



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. 2020/2021

Campus Universitario di Savona

# **“Muscolatura intrinseca del piede: quali gli esercizi migliori per le patologie del distretto piede-caviglia?”**

Candidato:

*Dott.ssa FT Taccioli Serena*

Relatore:

*Dott.ssa FT - OMT Soleika Salvioli*

# INDICE

<b>ABSTRACT</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUZIONE</b>	<b>5</b>
1.1 STRUTTURA DEL PIEDE	5
1.2 MECCANISMI PATOLOGICI	6
1.3 ESERCIZI DELLA MUSCOLATURA INTRINSECA	7
<b>2. MATERIALI E METODI</b>	<b>9</b>
2.1 DISEGNO DI STUDIO E QUESITO CLINICO	9
2.2 MODELLO PICO	10
2.3 PAROLE CHIAVE E STRINGA DI RICERCA	10
2.4 BANCHE DATI	10
2.5 CRITERI DI INCLUSIONE ED ESCLUSIONE	12
2.6 VALUTAZIONE QUALITÀ DEGLI STUDI	12
2.7 SELEZIONE DEGLI STUDI E RACCOLTA DATI	13
<b>3. RISULTATI</b>	<b>14</b>
3.1 SELEZIONE DEGLI STUDI	14
3.2 CARATTERISTICHE DEGLI STUDI	16
3.3 VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL DEGLI STUDI	20
3.4 VALUTAZIONE DEL RISK OF BIAS	21
<b>4. DISCUSSIONE</b>	<b>23</b>
4.1 CORRELAZIONE TRA FORZA MUSCOLARE E ASPETTI FUNZIONALI DEL PIEDE	23
4.2 LIMITI DELLA REVISIONE	25
4.3 IMPLICAZIONE PER LA RICERCA	26
<b>5. CONCLUSIONI</b>	<b>26</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>27</b>

## ABSTRACT

**Background:** La debolezza della muscolatura intrinseca è stata collegata a patologie che provocano dolore e/o disfunzione al distretto piede/caviglia e disabilità, in termini di scarsa qualità della vita. I muscoli intrinseci del piede (Intrinsic Foot Muscles – IFM) hanno un ruolo fondamentale nel mantenimento della normale funzione del piede. Secondo il “foot core paradigm”, sono i principali stabilizzatori locali che hanno un compito importante, simile a quello svolto dai muscoli profondi del tronco nella stabilizzazione vertebrale lombosacrale (core stability).

**Obiettivo:** lo scopo di questa revisione sistematica è quello di indagare quali sono gli esercizi più utilizzati ed efficaci per ottenere una maggiore attivazione della muscolatura intrinseca del piede o un rinforzo di essa, e se ad un eventuale cambiamento di tale muscolatura si associa un miglioramento dei sintomi del paziente o una migliore funzionalità del piede/arto o nelle attività di vita quotidiana.

**Materiali e Metodi:** la presente revisione è stata effettuata ricercando articoli nelle banche dati PubMed, PEDro e Cochrane. Sono stati inclusi studi sperimentali, RCTs considerando i seguenti criteri d’inclusione: studi in inglese di cui è stato possibile reperire il full text aventi come popolazione soggetti con patologie al piede di età maggiore o uguale a 18 anni e che valutassero la forza dei muscoli intrinseci del piede, in associazione ad un miglioramento dei sintomi del paziente o una migliore funzionalità del piede/arto o nelle ADL. **Risultati:** Le stringhe di ricerca inizialmente hanno prodotto 631 articoli; in seguito all’esclusione di duplicati e a screening per titolo e abstract sono rimasti 43 records. Attraverso la lettura full text degli articoli rimanenti, sono stati ottenuti 4 articoli soddisfacenti i criteri d’inclusione/esclusione. La qualità metodologica degli studi analizzati è stata valutata tramite la PEDro’s scale ed è stata effettuata la valutazione del Risk of Bias, utilizzando il Cochrane Collaboration Tool for Assessing Risk of Bias.

**Conclusioni:** Questa revisione ha evidenziato come l’allenamento della muscolatura intrinseca del piede possa modificarne la funzionalità, in termini di equilibrio, sia statico che dinamico. Lo *Short Foot Exercise*, sembrerebbe essere uno degli esercizi più efficaci, oltre al fatto che risulta essere il più

studiato, per mantenere l'altezza dell'arco medio-laterale della volta plantare e quindi determinare un miglioramento durante attività che richiedono abilità di equilibrio dinamico e statico.

