piede, e cinque dita. Il metatarso e le dita costituiscono l'avampiede. Nella posizione ortostatica, il piede permette di distinguere una superficie inferiore detta pianta o superficie plantare del piede e una superficie superiore detta dorso del piede.

Lo scheletro del piede è costituito dall'articolazione di 26 ossa (28 se si comprendono le ossa sesamoidi costanti del piede). Lo scheletro del piede può inoltre essere suddiviso in tre gruppi di ossa con caratteristiche simili. Tali gruppi sono il tarso, il metatarso e le falangi.

- Il tarso, che contribuisce a formare lo scheletro della caviglia e del tallone, è costituito da sette ossa che occupano tutta la metà prossimale del piede. Nel tarso si distinguono due file di ossa, delle quali una, detta fila prossimale o fila posteriore del tarso, è formata dal talo e dal calcagno, e l'altra, detta fila distale o fila anteriore, è formata, procedendo in senso medio-laterale lungo un piano coronale, dalle tre ossa cuneiformi, dall'osso navicolare (osso scafoide del piede) e dall'osso cuboide.
- Il metatarso, che contribuisce a formare la metà anteriore del piede, è costituito da 5 ossa dette ossa metatarsali che fungono da tramite tra il tarso e le falangi che compongono lo scheletro delle dita del piede. Le ossa metatarsali sono ossa lunghe nelle quali si distinguono due epifisi, delle quali una prossimale e una distale, e una diafisi. Le diafisi delle ossa metatarsali si presentano curve con convessità rivolta verso il dorso del piede e concavità rivolta verso la pianta del piede, contribuendo così, assieme alle ossa del tarso, alla formazione della volta plantare del piede.
- Le falangi del piede sono infine 14 piccole ossa lunghe che costituiscono le dita del piede. Fatta eccezione per l'alluce, che è formato da due sole falangi, tutte le dita del piede sono formate da tre falangi.

Dal punto di vista anatomico, nel piede, possono riconoscersi tre zone: la zona del retropiede, la zona del mesopiede e la zona dell'avampiede. La zona del retropiede è la parte più prossimale del piede e comprende l'astragalo e il calcagno. La zona del mesopiede è la parte intermedia del piede e include l'osso cuboide, i tre cuneiformi e l'osso navicolare. Infine, la zona dell'avampiede è la parte più distale del piede e comprende i 5 metatarsi e le falangi delle dita dei piedi.

La buona funzionalità del piede dipende da numerosi muscoli, alcuni dei quali risiedono, almeno in parte, al di fuori del piede stesso.

Per questo motivo, gli esperti di anatomia hanno deciso di distinguere gli elementi muscolari del piede in due categorie: i muscoli estrinseci e i muscoli intrinseci.

I principali rappresentanti dei muscoli estrinseci sono:

- Il muscolo tibiale posteriore
- Il muscolo tibiale anteriore
- Il muscolo peroneo lungo
- Il muscolo peroneo breve
- I muscoli gemelli (o gastrocnemio)
- Il muscolo soleo

Per quanto concerne i muscoli intrinseci, è opportuno puntualizzare che questi, a loro volta, si possono suddividere in due categorie: i dorsali e i plantari.

I muscoli intrinseci dorsali sono:

- il muscolo estensore breve dell'alluce
- i muscoli estensori brevi delle dita del piede

I muscoli intrinseci plantari, invece, sono:

- I muscoli plantari mediali, detti anche muscoli del primo dito
 - Muscolo abduuttore dell'alluce
 - Muscolo flessore breve dell'alluce
 - Muscolo adduttore dell'alluce
- I muscoli plantari laterali, detti anche muscoli del 5° dito
 - Muscolo abduuttore del 5° dito del piede
 - Muscolo flessore breve del 5° dito del piede
 - Muscolo adduttore del 5° dito del piede
- I muscoli plantari intermedi
 - Muscolo flessore breve delle dita centrali del piede

- Muscolo quadrato della pianta del piede
- Muscoli lombricali (sono in tutto quattro)
- Muscoli interossei (sono in tutto sette)

In generale i muscoli intrinseci dorsali e i muscoli intrinseci plantari garantiscono, rispettivamente, la dorsiflessione e la plantarflessione del piede.

Il piede è una struttura complessa composta da differenti articolazioni, ciascuna con diversi gradi di libertà di movimento. Queste ricoprono un ruolo fondamentale sia nella postura statica, sia nelle attività più dinamiche, come il salto e la corsa.

A seconda della fase di attivazione specifica, il piede sottende a diverse funzioni: durante l'ortostatismo garantisce una solida base d'appoggio, durante la deambulazione deve stabilizzare nella fase di footstrike e pushoff e, nella fase di mid-support, diviene un adattatore dinamico, ripartendo la corretta distribuzione del carico. Al corretto svolgimento di queste funzioni concorre un corretto allineamento dell'arco plantare, garantito dall'attivazione della muscolatura intrinseca ed estrinseca del piede.

Il piede si comporta come una molla accumulando tensione e restituendola durante le fasi del cammino, attraverso un sistema denominato foot core (1) che è paragonabile al core della zona lombare, qualcosa di simile alla core stability lombosacrale che negli ultimi anni si è affiancata al piede, sembrerebbe esserci una certa rilevanza per quel che riguarda una core stability del piede e l'attivazione della muscolatura intrinseca. In passato si è sempre lavorato e parlato della parte passiva osteolegamentosa, mentre, quando si parlava di muscoli legati al cammino o al piede, si è sempre posta attenzione ai muscoli mobilizzatori legati alla gamba non prendendo in considerazione e non indagando quella che è la core stability del piede. Ad oggi risulta quindi importante valutare il piede non solo come strutture passive ma anche attraverso il sistema attivo, quello dei muscoli intrinseci del piede.

Il core del piede è perciò un sistema formato dall'interazione e dalla contemporanea indipendenza di tre sottosistemi:

- Sottosistema passivo: composto dall'insieme di ossa, legamenti e capsule articolari che compongono gli archi del piede (arco mediale, archi laterali longitudinali ed archi metatarsali trasversi), questi archi, secondo McKenzie (2), vengono interpretati come una semicupola funzionale responsabile degli adattamenti flessibili alle variazioni di carico sull'arto durante le attività dinamiche
- Sottosistema attivo: composto dall'insieme dei muscoli e tendini con inserzione sul piede, gli stabilizzatori locali (muscoli che originano e si inseriscono sul piede) ed i mobilizzatori globali

(muscoli che originano dalla parte inferiore della gamba e si inseriscono nel piede) agiscono in sinergia; i primi hanno funzione di supporto degli archi plantari dipendenti dall'attività fisica e dal carico che si esercita sul piede, questa capacità di modulazione muscolare è necessaria soprattutto durante le attività dinamiche (3); i secondi hanno la funzione di generare movimento nel piede attraverso i tendini che determinano cambi di tensione sulle strutture passive, secondo il loro orientamento e la distribuzione della muscolatura estinseca possiamo vedere come siano importanti per dare stabilità sia alle strutture longitudinali sia a quelle trasversali del piede giocando un ruolo fondamentale nelle varie fasi del passo

- Sottosistema neurale: comprendente tutti i recettori sensoriali presenti nella fascia plantare, nei legamenti, nelle capsule articolari, nei muscoli e tendini dei due sottosistemi precedenti (4)

MATERIALI E METODI

Obiettivi e disegno di studi:

Questa revisione della letteratura ha come obiettivo quello di valutare se attraverso strategie di allenamento della muscolatura intrinseca del piede si riescono ad ottenere delle modificazioni effettive a livello del controllo statico o dinamico del piede.

Strategia di ricerca:

La strategia di revisione della letteratura ha come obiettivo quello di identificare ed indagare tutti gli studi che analizzano come le diverse strategie di allenamento della muscolatura intrinseca del piede riescano ad ottenere delle modificazioni a livello a livello del controllo statico o dinamico del piede stesso.

Database:

I database elettronici che sono stati consultati dal 15/10/2019 sino al 10/04/2020 per questa revisione sono stati:

- MEDLINE attraverso PubMed
- Cochrane Library
- PEDro

La definizione del quesito di ricerca da applicare ai diversi database, nello specifico di questo elaborato, è definita da P (population), E (exposure) e O (outcome).

- P: intrinsic muscle, foot
- E: exercise, training
- O: balance

Sono state anche applicate delle strategie di ricerca supplementare, queste sono state una revisione della bibliografia inclusi ed una ricerca manuale degli studi correlati.

Selezione degli studi:

Un revisore (F.V.), ha selezionato gli studi idonei secondo criteri di inclusione ed esclusione prestabiliti, il numero di studi esclusi è stato documentato nella flow chart con le motivazioni della loro esclusione.