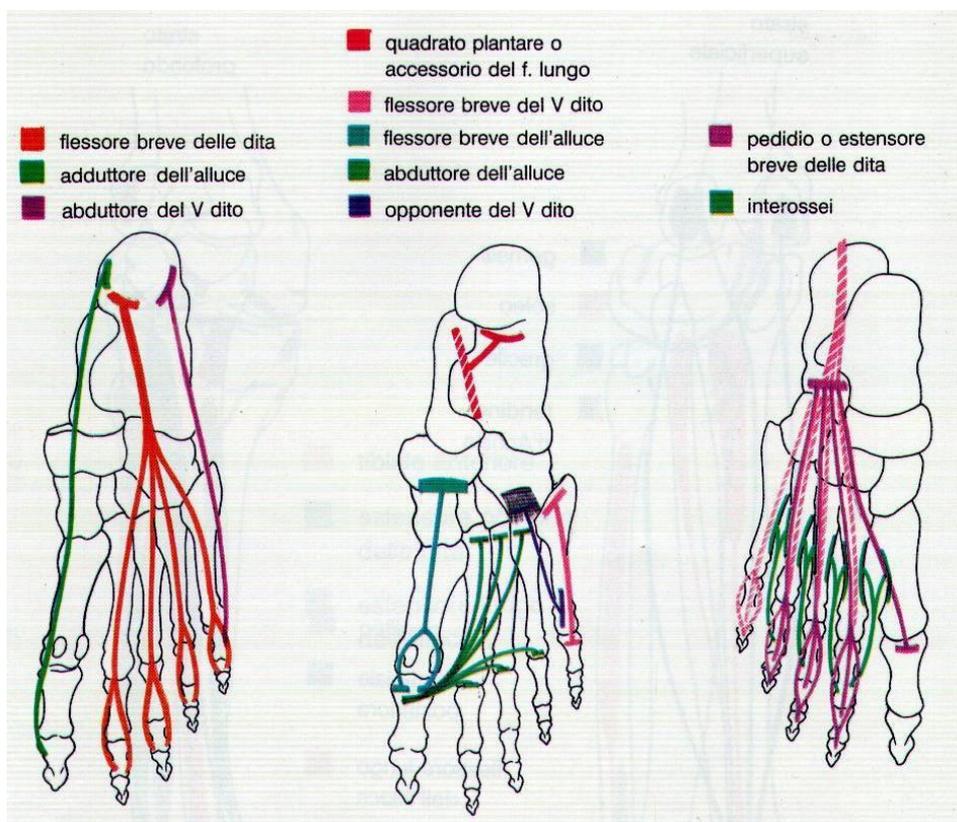
# CAPITOLO 1

## INTRODUZIONE

### 1.1 STRUTTURA DEL PIEDE

Il piede è una struttura complessa che può svolgere un'ampia varietà di funzioni in diversi compiti, sia posturali che dinamici (1). Questa versatilità può essere raggiunta solo attraverso l'interazione tra diversi sottosistemi: passivo, attivo e neurale. Il sottosistema passivo è costituito da ossa, legamenti, fascia plantare e capsule articolari che mantengono la conformazione degli archi del piede. Il sottosistema attivo è costituito da tendini, muscoli, che si suddividono in intrinseci (stabilizzatori locali) ed estrinseci (mobilizzatori globali). Il sottosistema neurale è costituito da recettori sensoriali all'interno delle strutture attive e passive, ad oggi è ancora poco chiaro quale possa essere il contributo sensoriale dato dai muscoli intrinseci, però si conosce che questi recettori possono essere modulati tramite esercizi specifici (2)(3).

Figura 1 - Muscolatura intrinseca del piede



I muscoli intrinseci presentano origine ed inserzione nel piede e si differenziano in due categorie: plantari e dorsali.

I muscoli intrinseci plantari sono rappresentati da:

Plantari mediali (muscoli del primo dito)

- Abduttore dell'alluce
- Flessore breve dell'alluce
- Adduttore dell'alluce

Plantari laterali (muscoli del V° dito)

- Abduttore del V° dito del piede
- Flessore breve del V° dito del piede
- Adduttore del V° dito del piede

Plantari intermedi:

- Flessore breve delle dita centrali del piede
- Quadrato della pianta del piede
- Lombricali
- Interossei

Mentre i muscoli intrinseci dorsali sono rappresentati da:

- Muscolo estensore breve dell'alluce
- Muscoli estensori brevi delle dita del piede

## 1.2 MECCANISMI PATOLOGICI

Si ritiene che la forza insufficiente dei muscoli intrinseci del piede o il loro improprio reclutamento siano alla base di molte patologie correlate al piede (4). Secondo alcuni autori la causa biomeccanica primaria di alcune patologie di piede e caviglia, non è un'eccessiva pronazione, ma piuttosto una mancanza di controllo della pronazione e per questo la muscolatura intrinseca del piede potrebbe

avere un ruolo funzionale per la stabilizzazione dello stesso, durante il cammino, nell'equilibrio e nelle attività funzionali di vita quotidiana (5) (19).

I muscoli intrinseci del piede (Intrinsic Foot Muscles – IFM) hanno un ruolo fondamentale nel mantenimento della normale funzione del piede. Secondo il “foot core paradigm”, sono i principali stabilizzatori locali che hanno un compito importante, simile a quello svolto dai muscoli profondi del tronco nella stabilizzazione vertebrale lombosacrale (core stability) (6).

La debolezza di tale muscolatura è stata collegata a patologie che provocano dolore e/o disfunzione al distretto piede/caviglia (7). Le patologie più comuni del distretto piede-caviglia in cui vengono studiati gli esercizi per la muscolatura intrinseca del piede sono:

- Piede piatto, caratterizzato da una riduzione in altezza della volta plantare associata ad una pronazione dell'articolazione sottoastragalica, valgismo del calcagno e ad una supinazione dell'avampiede.
- Piede Cavo, piede che presenta un'accentuazione dell'arco longitudinale plantare
- Fasciopatia plantare, patologia comune nei runners ma non solo, nella quale è stato ipotizzato esservi correlazione con la debolezza dei muscoli intrinseci del piede (8), in quanto potrebbe essere destabilizzato l'arco longitudinale mediale, causando un aumento dello sforzo sulla fascia plantare.
- Metatarsalgia
- Distorsione di caviglia (Lateral Ankle Sprain – LAS) e CAI (Chronic Ankle Instability)
- Alluce valgo/rigido
- Osteoartrosi della prima articolazione metatarso-falangea

### **1.3 ESERCIZI MUSCOLATURA INTRINSECA**

I muscoli intrinseci del piede possono essere efficacemente allenati utilizzando degli esercizi terapeutici specifici. Tra gli esercizi più studiati in letteratura, vi sono: lo Short-foot exercise (SFE), il Toe-spread-out exercise (TSO), il First- to second- to Fifth-Toe-extension exercise, il Towel-curl exercise (TCE) (9)(10).

Lo *Short Foot exercise* è un esercizio ampiamente studiato ed utilizzato durante interventi terapeutici di allenamento dell'equilibrio, sviluppato recentemente per migliorare la propriocezione della caviglia e rafforzare i muscoli intrinseci del piede, in modo da elevare e sostenere l'arco longitudinale mediale (MLA) del piede e migliorare l'equilibrio in piedi (11).