Criteri di eleggibilità:

I criteri di eleggibilità sono stati definiti dal solo revisore (F.V.) definendo i criteri di inclusione ed esclusione di diversi studi.

Tutti gli studi sono stati selezionati inizialmente per titolo e successivamente per abstract, nel caso ci fossero stati dei dubbi per quel che riguarda l'aderenza o meno ai criteri di inclusione sono stati analizzati i full text dal revisore stesso.

Popolazione inclusa:

Sono stati inclusi:

- Studi in cui i partecipanti si sono sottoposti ad allenamento della muscolatura intrinseca del piede, indipendentemente dalla causa pato-anatomica, dal sesso o dall'età

Sono stati esclusi:

- Studi che utilizzano strategie di allenamento differenti dall'esercizio fisico
- Studi che analizzano outcome come forza ed attivazione muscolare

Sono stati esclusi, inoltre, tutti gli studi riguardanti patologie neurologiche o sistemiche, poiché data la loro complessità, risulterebbe difficile determinare se la limitazione delle performance richieste sia attribuibile alla sola attivazione della muscolatura intrinseca del piede o ad altri disturbi associati.

Tipologie di studi inclusi:

Sono stati inclusi studi esclusivamente in lingue italiana o inglese, senza una esclusione per data di pubblicazione. In questa revisione sono stati inseriti e valutati criticamente, attraverso gli strumenti riportati nella tabella seguente, i seguenti disegni di studio.

Studio pilota	ROBINS-I (5)
Trail clinico controllato non randomizzato	ROBINS-I
RCT	RoB-2 (6)

Valutazione qualitativa degli studi e del rischio di BIAS:

Gli studi che hanno soddisfatto i criteri di inclusione sono stati successivamente attraverso i seguenti strumenti:

- Studi piloti e trial clinico controllato non randomizzato: per valutare questi studi è stata utilizzata lo strumento ROBINS-I per gli studi non randomizzati di intervento; i domini di ROBINS-I comprendono potenziali cause di bias che possono insorgere prima dell'inizio dello studio come:
 - o bias due to confounding
 - o bias in selection of participants into the study
 - o bias in classification of interventions

A queste si vanno ad aggiungere cause che insorgono dopo l'inizio dello studio come:

- o bias due to departures from intended interventions
- o bias due to missing data
- o bias in measurement of outcomes
- o bias in selection of the reported result

Il giudizio sul risk of bias di ciascun dominio è guidato da una sequenza di signalling questions, ossia da domande specifiche di ciascun dominio, che guidano nell'identificare tutti gli elementi necessari a formulare un giudizio (7). Queste domande aiutano ad ottenere una analisi molto dettagliata del rischio di bias, evitando la moltiplicazione degli item tipici delle checklist meno recenti, semplificando l'interpretazione della qualità metodologica di uno studio. Per ogni dominio viene attribuita una valutazione del rischio di bias paragonandola ad uno studio randomizzato, la valutazione viene stratificata come segue:

- o Low risk of bias: lo studio è paragonabile a una sperimentazione randomizzata ben eseguita

- Moderate risk of bias: lo studio è valido per uno studio non randomizzato, ma non può essere considerato paragonabile a uno studio randomizzato ben eseguito
 - Serious risk of bias: lo studio presenta alcuni problemi importanti
 - Critical risk of bias: lo studio è troppo problematico per fornire prove utili sugli effetti dell'intervento
 - No information su cui basare un giudizio sul risk of bias per questo dominio.
- **RCT**: attraverso lo strumento Risk of Bias Tool della Cochrane Collaboration è stato utilizzato per la valutazione del rischio di bias negli RCT inclusi, segnalando ciascun criterio come 'High Risk', 'Low Risk' o 'Unclear Risk'; i domini analizzati sono:
- Random sequence generation: modalità di redazione degli elenchi dei partecipanti allo studio ed eventuale generazione di una sequenza casuale;
 - Allocation concealment: strategie utilizzate per occultare l'assegnazione dei pazienti ai gruppi di intervento, affinché tale processo non risulti prevedibile;
 - Blinding of participants: inconsapevolezza (cecità) dei partecipanti riguardo i gruppi di assegnazione;
 - Blinding of personnel: inconsapevolezza (cecità) del personale riguardo i gruppi di assegnazione dei partecipanti;
 - Blinding of outcome assessment: inconsapevolezza (cecità) degli esaminatori riguardo i gruppi di assegnazione dei partecipanti;
 - Incomplete outcome data: rilevazione di dati incompleti o mancanti ai follow-up;
 - Selective reporting data: identificazione di incongruenze tra il protocollo, se presente, e gli outcomes dello studio, o tra outcomes attraverso i follow-up;
 - Other BIAS: presenza di altri bias riscontrati

Processo di estrazione dei dati:

Per l'estrazione e la seguente organizzazione dei dati, sono state create delle tabelle sinottiche con gli outcome valutati all'interno di ogni singolo studio preso in considerazione.

Per ogni studio sono state inserite le caratteristiche elencate qui sotto:

- Titolo
- Autore

- Metodi:
 - o Disegno di studio
 - o Popolazione
 - o Misure di outcome
- Qualità dello studio
- Risultati significativi con associato il P-value, quando e dove presente
- Conclusioni
- Limiti dello studio

RISULTATI

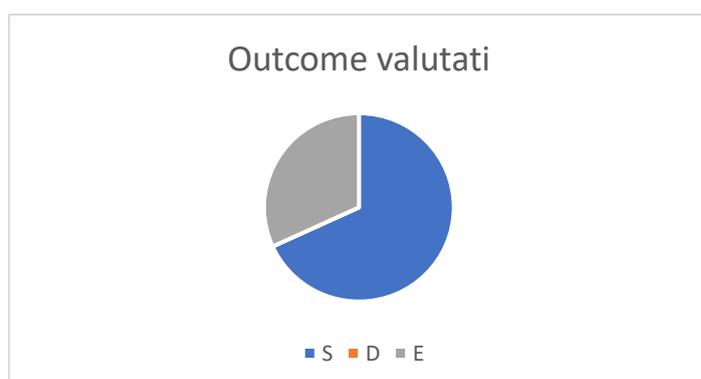
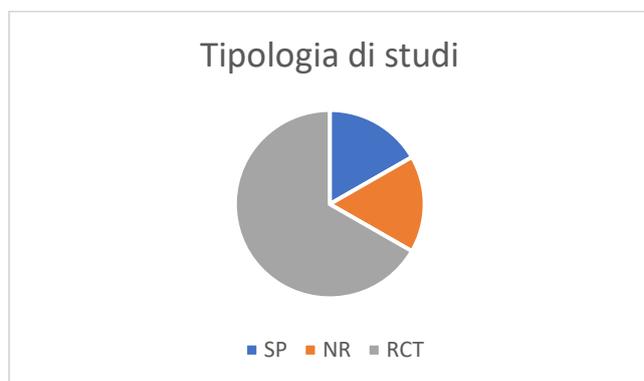
Risultati della ricerca:

La ricerca iniziale nelle diverse banche dati ha portato ad un totale di 88 articoli (Pubmed 18, PEDro 8, Cochrane Library 62) secondo le stringhe di ricerca inserite, come indicato nella flow chart successivamente. Da questi sono stati rimossi 40 articoli risultati doppi, 28 dopo la lettura dei titoli, altri 12 articoli sono stati eliminati dopo la lettura degli abstract perché non attinenti.

Sono stati così individuati ed inclusi 8 articoli full text da scaricare, di questi 2 non sono risultati reperibili, arrivando ad un totale di 6 full text di cui valutare l'attinenza o meno ai criteri di inclusione, tutti gli studi rimasti soddisfacevano tali criteri.

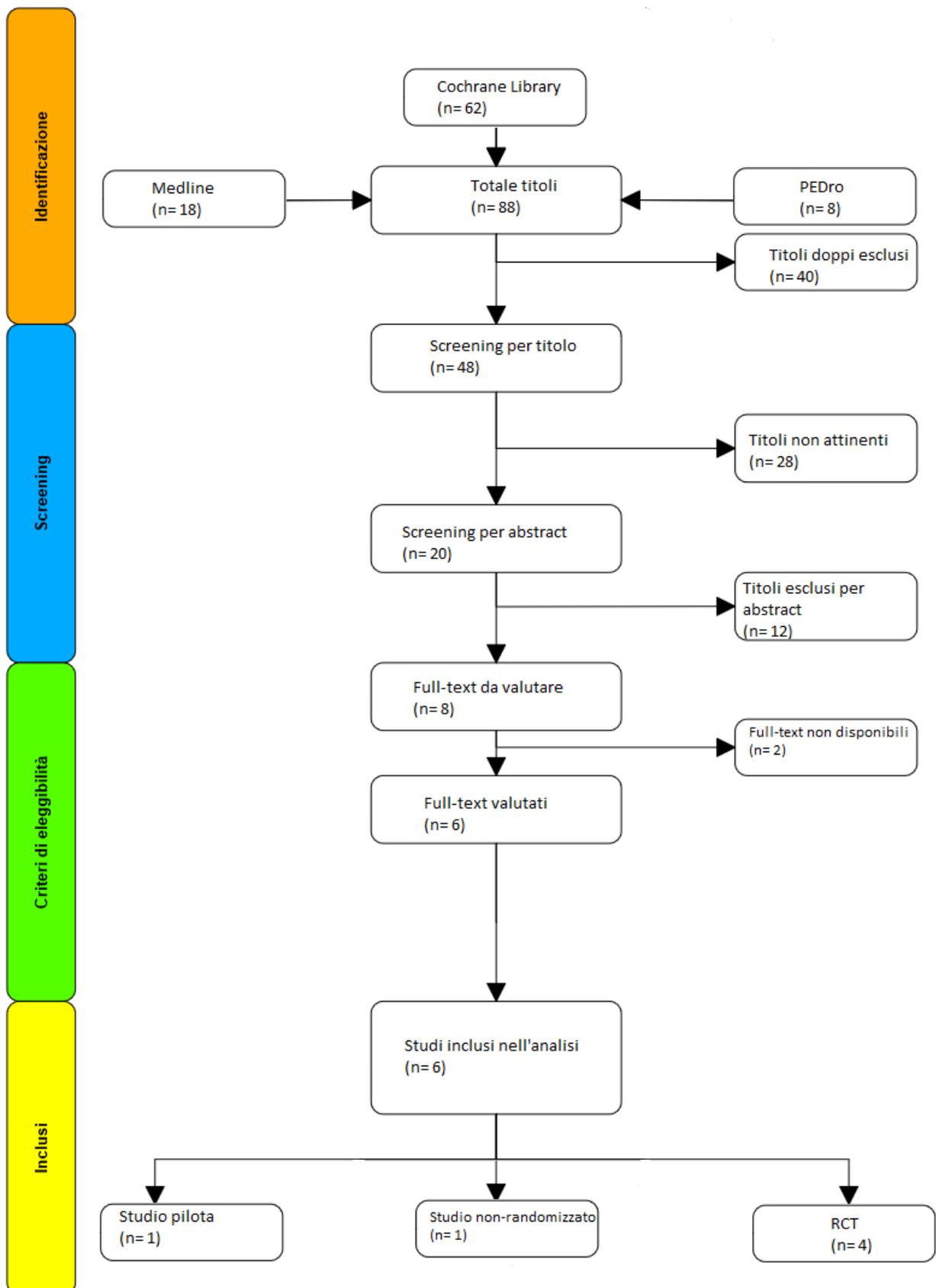
Questi articoli sono stati suddivisi per tipologia come in tabella e per tipologia di outcome valutato se statico o dinamico.

Studio pilota (SP)	1	Valutazione solo statica (S)	3
Trial clinico controllato non randomizzato (NR)	1	Valutazione solo dinamica (D)	0
RCT (RCT)	4	Valutazione entrambe (E)	3



Flow chart:

secondo il PRISMA statement (8).



Qualità degli studi inclusi:

Ogni studio è stato valutato secondo le scale dichiarate nei metodi, nelle tabelle sottostanti 3.1 e 3.2 sono riportate le valutazioni ottenute dai vari studi divisi secondo l'outcome valutato, se solo statico, solo dinamico o valutazione di entrambi gli outcome.

Valutazione statica			
Autore	Disegno di studio	Punteggio	Media
Unver, B. (9)	Trial clinico non randomizzato	Serious Risk	Moderate Risk
Chung, K. (10)	RCT	Low Risk	
Ramachandra, P. (11)	RCT	Low Risk	

(Tab. 3.1)

Valutazione statica e dinamica			
Autore	Disegno di studio	Punteggio	Media
Mulligan, E. (12)	Studio pilota	Moderate Risk	Moderate Risk
Lynn, S. (13)	RCT	High Risk	
Okamura, K. (14)	RCT	Low Risk	

(Tab. 3.2)

Sintesi qualitativa degli studi:

Valutazione statica:

- Foot Posture index (FPI) (15): 2 studi analizzano il FPI, nello studio di Unver non si rilevano differenze significative all'analisi inter-gruppo ma intra-gruppo rileva una riduzione significativa del FPI nel gruppo SFE dopo 6 settimane dalla valutazione iniziale ($p < 0.05$) questa variazione non è statisticamente significativa nel gruppo di controllo nello stesso periodo; Okamura nel suo studio rileva un miglioramento significativo sia nel gruppo che eseguiva gli esercizi sia in quello di controllo, anche se nel primo i valori sono più evidenti ($p = 0.014$ gruppo esercizi, $p = 0.024$ gruppo di controllo).
- Arch Height Index (AHI) (16) e Intrinsic Foot Musculature Test (IFMT) (17): solo nello studio pilota di Mulligan vengono analizzati questi parametri, riportando come vi sia un

cambiamento significativo dall'inizio e dopo 4 e 8 settimane post intervento ($p < 0.05$) ma non vi erano cambiamenti importanti fra la settimana 4 e la settimana 8 ($p > 0.05$).

- Navicular Drop (ND) (18): tutti gli studi valutavano la variazione dell'altezza del navicolare, Lynn nel suo studio mette a confronto due tipologie di esercizi (TCE e SFE) per il rinforzo della muscolatura intrinseca del piede analizzando come l'altezza del navicolare vari senza trovare variazioni importanti fra i due gruppi ($p = 0.264$ per l'arto dominante e $p = 0.752$ per l'arto non dominante); nello studio di Mulligan che prende in considerazione solo SFE come esercizio di forza per la muscolatura intrinseca del piede, al contrario del precedente, i soggetti avevano un ND di 12.6 mm che aveva avuto una significativa riduzione sino a 10.9 mm dopo 4 settimane ($p = 0.04$) e un valore di 10.5 dopo 8 settimane ($p = 0.01$), questi valori non avevano subito variazioni significative dopo 4 e 8 settimane dalla fine dell'allenamento; Chung nel suo RCT, così come Lynn, confronta le stesse tipologie di esercizi riscontrando un decremento significativo nel gruppo SFE ($p < 0.05$) passando da un valore di 16.60 mm a 11.13 mm, anche nel gruppo TCE si ha un decremento importante ($p < 0.05$) passando da un valore di 16.47 mm a 12.53 mm, ma analizzando i cambiamenti fra i due gruppi si può vedere come quello SFE abbia avuto un decremento maggiore nel punteggio; Ramachandra esegue uno studio su donne incinte nel quale abbina al SFE anche esercizi di rinforzo della muscolatura estrinseca, riscontrando una differenza significativa ($p < 0.001$) fra il gruppo studio e quello di controllo per quanto riguarda l'altezza del navicolare; Unver non rileva differenze significative inter-gruppo ma intra-gruppo mostra come il gruppo SFE abbia significativamente ridotto il ND a 6 settimane rispetto alla baseline ($p < 0.05$) mentre non vi erano variazioni importanti nel gruppo di controllo dopo lo stesso periodo ($p > 0.05$); Okamura, infine, mostra come vi sia stato un significativo effetto del tempo sui risultati del ND totali siano stati significativamente migliorati ($p < 0.001$) nei soggetti con piede piatto che aveva incluso nel gruppo.
- Larghezza del piede e lunghezza del piede: 1 solo studio prende in considerazione questi parametri, i risultati a cui arriva Ramachandra suggeriscono una differenza significativa tra il gruppo di studio e il gruppo di controllo in termini di larghezza del piede ($p < 0.001$) ma non per quel che riguarda la lunghezza del piede ($p = 0.08$).

Valutazione dinamica:

- Star execution balance test (SEBT) (19): 1 solo studio valuta l'esecuzione di questo task, nello studio Mulligan riscontra un incremento significativo della distanza coperta in tutte le

direzioni del SEBT ($p < 0.05$) rispetto all'inizio nella 4 settimana e nella 8 settimana, eccezione fatta per quella anteriore ($p = 0.075$); mentre, ad eccezione di quella posteromediale ($p = 0.04$), non ci sono state variazioni significative fra la 4 e 8 settimana in nessuna delle altre direzioni ($p > 0.05$).