Lo SFE viene eseguito tentando di tirare la testa del primo metatarso verso il calcagno, senza arricciare le dita dei piedi (12).

Per prevenire un evento distorsivo di caviglia, l'interazione sinergica che vi è tra i muscoli estrinseci del piede, motori globali e quelli intrinseci, stabilizzatori locali dell'articolazione della caviglia è fondamentale. In particolare, gli IFM sono attaccati alle ossa tarsali, metatarsali e alle falangi delle dita dei piedi, che stabilizzano il piede a livello segmentale (13).

Il *Toe-spread-out exercise* è un esercizio di distensione della punta del piede, ovvero delle sole dita. Il TSO viene eseguito sollevando ed allargando le dita dei piedi, mantenendo il tallone e la parte anteriore del piede (articolazioni metatarsali) a terra. Mentre le dita dei piedi sono distesi, viene spinto il quinto dito verso l'esterno e verso il pavimento, infine segue la spinta del primo dito verso il basso e verso l'interno del piede (14).

Il *Towel-curl exercise* viene utilizzato per rinforzare il flessore lungo e breve delle dita, i muscoli lombricali e il flessore lungo dell'alluce. Contrariamente a quest'ultimo, il SFE viene eseguito per attivare i muscoli intrinseci del piede tirando le teste metatarsali verso il tallone, mentre i flessori delle dita sono rilassati (15)(17).

Un corretto controllo neuromuscolare degli IFM è essenziale per stabilizzare il piede, durante la fase in appoggio nel cammino e per controllare il movimento (16).

# CAPITOLO 2

## MATERIALI E METODI

### 2.1 Disegno di studio e quesito clinico

Per la strutturazione di questa revisione sistematica si è cercato di essere il più coerenti possibile con le linee guida PRISMA statement (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Metanalyses).

Non è stato registrato un protocollo di revisione su PROSPERO (International Prospective Register of Systematic Review).

Lo scopo di questo studio è quello di rispondere, tramite una revisione sistematica della letteratura di studi sperimentali ed osservazionali, ad un quesito clinico: *“Quali sono gli esercizi più efficaci per una migliore attivazione e rinforzo della muscolatura del piede, che si traducono in miglioramento sintomatologico o funzionale del piede, in paziente con patologie distretto caviglia-piede?”*.

La ricerca intende quindi individuare, all'interno di una popolazione di soggetti con problematiche al distretto piede-caviglia, l'esistenza di esercizi più utilizzati ed efficaci che comportino non solo una maggiore attivazione della muscolatura intrinseca del piede o un rinforzo di essa, ma se ad eventuale cambiamento, di tale muscolatura, si associa un miglioramento dei sintomi del paziente o una migliore funzionalità del piede/arto o nelle ADL.

Lo sviluppo della revisione si basa sul susseguirsi di specifiche fasi:

- elaborazione del quesito clinico;
- identificazione di parole chiave;
- sviluppo delle stringhe di ricerca;
- conduzione di ricerca sulle banche dati;
- selezione degli articoli secondo la linea guida adottata;
- sintesi ed elaborazione dei risultati;
- conclusioni.

## 2.2 Modello PICO

Per la formulazione del quesito clinico è stato utilizzato il modello PICO utile all'elaborazione della stringa di ricerca, all'interno del quale non è stato preso in considerazione l'elemento C (Comparison), in quanto il quesito di ricerca non prevede una tipologia di intervento da comparare con l'intervento sperimentale. Di seguito sono indicati i criteri seguendo il modello PICO.

## 2.3 Parole chiave e stringa di ricerca

Le parole chiave con le quali costruire la stringa di ricerca sono state identificate tramite il modello PICO utilizzate per le combinazioni di ciascun campo, sotto riportate nella Tabella 1.

Tabella 1 - parole chiave utilizzare all'interno della stringa di ricerca

KEYWORDS	
POPOLAZIONE	Foot diseases, plantar fasci*, ankle sprain, chronic ankle instability, ankle injur*, heel pain, metatarsalgia, pes planus (flatfoot), hallux valgus, hallux rigidus
INTERVENTO	Foot core, intrinsic foot strengthen exercise, plantar intrinsic muscle, short foot, toe spread out, foot-ankle exercise, intrinsic muscle strength
OUTCOME	Pain, VAS, NPRS, Intrinsic Foot and Ankle Ability Measure, FAAM, balance, disability, function, quality of life

## 2.4 Banche dati

Ai fini dello studio, le banche dati consultate sono state *PUBMED*, *Cochrane* e *PEDro*. Per effettuare la ricerca bibliografica su questi database sono stati utilizzati termini in riferimento ai campi del modello PIO come parole chiave e collegate tra di loro tramite gli operatori booleani (AND e OR). Di seguito sono riportate le stringhe utilizzate nelle rispettive banche dati con il relativo numero di *records* trovati.