- ROM del Centro di Pressione (COP) in direzione mediolaterale (ML): 1 studio valuta questo aspetto, Lynn nel suo studio attraverso un test di equilibrio statico (30 sec in equilibrio monopodalico) ed un test di equilibrio dinamico (Y balance test (20)) analizza come il COP vari in direzione ML, riscontra come non ci siano state differenze significative per l'esecuzione del test statico ($p = 0.309$ per l'arto dominante e $p = 0.650$ per l'arto non dominante) mentre nel test dinamico riscontra come sul lato della gamba dominante si sia verificato un effetto significativo ($p < 0.01$) senza alcuna interazione ($p = 0.812$); tutti e 3 i gruppi, incluso il gruppo di controllo, hanno avuto una riduzione significativa della quantità di movimento ML del COP dopo il periodo di intervento o controllo, per cui nonostante ci fossero differenze statistiche in ciascun gruppo, le dimensioni dell'effetto erano tutte nell'intervallo da piccolo a moderato; per il test di equilibrio dinamico nell'arto non dominante, si è verificato un effetto significativo ($p < 0.01$) ed una significativa interazione ($p = 0.02$), i T-test hanno rivelato che solo i gruppi SFE ($p < 0.017$) e TCE ($p < 0.017$) hanno avuto una riduzione significativa del movimento ML COP dopo l'intervento mentre non vi era differenza nel gruppo di controllo ($p = 0.906$); nota inoltre come la dimensione dell'effetto della riduzione nel gruppo TCE era simile a quella nell'arto laterale dominante (da piccolo a moderato), mentre la dimensione dell'effetto della variazione nel gruppo SFE era molto più grande.
- Dynamic Navicular Drop (DND): 1 studio analizza questo outcome, Okamura nel suo studio riporta come il DND non sia variato dopo l'intervento di SFE, quello che varia è il tempo in cui l'altezza navicolare raggiunge il suo valore minimo che risulta significativamente ridotto dopo 8 settimane del programma SFE ($p = 0.007$) cosa che non è stata riscontrata nei controlli.

DISCUSSIONE

Questo studio ha reperito, in media, evidenze di qualità moderata.

La popolazione indagata nei diversi studi non è sovrapponibile come caratteristiche, abbiamo studi su soggetti sani, donne incinte e soggetti con piede piatto, per questo motivo i risultati sono difficilmente generalizzabili alla totalità della popolazione. Un altro motivo che rende difficile il paragone dei diversi studi è dato dalla grande variabilità delle misure utilizzate nei diversi studi per valutare gli aspetti di controllo statico e dinamico del piede. Per questi motivi i singoli studi sono stati discussi ed analizzati singolarmente, paragonando fra di loro i risultati quando possibile ed analizzando i limiti interni di ogni singolo studio.

Nello studio di Lynn del 2012 i principali risultati sono stati: (1) I risultati del test di equilibrio statico e del test di altezza navicolare non sono stati influenzati dall'allenamento della muscolatura intrinseca del piede; (2) nell'arto dominante, si è osservato un piccolo miglioramento delle prestazioni per tutti e 3 i gruppi durante il secondo test; (3) nell'arto non dominante, le prestazioni del test di equilibrio dinamico sono migliorate solo nei 2 gruppi di esercizi con il gruppo SFE in cui si ha avuto un miglioramento maggiore rispetto al gruppo TCE. Tuttavia, il test di equilibrio statico e quello dell'altezza del navicolare non siano abbastanza difficili da rivelare i cambiamenti che potrebbero essersi verificati a seguito dell'allenamento della muscolatura intrinseca del piede; questi risultati sono simili a quelli di un altro studio (21) nel quale un singolo gruppo di partecipanti con patologia degli arti inferiori ha eseguito un intervento SFE, in quello studio, non c'erano differenze in nessuna delle misure statiche dopo l'intervento, forse perché i requisiti di attivazione muscolare durante compiti così semplici sono talmente piccoli che tutti i partecipanti hanno una forza o un impulso neuronale sufficienti a questi muscoli prima di eseguire l'intervento di esercizio. I risultati del compito di equilibrio dinamico erano interessanti, poiché gli arti dominanti e non dominanti rispondevano in modo diverso al protocollo di intervento. I risultati sull'arto del lato dominante erano inaspettati, poiché tutti i gruppi, incluso il gruppo di controllo, avevano un piccolo miglioramento la cui entità simile in tutti e 3 i gruppi, indicando che gli esercizi SFE e TCE avevano un effetto sulle prestazioni simile a quello di non fare esercizi utilizzato nel gruppo di controllo. Ciò può significare che in una popolazione di individui giovani e sani, la muscolatura intrinseca del piede dell'arto dominante è in grado di funzionare correttamente e potrebbe non richiedere un addestramento diretto per migliorare le prestazioni oppure che il compito di equilibrio dinamico utilizzato in questo studio non sia stato abbastanza impegnativo da rivelare differenze nella gamba del lato dominante. Nell'arto non dominante, i risultati del test dinamico mostravano un miglioramento significativo nei gruppi TCE e SFE che non si verificava nel gruppo di controllo durante il periodo di intervento. Entrambi i gruppi SFE e TCE sono migliorati dopo l'intervento

nella gamba non dominante, il gruppo SFE ha avuto un miglioramento molto maggiore nella riduzione del movimento medio-laterale del centro di pressione rispetto al gruppo TCE; questo suggerisce che lo SFE era più efficace nell'allenamento dell'arco mediale longitudinale rispetto al TCE nell'arto non dominante. Questo potrebbe suggerire che la SFE ha isolato molto meglio l'IFM (22), mentre la TCE comporta un grande contributo da parte dei muscoli estrinseci. Questo studio ha avuto diversi limiti come la dimensione del campione relativamente piccola e il breve periodo di intervento, in più, ipotizzando che la struttura statica del piede non sarebbe cambiata dopo l'intervento non è stata eseguita una misurazione dell'altezza del navicolare in assenza di carico; inoltre, non è stato utilizzato un protocollo di pratica strutturato per Y-balance test e non sono stati raccolti i dati relativi ai normali modelli di attività o agli infortuni dei partecipanti verificatisi più di 6 mesi prima della partecipazione allo studio.

Lo studio di Mulligan del 2013 mostra come un semplice programma di allenamento possa portare a delle modifiche a livello del Navicular Drop, dell'altezza dell'arco, nella funzione intrinseca del piede in posizione statica e nell'equilibrio dinamico in una popolazione asintomatica, questi risultati sono simili ad altri studi che hanno trovato come alterazioni a livello di attività della muscolatura intrinseca del piede vadano ad impattare sulla posizione del navicolare (23)(24); questi risultati erano correlati con precedenti valutazioni EMG che suggerivano come la muscolatura intrinseca del piede avesse funzione di supporto nel mantenimento della arco mediale plantare. Cambiamenti significativi richiedono appena 4 settimane ed i benefici sono mantenuti per altre 4 settimane senza ulteriori allenamenti, non si conosce tuttavia se questi effetti si mantengano per più di 8 settimane. Questi risultati sono in contrasto con lo studio di Lynn, la differenza nella posizione del navicolare può essere attribuibile al tipo di test eseguito (Navicular Drop modificato) in cui la posizione rilassata dell'altezza del navicolare è stata usata come una variabile dipendente rispetto alla variazione dell'altezza del navicolare da una posizione neutra a una rilassata, come è stato usato in questo studio. È importante notare che questo studio è una valutazione indiretta dell'influenza di un allenamento della muscolatura intrinseca del piede poiché attualmente non vi è un gold standard per misurarne in maniera isolata la forza di tale muscolatura (25). Nello studio invece è stato valutato l'effetto dell'allenamento per quanto riguarda la sua capacità di modificare la posizione del navicolare e l'influenza nelle capacità dinamiche durante task con aumento delle richieste posturali (26). Per quello che riguarda le misurazioni è stato trovato un errore standard di misura (SEM) (27) nel Navicular Drop è nel range di 1-2 mm che viene calcolato con un cambiamento minimo rilevabile (MDC) approssimato a 6 mm, valore che è sostanzialmente inferiore ai 2 cm che si osservano fra la valutazione iniziale e quella a 4 settimane; per la misurazione dell'altezza dell'arco dorsale è riportato un SEM nell'intervallo di 10-20 mm che rappresenta circa la variazione dell'1% nel rapporto AHI data la lunghezza media del piede dei soggetti dello studio. I soggetti di questo studio erano asintomatici con una vasta gamma di Navicular Drop (0-21 mm) ma l'analisi post hoc ha rivelato un impatto

significativamente maggiore in quei piedi il cui Navicular Drop di base era maggiore di 15 mm rispetto a quelli con meno di 15 mm (questo valore di ND è stata scelta in quanto standard comunemente accettato come anormale o eccessivo), la variazione media complessiva di per la popolazione dello studio era di circa 2 mm ma più vicina a 6 mm nei soggetti che avevano un ND di base maggiore di 15 mm; al contrario, i soggetti nel range normale di una caduta di 6-9 mm non hanno visto sostanzialmente alcun cambiamento nel loro ND dopo 4 settimane di allenamento. I risultati di questo studio offrono anche prove preliminari che suggeriscono che l'allenamento SFE in soggetti normali può avere un impatto sulle strategie di reclutamento muscolare durante la statica monopodale e migliorare le capacità di raggiungimento degli arti controlaterali in direzione anteromediale, mediale, posteromediale e posteriore. Un limite di questo studio è che ha valutato la risposta dell'allenamento in un campione relativamente piccolo in una popolazione asintomatica con caratteristiche demografiche strette e capacità alquanto omogenee nei loro compiti dinamici e funzionali; questo studio presume che le alterazioni dell'arco mediale longitudinale possano contribuire alla lesione degli arti inferiori, anche se la forza della muscolatura intrinseca plantare contribuisce all'altezza dell'arco mediale longitudinale non sappiamo fino a che punto questa variabile abbia un impatto su un evento di movimento multifattoriale in una popolazione sintomatica. Un'altra potenziale fonte di bias è che i soggetti sono stati istruiti negli esercizi immediatamente prima della valutazione di iniziale, è possibile che questa sessione di allenamento abbia attivato la consapevolezza dei muscoli dormienti e influenzato le misurazioni dinamiche basali. Questo studio pilota suggerisce che potrebbe essere possibile influenzare alcune delle comuni compensazioni strutturali e alterazioni funzionali che sono comunemente associate a queste lesioni.

Lo studio di Chung del 2016 parte da precedenti ricerche sulla muscolatura intrinseca del piede in cui analizzavano l'altezza navicolare, queste riferivano come lo SFE fosse più efficace nell'escludere i muscoli estrinseci del piede ed a rafforzare tale muscolatura rispetto al TCE, come mostrato nello studio di Mulligan. In uno studio passato, condotto attraverso una valutazione dell'attività muscolare dell'abduktore dell'alluce mediante elettromiografia, durante la massima contrazione isometrica volontaria (28), misurata nella posizione di test muscolare manuale, si è visto come sia nella posizione seduta che in quella in piedi su una gamba ci siano stati effetti più significativi nello SFE rispetto alla TCE, confrontando SFE e TCE per l'angolo dell'arco mediale longitudinale in piedi ha mostrato una riduzione significativa. In questo studio, l'altezza navicolare ha mostrato una riduzione significativa in entrambi i gruppi, con il gruppo SFE che ha mostrato una diminuzione più significativa; dopo aver confrontato e analizzando i valori si può vedere come lo SFE sia più efficace nella formazione della muscolatura intrinseca del piede rispetto al TCE, il motivo di questo si ritiene sia dovuto al fatto che la SFE esclude la muscolatura estrinseca più del TCE. Come si può vedere lo SFE è più efficace nell'aumentare l'altezza navicolare e correggere la pronazione del piede. Riassumendo i risultati degli studi precedenti e di questo

studio, si può vedere che sia lo SFE che il TCE sono stati usati nell'allenamento della muscolatura intrinseca del piede, ma lo SFE è un metodo di allenamento più efficace nell'accettare informazioni afferenti durante la contrazione. Secondo i risultati sperimentali, sia SFE che TCE erano efficaci nel Navicular Drop Test e lo SFE ha prodotto risultati più efficaci e anche migliori per quanto riguarda l'instabilità di caviglia (29).

Ramachandra nel 2018 propone uno studio su donne incinte, in questo studio presumeva come il rinforzo dei muscoli estrinseci e intrinseci del piede, potesse aver contribuito al mantenimento dell'arco longitudinale mediale nel gruppo di studio rispetto al gruppo di controllo in studi passati (30), come quello di Mulligan. In questo studio tutti i partecipanti, di entrambi i gruppi, hanno aderito al programma di esercizi, eseguivano gli esercizi almeno 4 giorni alla settimana; nessuno dei partecipanti ha avuto effetti avversi o comorbidità. Questo studio è il primo del suo genere che ha mirato a esaminare l'efficacia di un programma globale di salute del piede, incentrato sul rafforzamento della muscolatura del piede sia estrinseca che intrinseca, sui parametri del piede e sulle disfunzioni nelle donne in gravidanza nel loro secondo e terzo trimestre di gravidanza. I risultati suggeriscono un effetto positivo del programma completo di esercizi per i piedi nelle donne in gravidanza. Una limitazione di questo studio era data dalla non cecità dell'investigatore rispetto il gruppo di intervento altro rischio di bias era dato fatto che i risultati utilizzati fossero presi da un questionario auto-riferito.

Lo studio di Banu del 2019 è stato condotto per determinare gli effetti della SFE su Navicular Drop, postura del piede, dolore al piede, disabilità e pressioni plantari dinamiche in soggetti con pes planus. La SFE di sei settimane è stata efficace per ridurre la ND, migliorando la postura del piede, riducendo il dolore e la disabilità del piede e aumentando la forza plantare nella parte centrale del piede; nel gruppo di controllo non sono cambiati in sei settimane, Navicular Drop, Foot Posture Index, dolore, disabilità, massima forza plantare e pressione. La ricerca ha rivelato che l'attività muscolare intrinseca fornisce supporto al mantenimento dell'arco mediale longitudinale (31) così come rilevato nello studio di Mulligan. Questo ha mostrato che l'allenamento SFE di sei settimane ha avuto un impatto positivo sulla ND e sulla postura del piede nel pes planus, secondo i risultati, i punteggi di dolore e disabilità sono stati significativamente ridotti nei soggetti con pes planus dopo 6 settimane di SFE, mentre non sono state osservate differenze significative nel gruppo di controllo. Lo studio attuale è significativo in termini di rivelazione del positivo effetto della SFE sul dolore e sulla disabilità nel pes planus. In questo studio si è visto come la massima forza plantare è stata significativamente aumentata nella parte centrale del piede dopo SFE di sei settimane, mentre la massima forza nella parte anteriore e posteriore è rimasta simile; inoltre, dopo SFE non è stato identificato alcun cambiamento significativo della massima pressione plantare nella parte anteriore, centrale e posteriore. È noto che il pes planus porta ad una maggiore pressione plantare nella zona mediale del mediopiede,

la scoperta indica come l'effetto crescente dell'SFE sulla massima forza plantare nell'arco mediano sembra disturbare il carico plantare nel pes planus (32). Questo studio ha anche dimostrato la riduzione di Navicular Drop e Foot Posture Index dopo SFE. Questo risultato indica che SFE potrebbe prevenire un'eccessiva pronazione durante l'andatura. Sono comunque necessari ulteriori studi per rivelare gli effetti dell'SFE sulle pressioni plantari nella sottoregione del piede anteriore, medio e posteriore. Questo studio presenta alcune limitazioni, in quanto il punteggio di disabilità era più alto in nel gruppo SFE rispetto al gruppo di controllo alla valutazione iniziale perché i partecipanti non erano assegnati in modo casuale ai gruppi; il rapporto tra i sessi dei gruppi era diverso anche se i risultati di base dei gruppi erano simili tranne per il punteggio di disabilità. Per questo si può sospettare come uno dei fattori che causano un punteggio di disabilità più elevato nel gruppo SFE potrebbe essere che il maggior numero di donne nella in quel gruppo rispetto al gruppo di controllo. L'assegnazione dei gruppi, poi, è stata condotta sulla base della volontà dei partecipanti per cercare di aumentare l'aderenza agli esercizi. Inoltre, non è stata valutata l'efficacia a lungo termine di SFE.

Nello studio di Okamura del 2019 si può vedere come programma di esercizi di 8 settimane con SFE abbia ridotto il tempo durante il quale l'altezza navicolare ha raggiunto il suo valore minimo, ciò ha mostrato come il windlass mechanism sia stato rafforzato eseguendo tale esercizio. Nei soggetti con piede piatto tale meccanismo risulta compromesso definito come una elevazione dell'arco mediale longitudinale ritardata o assente associata a dorsiflessione passiva della punta, sebbene sia formato principalmente dall'aponeurosi plantare anche i muscoli intrinseci plantari contribuiscono a questo meccanismo aumentando la tensione nell'aponeurosi plantare poiché diversi di questi si attaccano all'aponeurosi plantare. In questo studio, non sono stati valutati tali cambiamenti nella forza muscolare; tuttavia, uno studio precedente ha riferito che la forza dei muscoli flessori dell'alluce è aumentata in modo significativo dopo un simile programma di esercizi di 8 settimane. In questo studio il Dynamic Navicular Drop non è cambiato con l'intervento dell'esercizio, questo è possibile in quanto la precisione della misurazione non fosse sufficiente per rilevarne le variazioni per il tempo ridotto necessario affinché l'altezza navicolare raggiungesse il valore minimo; in un altro studio è stato riferito che la misurazione del Dynamic Navicular Drop utilizzando un sistema di analisi del movimento tridimensionale ha avuto una variazione minima rilevabile di circa il 38% del Dynamic Navicular Drop medio, potrebbero essere necessari metodi di misurazione più accurati per rilevarne il miglioramento. Il programma di esercizi ha provocato una leggera diminuzione della forza massima di reazione al suolo durante l'andatura, il picco di forza di reazione al suolo medio indebolito senza una diminuzione della forza di progressione potrebbe indicare una trasmissione della forza piede-terra agevolata. Come risultato dallo studio di Mulligan il programma di allenamento ha portato ad un miglioramento nell'allineamento statico del piede; in questo studio il Foot Posture Index correlato al calcagno è migliorato dopo l'intervento di esercizio, in modo simile ad uno studio precedente. Pertanto, SFE