Tabella 2 - parole chiave utilizzare all'interno della stringa di ricerca (PUBMED)

Banca dati	PUBMED
20/02/2022	((((((((((("plantar fasci*" [Title/Abstract]) OR ("ankle sprain" [Title/Abstract])) OR ("chronic ankle sprain" [Title/Abstract])) OR ("heel pain" [Title/Abstract])) OR ("foot pain" [Title/Abstract])) OR ("heel spur" [Title/Abstract])) OR (metatarsalgia [Title/Abstract])) OR ("hallux valgus" [Title/Abstract])) OR (flatfoot [Title/Abstract])) AND ("intrinsic muscle" [Title/Abstract])) OR ("intrinsic foot strength*" [Title/Abstract])) OR ("intrinsic muscle exercise" [Title/Abstract])) OR ("intrinsic muscle exercises" [Title/Abstract])) OR ("plantar intrinsic muscle" [Title/Abstract])) OR ("intrinsic foot strengthen exercise" [Title/Abstract]) ) OR ("foot exercise*")) OR ("plantar foot exercise*") AND (((((((("pain") OR "quality of life") OR "disability") OR "balance") OR "function") OR "impairment")
Risultati	511 records

Tabella 3 - Parole chiave utilizzare all'interno della stringa di ricerca (Cochrane)

Banca dati	Cochrane
20/02/2022	((("plantar fasci*") OR ("ankle instability") OR ("ankle sprain") OR ("heel pain") OR ("heel spur") OR ("hallux valgus") OR ("hallux rigidus") OR ("pes planus") OR (flatfoot) OR ("posterior tibial tendon dysfunction") OR ("foot diseases") OR ("metatarsalgia") AND (("foot core") OR (exercise) OR ("intrinsic foot") OR ("intrinsic foot exercise") OR ("intrinsic foot muscle") OR ("short foot") OR ("foot ankle exercise"))) AND (("foot ankle exercise") OR ("foot and ankle ability measure") OR (pain) OR ("balance") OR (function) OR ("quality of life") OR (disability) OR ("impairment"))
Risultati	112 records

Tabella 4 - Parole chiave utilizzare all'interno della stringa di ricerca (PEDro)

Banca dati	PEDro
20/02/2022	Abstract and Title: intrinsic foot Therapy: strength training Problem: muscle weakness Body Part: foot or ankle Method: clinical trial
Risultati	8 records

## 2.5 Criteri di inclusione ed esclusione

Lo screening degli articoli è stato effettuato da un unico revisore (ST) e, in caso di dubbio riguardo la pertinenza dello studio rispetto al quesito clinico, è stato chiesto parere al secondo revisore (SS).

La selezione degli articoli si basa sulla scelta dei seguenti parametri di inclusione ed esclusione:

- *Tipologia di partecipanti*: si considerano studi con partecipanti adulti (età maggiore di 18 anni), sia di sesso femminile che maschile, con almeno una delle patologie più comuni del distretto piede-caviglia. Si sceglie di escludere partecipanti sani.
- *Tipo di trattamento*: si includono tutti gli studi in cui il trattamento di base sono gli esercizi di attivazione della muscolatura intrinseca del piede, escludendo gli studi in cui vengono utilizzate strategie terapeutiche differenti dall'esercizio della muscolatura intrinseca del piede. Inoltre, non vengono considerate patologie neurologiche o sistemiche.
- *Tipo di outcome*: si sceglie di considerare come outcome non solo l'attivazione della muscolatura intrinseca del piede, ma anche il miglioramento dei sintomi del paziente, in termini di riduzione del dolore, miglioramento delle attività, equilibrio statico e dinamico e funzionalità del piede/arto o nelle ADL.
- *Tipologia di studi*: si considerano solo studi in lingua inglese e italiana senza limiti temporali, disponibili in full-text.

## 2.6 Valutazione qualità degli studi

I dati che verranno estratti da ogni singolo studio incluso riporteranno eventuali informazioni demografiche, metodologia di intervento e gli outcome considerati.

- Titolo dello studio, autore e anno pubblicazione;
- Partecipanti e caratteristiche dei soggetti indagati;
- Dettagli dell'intervento eseguito;
- Distribuzione del campionamento;
- Misure di outcome indagate;
- Risultati

I dati sono stati riassunti tramite una tabella (Tabella 5).

Non è stata eseguita la metanalisi dei dati raccolti, ma una sintesi degli articoli attualmente reperibili in letteratura.

Il Risk of Bias di ogni studio che avrà soddisfatto i criteri di inclusione sarà valutato tramite il Cochrane Collaboration Tool for Assessing Risk of Bias. La qualità degli studi sarà valutata tramite la PEDro Scale.

I riferimenti bibliografici saranno inseriti utilizzando lo stile Vancouver e attraverso il programma Zotero.

## **2.7 Selezione degli studi e raccolta dati**

Dopo aver eseguito la ricerca bibliografica tramite le stringhe nei database elettronici PUBMED, Cochrane e Pedro, gli studi sono stati sottoposti ad un processo di selezione composto da 4 fasi:

- Eliminazione degli items doppi tramite il programma Zotero, riportando gli studi ottenuti dalle ricerche;
- Valutazione dell'articolo tramite la lettura del titolo;
- Valutazione dell'articolo tramite la lettura dell'abstract;
- Valutazione dell'articolo tramite la lettura del full-text.

I passaggi della revisione sono stati riportati nel PRISMA Flow Chart tradotto e modificato nella sezione "Risultati", rispettando le linee guida per il reporting delle revisioni sistematiche.