può correggere efficacemente l'allineamento statico del piede in soggetti con piede piatto; tuttavia, gli indicatori clinici dell'allineamento statico del piede, come il test di caduta navicolare ed il Foot Posture Index, tendono ad essere distorti poiché queste valutazioni sono state eseguite manualmente o visivamente, l'investigatore potrebbe aver sopravvalutato l'effetto nella seconda misurazione. Lo studio presenta diversi limiti, primo dei quali è dato dal numero limitato di partecipanti a questo studio pilota; la seconda limitazione è la poca variabilità clinica poiché nonostante i partecipanti avessero un allineamento di piede piatto erano asintomatici; terzo limite è dato dal fatto che nonostante sarebbe meglio eseguire l'esercizio su entrambi i lati questo non è stato eseguito per ridurre il tempo necessario all'esercizio; infine, ultimo limite è dato dalle valutazioni eseguite solo durante l'andatura.

Attualmente sono in corso di valutazione due studi dei quali non sono stati pubblicati ancora i risultati:

- il primo (33) ha lo scopo di confrontare gli effetti dei muscoli del piede intrinseci e dell'esercizio di rafforzamento tibiale posteriore e delle solette di supporto dell'arco sulla postura del piede, sull'equilibrio e sulle variabili della pressione plantare in soggetti con piede piatto; 42 individui con piede piatto saranno reclutati nello studio secondo i criteri di inclusione, i partecipanti saranno divisi casualmente in tre gruppi: (1) Esercizio, (2) Soletta, (3) Esercizio più Soletta; gli esercizi verranno eseguiti 3 volte alla settimana per 6 settimane, mentre le solette su misura verranno indossate per 6 settimane; la postura del piede verrà valutata utilizzando il Navicular Drop, l'indice di Valgo ed il Foot Posture Index, le prestazioni della bilancia saranno valutate dal Balance Master System e le variabili di pressione plantare verranno registrate dal tappetino sensibile alla pressione in tre sessioni: (1) Posizione eretta, (2) Camminare a velocità diverse, (3) Camminare subito dopo il test di rialzo del tallone per la resistenza; le valutazioni saranno effettuate prima / dopo l'intervento e al follow-up di 6 settimane
- il secondo (34) ha lo scopo di questo studio è di esaminare gli effetti della SFE rispetto a un esercizio placebo nell'indice della postura del piede dopo un periodo giornaliero di 4 settimane; in questo studio, la postura del piede sarà valutata con Foot Posture Index ed il Navicular Drop; sono state applicate diverse tecniche di allenamento dell'equilibrio per migliorare la stabilità posturale e la SFE sono stati ampiamente accettati dai fisioterapisti per migliorare l'arco longitudinale del piede e i segmenti del corpo; l'ipotesi delle ricerche è che la SFE può contribuire a migliorare la postura del piede pronato, e che questo trattamento può consentire la normalizzazione della postura del piede e l'interazione cinematica delle articolazioni degli arti inferiori durante la deambulazione.

Limiti dello studio:

- Esclusione di articoli per lingue diverse da italiano ed inglese
- Affidabilità sconosciuta per alcuni strumenti utilizzati per le misure di outcome
- Mancanza di gold standard per valutazione degli aspetti presi in considerazione in questo studio
- Livello di qualità metodologica degli studi inclusi
- Numero ridotto degli studi trovati
- Estrema variabilità dei campioni nei soggetti analizzati

In futuro saranno necessari ulteriori studi più specifici per quel che riguarda il tipo di postura del piede o su soggetti con patologie specifiche per approfondire alcuni aspetti per i quali non è stato possibile giungere a conclusioni effettive.

CONCLUSIONI

Questa revisione ha evidenziato come gli esercizi di forza per la muscolatura intrinseca del piede possano modificare in maniera positiva il controllo statico e dinamico del piede.

Si è visto come l'SFE sia più efficace del TCE per mantenere l'altezza dell'arco ML durante le attività di equilibrio dinamico, anche se, i risultati differivano tra gli arti dominanti e quelli non dominanti, poiché semplicemente praticare alcuni complessi compiti di bilanciamento sull'arto dominante migliorava le prestazioni in tutti i gruppi; sembra, perciò, che un programma di formazione efficace per l'IFM in una popolazione giovane e sana dovrebbe includere sia le SFE che le complesse attività di equilibrio degli arti singoli per garantire i migliori risultati.

Risulta inoltre come un programma di allenamento di quattro settimane che enfatizza il reclutamento dei muscoli intrinseci plantari può avere un valore nel supportare dinamicamente l'arco ML, e come tale allenamento possa avere un ruolo aggiuntivo nella prevenzione di un eccessivo ND, influenzando il controllo dinamico durante le attività funzionali e può avere un valore potenziale come parte di un approccio globale per affrontare la meccanica anormale dell'iperpronazione in un sottoinsieme selezionato di soggetti.

Per quanto riguarda i pazienti con piedi pronati i risultati suggeriscono che sono più efficaci nel fornire l'allenamento alla IFM in tali soggetti tra quelli con distorsione cronica della caviglia. Oltre a questo i risultati indicano come un programma di sei settimane con SFE era efficace nel ridurre ND, pronazione del piede, dolore del piede e disabilità nei soggetti con piede piatto, tale aumento della forza plantare del mesopiede mediale dopo la SFE potrebbe derivare dall'incremento del carico plantare del mesopiede laterale con conseguente riduzione della pronazione del piede. Sempre nei soggetti con piede piatto SFE ha effettivamente modificato i parametri temporali della cinematica del piede durante l'andatura, questo cambiamento, ha abbreviato il tempo in cui il navicolare raggiungere il suo valore minimo di altezza, ed ha indicato un meccanismo di verricello migliorato in tali soggetti.

Ultimo punto, si è visto come un ampio programma di esercizi per i piedi abbia giovato alle donne in gravidanza, per cui, aggiungere un programma completo di esercizi per i piedi insieme ad altri esercizi prenatali di routine può ridurre il calo dell'altezza dell'arco e può aiutare le donne in gravidanza a prevenire disfunzioni muscoloscheletriche correlate al piede.

TABELLE SINOTTICHE

Valutazione statica:

Autori: Banu Unver, Emin Ulas Erdem e Eda Akbas

Titolo: "Effects of Short-Foot Exercises on Foot Posture, Pain, Disability and Plantar Pressure in Pes Planus"

Disegno di studio	Trial controllato non randomizzato
Popolazione	41 soggetti con piede piatto, divisi in due gruppi, un gruppo short-foot exercises (SFE) ed un gruppo di controllo (CG) divisi in base alla loro disponibilità
Outcome	<ul style="list-style-type: none"> - Navicular drop (ND) - Foot Posture Index (FPI) - Foot Function Index (FFI) - Piattroforma a pressione
Qualità dello studio	Serious risk
Risultati	I punteggi FPI non rilevano differenze significative all'analisi inter-gruppo ma intra-gruppo rileva una riduzione significativa nel gruppo SFE dopo 6 settimane dalla valutazione iniziale ($p < 0.05$), questa variazione non è statisticamente significativa nel gruppo di controllo; nei valori di ND non rileva differenze significative inter-gruppo ma intra-gruppo mostra come il gruppo SFE abbia significativamente ridotto il ND a 6 settimane rispetto alla baseline ($p < 0.05$) mentre non vi erano variazioni importanti nel gruppo di controllo dopo lo stesso periodo ($p > 0.05$); dolore e disabilità si sono significativamente ridotti, la forza plantare massima nel mesopiede è aumentata nel gruppo SFE dopo le 6 settimane ($p < 0.05$)
Conclusioni	Un programma di sei settimane con SFE è efficace nel ridurre ND, pronazione del piede, dolore del piede e disabilità nei soggetti con piede piatto, tale aumento della forza plantare del mesopiede mediale dopo la SFE potrebbe derivare dall'incremento del carico plantare del mesopiede laterale con conseguente riduzione della pronazione del piede
Limiti	Il punteggio di disabilità era più alto in nel gruppo SFE rispetto al gruppo di controllo alla valutazione iniziale in quanto i partecipanti non erano assegnati in modo casuale ai gruppi; il rapporto tra i sessi dei gruppi era diverso anche se i risultati di base dei gruppi erano simili tranne per il punteggio di disabilità; l'assegnazione dei gruppi è stata condotta sulla base della volontà dei partecipanti; non è stata valutata l'efficacia a lungo termine di SFE.