# CAPITOLO 3

## RISULTATI

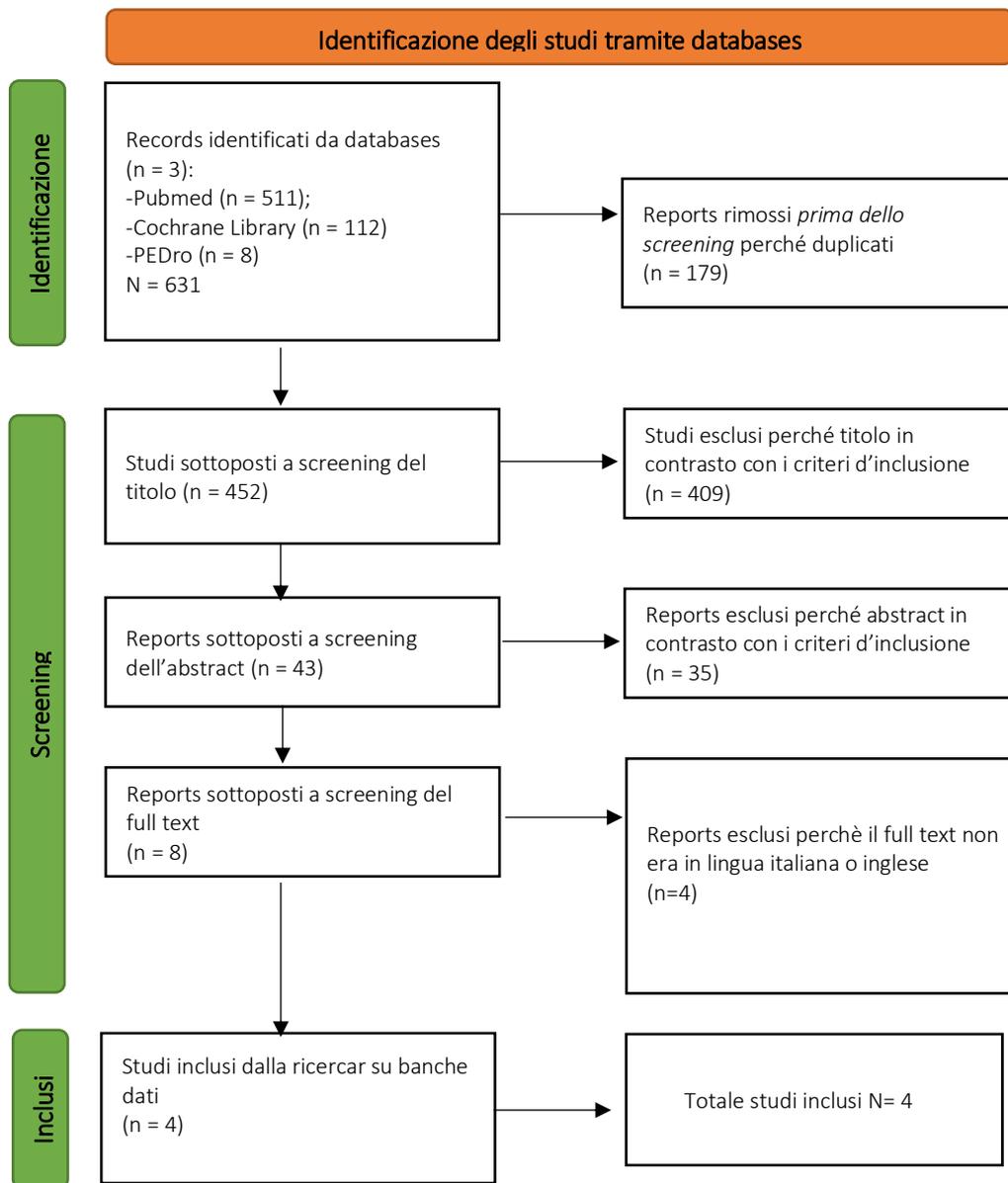
### 3.1 Selezione degli studi

I risultati emersi dalla ricerca nei 3 database hanno prodotto un totale di 631 studi. Nello specifico, sono stati generati 511 records da Pubmed, 112 da Cochrane Library e 8 da Pedro. Durante il processo di identificazione, sono stati rilevati 179 duplicati e per tale motivo sono stati rimossi. Tra i duplicati rientrano anche studi che inizialmente avevano un titolo simile e, successivamente durante la ricerca del full-text per un abstract più dettagliato, hanno rivelato un titolo originale esattamente uguale a quello di altri studi, così come anche i contenuti e la forma dell'articolo. I restanti 452 studi sono stati poi sottoposti ad uno screening del titolo, determinando la rimozione di altri 409 studi, i quali risultavano in netto contrasto con i criteri d'inclusione, in particolare per quanto riguardavano la popolazione e la tipologia d'intervento. Lo step successivo è stato quello di sottoporre i restanti 43 studi ad uno screening dell'abstract e del full-text. Di questi, 35 sono stati esclusi per l'intervento in contrasto con i criteri d'inclusione ed una popolazione in contrasto con la tipologia definita. Quattro studi sono stati esclusi poiché la lingua del full-text non era né italiana, né inglese. Il processo di screening ha prodotto un totale di 4 studi includibili nella revisione sistematica, in accordo con tutti gli elementi stabiliti dal PICO.

Il processo di screening e d'inclusione degli studi viene riassunto nel seguente flow-chart, nel rispetto degli standard per le revisioni sistematiche secondo PRISMA 2020.

La schematizzazione del processo di selezione degli studi è riportata nella Flow Chart in figura (Tabella 5).

Tabella 5 – PRISMA 2020 flow diagram for new systematic reviews which included searches of databases and registers.



From: Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71

## 3.2 Caratteristiche degli studi

Gli articoli inclusi nella revisione sono stati sintetizzati nella Tabella 5, con lo scopo di mettere in evidenza le principali caratteristiche di ogni studio, in modo tale da rendere più facile l'analisi dei risultati ottenuti.

All'interno della tabella per ogni singolo studio sono indicati:

- Autore ed anno di pubblicazione;
- Disegno di studio;
- Numero di pazienti (n) e caratteristiche principali dei partecipanti;
- Gruppi, intervento e numero di trattamenti;
- Obiettivi degli articoli;
- Outcome analizzati;
- Risultati: sintesi dei principali risultati degli studi.

### Studio di Eusang Lee

Lo studio di *Eusang Lee* (17) si propone di analizzare l'efficacia dell'intervento sulla muscolatura intrinseca del piede, mediante la somministrazione dello *short foot exercise*. Lo scopo di questo studio era quello di valutare il miglioramento degli indicatori neurosensoriali quantitativi (SFE) e determinare l'effetto dell'esercizio sensoriale propriocettivo (PSE) in pazienti con CAI (Chronic Ankle Instability). Sono stati analizzati 30 adulti con CAI, divisi in due gruppi da 15. La durata totale del trattamento è stata di 8 settimane, tre set di SFE con durata di tenuta di 5 secondi per 12 ripetizioni e riposo di 2 minuti tra i blocchi, per 3 volte a settimana. Per le settimane 1-4 lo SFE è stato eseguito in posizione seduta e successivamente eseguito in piedi per le settimane 5-8. Al gruppo sperimentale è stato somministrato lo *short foot exercise*. Il gruppo di controllo ha effettuato un esercizio sensoriale propriocettivo (PSE) ricercando lo stesso livello d'intensità ottenuto durante lo SFE. Gli outcomes di interesse per la revisione erano un miglioramento funzionale durante la vita quotidiana.

I risultati mostrano un significativo miglioramento nel gruppo che ha effettuato sessioni di *short foot exercise* relativamente al senso di posizione dell'articolazione durante il movimento di eversione ed un migliorato indice di equilibrio antero-posteriore e medio-laterale della caviglia.

### Studio di Dong-Rour Lee e Young-Eun Choi

Oggetto di studio di *Dong-Rour Lee e Young-Eun Choi (18)* era quello di valutare gli effetti di un programma di esercizi della muscolatura intrinseca del piede sull'equilibrio dinamico. Sono stati reclutati 30 soggetti con CAI (10 uomini e 20 donne). Nel trattamento sperimentale è stato somministrato un programma di esercizi della muscolatura intrinseca; in particolare l'esercizio si basava sulla completa estensione di tutte le dita, con successiva spinta infero-laterale dal quinto dito, fino ad arrivare al primo, con conseguente spinta in direzione infero-mediale.

Tale programma è stato eseguito per 6 settimane, per tre volte a settimana sotto supervisione, raggiungendo un totale di 104 ripetizioni.

Le prime 2 settimane l'esercizio in questione è stato eseguito in posizione seduta, mentre nella terza e quarta settimana è stato svolto in posizione eretta, infine nelle ultime due settimane in posizione eretta in monopodalica.

Confrontando i risultati raggiunti dal gruppo di controllo che non ha effettuato esercizi, il gruppo sperimentale ha mostrato differenze significative nel tasso di attivazione e nell'equilibrio di stabilità della caviglia, sia statico che dinamico, mediante il SEBT. I risultati hanno condotto ad un miglioramento delle funzioni della muscolatura intrinseca del piede che si traducono in cambiamenti nella stabilità posturale.

I limiti dello studio sono dettati dal fatto che il numero di partecipanti è ridotto e valuta una popolazione relativamente giovane.

### Studio di Kazunori Okamura et al.

Lo studio di *Kazunori Okamura et al. (19)* aveva lo scopo di indagare se l'esercizio *Short Foot* influisse sull'allineamento statico del piede e sulla cinematica del piede durante la deambulazione in individui con piede piatto.

Il campione preso in esame era di 20 soggetti con *pes planus*; la posologia prevedeva 3 serie da 10 ripetizioni, con una tenuta di 5 secondi e un periodo di riposo tra una serie e l'altra di 45 secondi, per 8 settimane.

L'allineamento statico del piede è stato valutato mediante il FPI-6 e il *navicular drop* e lo spessore dei muscoli intrinseci ed estrinseci del piede. I risultati hanno mostrato un miglioramento nel *Foot Postural Index test* per quanto riguarda l'inversione e l'eversione calcaneare.

Questo studio ha mostrato che, dopo 8 settimane di esercizi della muscolatura intrinseca del piede, si sono ottenute modifiche nei parametri temporali della cinematica del piede durante l'andatura. L'esercizio SF potrebbe prevenire o curare efficacemente le lesioni legate all'allineamento del piede piatto (24).

### Studio di Dongchul Moon et al.

Lo studio di Dongchul Moon et al. (20) si propone di confrontare gli effetti dell'intervento con allenamento sensorimotorio del piede (SMT) paragonandoli a quelli ottenuti tramite allenamento SMT integrato con esercizio *Short Foot*.

Sono stati campionati 32 individui con *pes planus* (18 femmine, 14 maschi). L'intervento del gruppo sperimentale prevedeva la somministrazione, in aggiunta all'allenamento sensorimotorio, di un esercizio della muscolatura intrinseca del piede, lo SFE, eseguito per un totale di 18 sessioni di intervento, 3 volte alla settimana per sei settimane. Ogni movimento è stato ripetuto 10 volte o mantenuto per 30 secondi, con una pausa di 30 secondi tra ogni serie.

Nella misurazione dell'equilibrio dinamico si è riscontrata una differenza notevole nel gruppo di intervento: rispetto al gruppo che aveva svolto solo SMT, il gruppo SMT combinato con SFE ha mostrato una stabilità posturale statica e dinamica significativamente aumentata.

Tabella 6 – Caratteristiche degli studi

Autore	Tipo di studio	Caratteristiche dei partecipanti	Obiettivo/ Intervento	Outcome analizzati	Risultati
Eusang Lee, 2019	RCT	30 partecipanti con CAI  Range età: 19-29 y; 50% femmine  Gruppo SFE (N=15) Gruppo PSE (N=15)	<b>Obiettivo:</b>  Migliorare gli indicatori neurosensoriali quantitativi dopo SFE  Determinare l'effetto del PSE (esercizio sensoriale propriocettivo)  <b>Intervento:</b> Short-foot exercise 3 v/w per 8 settimane	- Equilibrio dinamico  - Instabilità di caviglia  - Senso di posizione articolare	Miglioramento significativo del senso di posizione articolare durante l'eversione, nel gruppo SFE.  Indice di equilibrio A-P, medio-laterale migliorato.  SFE è più efficace della PSE nel trattamento dei pazienti con distorsione di caviglia.