Autori: Kyoung A. Chung, Eunsang Lee e Seungwon Lee

Titolo: "The effect of intrinsic foot muscle training on medial longitudinal arch and ankle stability in patients with chronic ankle sprain accompanied by foot pronation"

Disegno di studio	RCT
Popolazione	Sono stati selezionate 30 persone (15 uomini e 15 donne), divisi in due gruppi (gruppo SFE e gruppo TCE) in maniera casuale
Outcome	<ul style="list-style-type: none">- Cumberland ankle instability test (CAIT)- Navicular Drop (ND)
Qualità dello studio	Low risk
Risultati	Il punteggio CAIT mostra un incremento significativo nel gruppo SFE ma non nel gruppo TCE; riscontrando un decremento significativo nel gruppo SFE ($p < 0.05$) passando da un valore di 16.60 mm a 11.13 mm, anche nel gruppo TCE si ha un decremento importante ($p < 0.05$) passando da un valore di 16.47 mm a 12.53 mm, ma analizzando i cambiamenti fra i due gruppi si può vedere come quello SFE abbia avuto un decremento maggiore nel punteggio
Conclusioni	I risultati suggeriscono come SFE sia più efficace nel fornire l'allenamento della muscolatura intrinseca del piede per i pazienti con piedi pronati tra i pazienti con distorsione cronica della caviglia; inoltre SFE può essere utilizzato per incrementare la stabilità della caviglia
Limiti	Numero limitato di partecipanti a questo studio; poca variabilità clinica

Autori: Preetha Ramachandra, Pratao Kumar, Asha Kamath e Arun G. Maiya

Titolo: "Effect of intrinsic and extrinsic foot muscle strengthening exercises on foot parameters and foot dysfunctions in pregnant women: a randomised controlled trial"

Disegno di studio	RCT
Popolazione	86 donne in gravidanza per lo studio, i soggetti sono stati assegnati in maniera casuale ad uno dei due gruppi, il gruppo studio ed il gruppo di controllo
Outcome	<ul style="list-style-type: none">- Larghezza del piede- Lunghezza del piede- Navicular Drop (ND)- Rapporto troncato normalizzato dell'altezza del navicolare
Qualità dello studio	Low risk
Risultati	Riscontra una differenza significativa ($p < 0.001$) fra il gruppo studio e quello di controllo per quanto riguarda il ND; differenza significativa tra il gruppo di studio e il gruppo di controllo in termini di larghezza del piede ($p < 0.001$) ma non per quel che riguarda la lunghezza del piede ($p = 0.08$); differenza significativa ($p < 0.001$) nel rapporto troncato normalizzato dell'altezza del navicolare fra il gruppo studio e quello di controllo
Conclusioni	Un ampio programma di esercizi per i piedi abbia giovato alle donne in gravidanza, per cui, aggiungere un programma completo di esercizi per i piedi insieme ad altri esercizi prenatali di routine può ridurre il calo dell'altezza dell'arco e può aiutare le donne in gravidanza a prevenire disfunzioni muscoloscheletriche correlate al piede
Limiti	Non cecità dell'investigatore rispetto il gruppo di intervento; i risultati utilizzati sono stati presi da un questionario auto-riferito

Valutazione statica e dinamica:

Autori: Edward P. Mulligan, Patrick G. Cook

Titolo: "Effect of plantar intrinsic muscle training on medial longitudinal arch morphology and dynamic function"

Disegno di studio	Studio pilota
Popolazione	21 volontari in un unico gruppo
Outcome	<ul style="list-style-type: none">- Navicular Drop (ND)- Cambiamenti nell'arch height index (AHI)- Performance della muscolatura intrinseca del piede (IFMT)- Performance nello star excursion baalance test (SEBT)
Qualità dello studio	Moderate risk
Risultati	Decremento significativo del ND i soggetti avevano un ND di 12.6 mm che aveva avuto una significativa riduzione sino a 10.9 mm dopo 4 settimane ($p= 0.04$) e un valore di 10.5 dopo 8 settimane ($p= 0.01$), non c'è stato un cambiamento significativo tra i risultati del ND fra le 4 e le 8 settimane; AHI e IFMT stesso andamento con una variazione significativa rispetto alla baseline nelle 4 e 8 settimane ($p< 0.05$), ma nessuna differenza fra la 4 settimana e la 8 settimana ($p> 0.05$); incremento significativo della distanza coperta in tutte le direzioni del SEBT ($p< 0.05$) rispetto all'inizio nella 4 settimana e nella 8 settimana, eccezione fatta per quella anteriore ($p= 0.075$)e, ad eccezione di quella posteromediale ($p= 0.04$), non ci sono state variazioni significative fra la 4 e 8 settimana in nessuna delle altre direzioni ($p> 0.05$)
Conclusioni	Un programma di allenamento di quattro settimane che enfatizza il reclutamento dei muscoli intrinseci plantari può avere un valore nel supportare dinamicamente l'arco ML, e come tale allenamento possa avere un ruolo aggiuntivo nella prevenzione di un eccessivo ND, influenzando il controllo dinamico durante le attività funzionali
Limiti	Valuta la risposta dell'allenamento in un campione relativamente piccolo in una popolazione asintomatica con caratteristiche demografiche strette e capacità alquanto omogenee nei loro compiti dinamici e funzionali; i soggetti sono stati istruiti negli esercizi immediatamente prima della valutazione di iniziale, è possibile che questa sessione di allenamento abbia attivato la consapevolezza dei muscoli dormienti e influenzato le misurazioni dinamiche basali

Autori: Scott K. Lynn, Ricardo A. Padilla e Kevin K.W. Tsang

Titolo: "Differences in Static- and Dynamic Balance Task Performance After 4 Weeks of Intrinsic-Foot-Muscle Training: The Short-Foot Exercise Versus the Towel-Curl Exercise"

Disegno di studio	RCT
Popolazione	24 soggetti assegnati in maniera randomizzata in 3 gruppi: short-foot exercise (SFE), towel-curl exercise (TCE) e gruppo di controllo (CG)
Outcome	<ul style="list-style-type: none"> - Navicular Drop (ND) - ROM del centro di pressione (COP) nella direzione mediolaterale (ML) nei test di equilibrio: <ul style="list-style-type: none"> a) 30 secondi su un solo piede (Test equilibrio statico) b) Y Balance Test (Test equilibrio dinamico)
Qualità dello studio	High risk
Risultati	ND cambia senza trovare variazioni importanti fra i due gruppi ($p= 0.264$ per l'arto dominante e $p= 0.752$ per l'arto non dominante); non ci sono state differenze significative per l'esecuzione del test statico ($p= 0.309$ per l'arto dominante e $p=0.650$ per l'arto non dominante); per il test di equilibrio dinamico nell'arto non dominante, si è verificato un effetto significativo ($p< 0.01$) ed una significativa interazione ($p= 0.02$), i T-test hanno rivelato che solo i gruppi SFE ($p< 0.017$) e TCE ($p< 0.017$) hanno avuto una riduzione significativa del movimento ML COP dopo l'intervento mentre non vi era differenza nel gruppo di controllo ($p= 0.906$)
Conclusioni	SFE è più efficace del TCE per mantenere l'altezza dell'arco ML durante le attività di equilibrio dinamico; sembra che un programma di formazione efficace per l'IFM in una popolazione giovane e sana dovrebbe includere sia le SFE che le complesse attività di equilibrio degli arti singoli per garantire i migliori risultati
Limiti	La dimensione del campione relativamente piccola; il breve periodo di intervento; mancanza di una misurazione dell'altezza del navicolare in assenza di carico; assenza di un protocollo di pratica strutturato per Y-balance test; non sono stati raccolti i dati relativi ai modelli di attività o agli infortuni dei partecipanti verificatisi più di 6 mesi prima della partecipazione allo studio

Autori: Kazunori Okamura, Kengo Fukuda, Sadaaki Oki, Takeya Ono, Satoshi Tanaka e Shusaku Kanai

Titolo: "Effect of plantar intrinsic foot muscle strengthening exercise on static and dynamic foot kinematics: A pilot randomized controlled single-blind trial in individuals with pes planus"