Dong-Rour Lee, 2019	RCT	30 soggetti con CAI  10 maschi, 20 femmine	<p><b>Obiettivo:</b></p> <p>Valutare gli effetti di un programma di esercizi della muscolatura intrinseca del piede e sull'equilibrio dinamico</p> <p><b>Intervento:</b></p> <p>Esercizio per IFM (vedi studio)</p> <p>3 v/w per 6 settimane</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Velocità di attivazione muscolare</li> <li>- Equilibrio dinamico</li> </ul>	<p>Aumento significativo di tasso di attivazione muscolare ed equilibrio dinamico.</p>
Kazunori Okamura, 2019	RCT	20 soggetti con <i>pes planus</i>	<p><b>Obiettivo:</b></p> <p>Indagare se SFE influisca su statica dei piedi e sull'andatura</p> <p><b>Intervento:</b></p> <p>Short Foot Exercise</p> <p>8 settimane</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Allineamento statico del piede (mediante FPI e ND) mediante</li> <li>- Spessore muscoli intrinseci ed estrinseci del piede (tramite ultrasuoni)</li> </ul>	<p>Miglioramento nel FPI durante movimenti di inversione ed eversione del piede.</p> <p>L'esercizio SF potrebbe prevenire o curare efficacemente le lesioni legate all'allineamento del piede piatto.</p>
Dongchul Moon, 2021	RCT	32 individui con <i>pes planus</i>  14 maschi, 18 femmine	<p><b>Obiettivo:</b></p> <p>Confrontare gli effetti dell'intervento con solo SMT rispetto a quello con aggiunta dello SFE</p> <p><b>Intervento:</b></p> <p>Short Foot Exercise + SMT</p> <p>3 v/w per 6 settimane</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equilibrio statico</li> <li>- Equilibrio dinamico</li> </ul>	<p>Aumento significativo nel gruppo SMT combinato con SFE rispetto al gruppo SMT da solo.</p>

### Abbreviazioni:

SFE= Short-Foot Exercise

PSE= Esercizio Sensoriale Propriocettivo

IFM= Intrinsic Foot Muscle

FPI= Foot Postural Index test

ND= Navicular Drop

AbdH= Abductor Hallucis

AddH= Adductor Hallucis

SMT= Sensorimotor Training

US=Ultrasuoni

### 3.3 Valutazione qualitativa degli studi

Lo strumento scelto per la valutazione metodologica degli studi è la PEDro's Scale. Questa scala è adatta per l'individuazione della validità interna di uno studio.

I punteggi relativi a ciascun articolo sono stati riportati in Tabella 6, la media ottenuta è stata di un punteggio pari a 7/10, considerando il punteggio minimo di 6/10 e quello massimo di 8/10.

Tabella 6 - PEDro's Scale

PEDRO'S SCALE	Eusang Lee (2019)	Dong-Rour Lee (2019)	Kazunori Okamura (2019)	Dongchul Moon (2021)
I criteri di elegibilità sono stati specificati	Si	Si	Si	Si
I soggetti sono stati assegnati in maniera randomizzata ai gruppi	1	1	1	1
L'assegnazione dei soggetti era nascosta	1	1	0	1
I gruppi erano simili all'inizio dello studio per quanto riguarda i più importanti indicatori prognostici	1	1	1	1
Tutti i soggetti erano "ciechi" rispetto al trattamento	0	0	0	0
Tutti i terapisti erano "ciechi" rispetto al tipo di trattamento somministrato	0	0	0	0

Tutti i valutatori erano “ciechi” rispetto ad almeno uno degli obiettivi principali dello studio	1	0	1	1
I risultati di almeno un obiettivo dello studio sono stati ottenuti in più dell’85% dei soggetti inizialmente assegnati ai gruppi	1	1	1	1
Tutti i soggetti analizzati al termine dello studio hanno ricevuto il trattamento (sperimentale o di controllo) cui erano stati assegnati oppure, se non è stato così, i dati di almeno uno degli obiettivi principali sono stati analizzati per “intention-to-treat”	0	0	1	1
I risultati della comparazione statistica tra i gruppi sono riportati per almeno uno degli obiettivi principali	1	1	1	1
Lo studio fornisce sia misure di grandezza che di variabilità per almeno uno degli obiettivi principali	1	1	1	1
<b>TOTALE</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>

*Il punteggio totale è calcolato sommando gli item da 2 a 11, per un massimo di 10 punti che misurano la validità interna dello studio*

### 3.4 Valutazione del Risk of Bias

Tutti gli studi selezionati sono stati valutati utilizzando il Cochrane Collaboration Tool for Assessing Risk of Bias.

Sono stati valutati i seguenti domini, che caratterizzano possibili fonti di bias:

- Processo di randomizzazione (selection bias)
- Processo di assegnazione (selection bias)
- Cecità dei partecipanti e del personale (Performance bias)
- Cecità dei valutatori degli outcome (Detection bias)
- Dati outcome incompleti (Attrition bias)
- Selective reporting (Reporting bias)
- Altri bias

Ciascun dominio rappresenta un item, al quale verrà assegnato un punteggio qualitativo di “High”, “Low” oppure “Unclear” risk. Nello specifico, si attribuisce un giudizio di “Low Risk” (basso rischio), qualora si evidenzia un bias che abbia una bassa probabilità di alterare i risultati in maniera significativa. Mentre, al contrario, qualora si evidenziasse un “High Risk” (alto rischio), potrebbe

essere un bias che ha un'alta probabilità di alterare significativamente i risultati. Qualora non fosse ben chiara la veridicità dei risultati viene assegnato un punteggio di “Unclear Risk” (non chiaro rischio). In particolare è stato utilizzato il colore rosso per un evento di rischio, verde per un basso rischio e il giallo per un rischio non chiaro.

Sono stati evidenziati bassi rischi di selection bias per tutti gli studi presi in considerazione. Le modalità per rendere nascosta l'allocazione sono risultate poco chiare nello studio di Kazunari Okamura, mentre hanno evidenziato un basso rischio in tutti gli altri studi.