Disegno di studio	RCT
Popolazione	20 partecipanti piede piatto sono stati assegnati in modo casuale al gruppo di esercizi o al gruppo di controllo
Outcome	<ul style="list-style-type: none"> - Navicular Drop (ND) - Foot Posture Index (FPI) - Navicular Drop Dinamico (DND)
Qualità dello studio	Low risk
Risultati	Riscontra un significativo effetto del tempo sui risultati del ND totali e come siano stati significativamente migliorati ($p < 0.001$) nei soggetti con piede piatto che aveva incluso nel gruppo; rileva un miglioramento significativo sia nel gruppo che eseguiva gli esercizi sia in quello di controllo, anche se nel primo i valori sono più evidenti ($p = 0.014$ gruppo esercizi, $p = 0.024$ gruppo di controllo); il DND non è variato dopo l'intervento di SFE, quello che è cambiato è il tempo in cui l'altezza navicolare raggiunge il suo valore minimo che risulta significativamente ridotto dopo 8 settimane del programma SFE ($p = 0.007$)
Conclusioni	Nei soggetti con piede piatto SFE ha effettivamente modificato i parametri temporali della cinematica del piede durante l'andatura, questo cambiamento, ha abbreviato il tempo in cui il navicolare raggiungere il suo valore minimo di altezza, ed ha indicato un meccanismo di verricello migliorato in tali soggetti
Limiti	Numero limitato di partecipanti a questo studio; poca variabilità clinica, nonostante i partecipanti avessero un allineamento di piede piatto risultavano asintomatici; esercizio eseguito solo su un lato per ridurre il tempo necessario anche se sarebbe consigliato eseguirlo con entrambi i lati; valutazioni eseguite solo durante l'andatura

BIBLIOGRAFIA

1. McKeon PO, Hertel J, Bramble D, Davis I. The foot core system: a new paradigm for understanding intrinsic foot muscle function. *Br J Sports Med*. 2015 Mar 1;49(5):290-.
2. McKenzie J. The foot as a half-dome. *British medical journal*. 1955 Apr 30;1(4921):1068.
3. Fraser JJ, Feger MA, Hertel J. Midfoot and forefoot involvement in lateral ankle sprains and chronic ankle instability. Part 1: anatomy and biomechanics. *International journal of sports physical therapy*. 2016 Dec;11(6):992.
4. McKeon PO, Hertel JA. Diminished plantar cutaneous sensation and postural control. *Perceptual and motor skills*. 2007 Feb;104(1):56-66.
5. Sterne JA, Hernán MA, Reeves BC, Savović J, Berkman ND, Viswanathan M, Henry D, Altman DG, Ansari MT, Boutron I, Carpenter JR. ROBINS-I: a tool for assessing risk of bias in non-randomised studies of interventions. *bmj*. 2016 Oct 12;355:i4919.
6. Sterne JA, Savović J, Page MJ, Elbers RG, Blencowe NS, Boutron I, Cates CJ, Cheng HY, Corbett MS, Eldridge SM, Emberson JR. RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. *bmj*. 2019 Aug 28;366.
7. Virgili G. Strumenti di valutazione metodologica degli studi non randomizzati. *Innovazione e sostenibilità del Servizio sanitario*. 2017 Jun;38:93.
8. Shea BJ, Hamel C, Wells GA, Bouter LM, Kristjansson E, Grimshaw J, et al. AMSTAR is a reliable and valid measurement tool to assess the methodological quality of systematic reviews. *J Clin Epidemiol*. ottobre 2009;62(10):1013–20
9. Unver B, Erdem EU, Akbas E. Effects of Short-Foot Exercises on Foot Posture, Pain, Disability and Plantar Pressure in Pes Planus. *Journal of sport rehabilitation*. 2019:1-6.
10. Chung KA, Lee E, Lee S. The effect of intrinsic foot muscle training on medial longitudinal arch and ankle stability in patients with chronic ankle sprain accompanied by foot pronation. *Physical Therapy Rehabilitation Science*. 2016 Jun 30;5(2):78-83.
11. Ramachandra P, Kumar P, Kamath A, Maiya AG. Effect of intrinsic and extrinsic foot muscle strengthening exercises on foot parameters and foot dysfunctions in pregnant women: a randomised controlled trial. *International Journal of Therapy And Rehabilitation*. 2019 Feb 2;26(2):1-1.
12. Mulligan EP, Cook PG. Effect of plantar intrinsic muscle training on medial longitudinal arch morphology and dynamic function. *Manual therapy*. 2013 Oct 1;18(5):425-30.
13. Lynn SK, Padilla RA, Tsang KK. Differences in static-and dynamic-balance task performance after 4 weeks of intrinsic-foot-muscle training: the short-foot exercise versus the towel-curl exercise. *Journal of sport rehabilitation*. 2012 Nov 1;21(4):327-33.

14. Okamura K, Fukuda K, Oki S, Ono T, Tanaka S, Kanai S. Effects of plantar intrinsic foot muscle strengthening exercise on static and dynamic foot kinematics: A pilot randomized controlled single-blind trial in individuals with pes planus. *Gait & posture*. 2020 Jan 1;75:40-5.
15. Redmond AC, Crosbie J, Ouvrier RA. Development and validation of a novel rating system for scoring standing foot posture: the Foot Posture Index. *Clinical biomechanics*. 2006 Jan 1;21(1):89-98.
16. Williams DS, McClay IS. Measurements used to characterize the foot and the medial longitudinal arch: reliability and validity. *Physical therapy*. 2000 Sep 1;80(9):864-71.
17. Jam B. Evaluation and retraining of the intrinsic foot muscles for pain syndromes related to abnormal control of pronation. *Advanced Physical Therapy Education Institute*. 2006 May;21:1-8.
18. Brody DM. Techniques in the evaluation and treatment of the injured runner. *The orthopedic clinics of north America*. 1982 Jul;13(3):541-58.
19. Munro AG, Herrington LC. Between-session reliability of the star excursion balance test. *Physical Therapy in Sport*. 2010 Nov 1;11(4):128-32.
20. Plisky PJ, Rauh MJ, Kaminski TW, Underwood FB. Star Excursion Balance Test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*. 2006 Dec;36(12):911-9.
21. Drewes LK, Beazell J, Mullins M, Hertel J. Four weeks of short foot exercises affect lower extremity function, but not alignment, in patients with lower extremity injuries. *J Athl Train*. 2008;43(3):105-6.
22. Newsham KR. Strengthening the intrinsic foot muscles. *International Journal of Athletic Therapy and Training*. 2010 Jan 1;15(1):32-5.
23. Fiolkowski P, Brunt D, Bishop M, Woo R, Horodyski M. Intrinsic pedal musculature support of the medial longitudinal arch: an electromyography study. *The Journal of foot and ankle surgery*. 2003 Nov 1;42(6):327-33.
24. Headlee DL, Leonard JL, Hart JM, Ingersoll CD, Hertel J. Fatigue of the plantar intrinsic foot muscles increases navicular drop. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2008 Jun 1;18(3):420-5.
25. Soysa A, Hiller C, Refshauge K, Burns J. Importance and challenges of measuring intrinsic foot muscle strength. *Journal of foot and ankle research*. 2012 Dec;5(1):29.
26. Kelly LA, Kuitunen S, Racinais S, Cresswell AG. Recruitment of the plantar intrinsic foot muscles with increasing postural demand. *Clinical biomechanics*. 2012 Jan 1;27(1):46-51.
27. Shrader JA, Popovich Jr JM, Gracey GC, Danoff JV. Navicular drop measurement in people with rheumatoid arthritis: interrater and intrarater reliability. *Physical therapy*. 2005 Jul 1;85(7):656-64.

28. Jung DY, Kim MH, Koh EK, Kwon OY, Cynn HS, Lee WH. A comparison in the muscle activity of the abductor hallucis and the medial longitudinal arch angle during toe curl and short foot exercises. *Physical Therapy in Sport*. 2011 Feb 1;12(1):30-5.
29. Lee ES. Effects of intrinsic foot muscle training on proprioception [Master thesis]. Seoul: Sahmyook University. 2015.
30. Sulowska I, Oleksy Ł, Mika A, Bylina D, Sołtan J. The influence of plantar short foot muscle exercises on foot posture and fundamental movement patterns in long-distance runners, a non-randomized, non-blinded clinical trial. *PloS one*. 2016;11(6).
31. Lee JH, Cynn HS, Yoon TL, Choi SA, Kang TW. Differences in the angle of the medial longitudinal arch and muscle activity of the abductor hallucis and tibialis anterior during sitting short-foot exercises between subjects with pes planus and subjects with neutral foot. *Journal of back and musculoskeletal rehabilitation*. 2016 Jan 1;29(4):809-15.
32. Panichawit C, Bovonsunthonchai S, Vachalathiti R, Limpasutirachata K. Effects of Foot Muscles Training on Plantar Pressure Distribution during Gait, Foot Muscle Strength, and Foot Function in Persons with Flexible Flatfoot. *Journal of the Medical Association of Thailand= Chotmaihet thangphaet*. 2015 Jun;98:S12-7.
33. Kirmizi M. Effects of Exercise and Insole on Foot Posture, Balance and Plantar Pressure Variables in Individuals With Pes Planus. 2020
34. Mendez AC. The Effects of Short-foot Exercises in Foot Posture. 2020