Per quanto riguarda il performance bias si è riscontrato un alto rischio in tutti gli studi, tranne in quello di Okamura, in quanto non ci sono informazioni sufficienti per poterlo affermare.

La modalità per rendere “ciechi” i partecipanti e il personale sono risultate non appropriate. Per il detection bias è stato evidenziato un basso rischio ad eccezione dello studio di Dong-Rour Lee, in quanto non presenti informazioni sufficienti (Unclear Risk). Il rischio di attrition bias era alto negli studi di Kazunari Okamura, Eusang Lee e Dong-Rour Lee.

Tabella 7 - Rischio di Bias negli studi –

Rischio di Bias negli Studi – Tabella generale	Kazunori Okamura (2019)	Dongchul Moon (2021)	Eusang Lee (2019)	Dong-Rour Lee (2019)
Processo di randomizzazione ( <b>selection bias</b> )	High Risk	Low Risk	Low Risk	Low Risk
Processo di allocazione ( <b>selection bias</b> )	Low Risk	Low Risk	Low Risk	Low Risk
Cecità dei partecipanti e del personale ( <b>performance bias</b> )	Unclear Risk	High Risk	High Risk	High Risk
Cecità dei valutatori degli outcomes ( <b>detection bias</b> )	Low Risk	Low Risk	Low Risk	Unclear Risk
Dati outcome incompleti ( <b>attrition bias</b> )	High Risk	Low Risk	High Risk	High Risk
Selective reporting ( <b>reporting bias</b> )	Low Risk	Low Risk	Low Risk	High Risk
Other bias	Unclear Risk	Low Risk	High Risk	High Risk

# CAPITOLO 4

## DISCUSSIONE

Lo scopo della revisione sistematica è stato quello di indagare quali fossero gli esercizi più efficaci per ottimizzare l'attivazione e rinforzo muscolare, indagando maggiormente gli aspetti funzionali del piede, in pazienti con patologie del distretto piede-caviglia. In base ai criteri di inclusione ed esclusione predefiniti, la revisione ha riportato un numero limitato di studi sperimentali, in quanto una gran parte di quest'ultimi, comprendeva una popolazione sana, senza alcuna problematica al distretto interessato, che utilizzava come misure di outcomes esclusivamente l'attivazione del ventre muscolare degli IFM, indagato tramite la RMN come nello studio di *Gooding et al.* (22) o attraverso l'utilizzo degli US, senza confermare la reale efficacia di un determinato esercizio per la muscolatura intrinseca, sul sintomo dolore o sul miglioramento funzionale del piede nei soggetti presi in considerazione (23).

### 4.1 CORRELAZIONE tra FORZA MUSCOLARE e ASPETTI FUNZIONALI

Negli ultimi anni sono aumentati gli studi che hanno indagato un esercizio in particolare, lo *Short Foot Exercise*, rispetto ad altri esercizi che interessano, ugualmente, la muscolatura intrinseca del piede. Una delle spiegazioni del maggior interesse di studio verso quest'esercizio, si può comprendere dal fatto che i soggetti con un'eccessiva pronazione del piede sono più predisposti a problematiche da overuse, per tale motivo si raccomanda il rinforzo dei muscoli intrinseci, utilizzando lo SFE in quanto nella sua struttura, tale esercizio mira a ricreare gli archi fisiologici del piede, attraverso l'attivazione muscolare, richiedendo un approccio attivo da parte del paziente. Confrontando lo studio di Lee e quello di (12), si evidenzia che il gruppo che ha effettuato l'esercizio SFE, rispetto a quello che ha eseguito il Toe Curl Exercise, è stato in grado di diminuire il movimento del centro di pressione (COP) e migliorato il test di bilanciamento sia statico che dinamico (14)(24).

Tra le patologie più diffuse del distretto caviglia-piede vi sono le distorsioni in inversione di caviglia, che hanno un alto tasso di recidiva con conseguente instabilità della caviglia per problematiche di propriocezione. Basandosi sul presupposto che la CAI si sviluppa a causa della ridotta propriocezione e della forza nel movimento di eversione a seguito di una distorsione acuta, hanno sostenuto che l'allenamento sensoriale propriocettivo dovrebbe essere considerato una componente essenziale della riabilitazione dei pazienti dopo un infortunio di caviglia (25). *Eusang Lee* (17), ha valutato

l'esercizio *Short Foot* ottenendo un significativo miglioramento della propriocezione e dell'equilibrio in pazienti con CAI, per cui l'inserimento di tale esercizio all'interno di un programma riabilitativo multimodale potrebbe accelerare il recupero delle distorsioni della caviglia e prevenire lo sviluppo di CAI, oltre a facilitare un ritorno più rapido alle attività di vita quotidiana e allo sport.

Confrontando quest'ultimo articolo con quello di *Rothermel et al.* (29), si è potuto confermare che lo SFE migliora l'attività neuromuscolare del distretto piede-caviglia. Altri autori come *McKeon et al.* (31) hanno riportato che l'utilizzo dell'esercizio SF è fondamentale per ricreare una stabilità complessiva della parte inferiore del corpo e ridurre disturbi dell'equilibrio, sia statico che dinamico. *Janda V. e Vavrova M.* (21) hanno confermato che lo SFE dovrebbe essere incluso precocemente nel riallenamento propriocettivo, poiché stimola il neurocircuito nella pianta del piede, che migliora la stabilità posturale e centrale.

Basandosi sull'idea che la forza del piede influenza il controllo somatosensoriale della postura eretta e dell'equilibrio, attraverso i suoi effetti sui recettori muscolari e tendinei (cutanei e plantari) (21). *McKeon et al.* ha introdotto il "sistema del core del piede", il quale collega la forza degli IFM alla stabilità del core, proponendo una manovra di contrazione della muscolatura addominale, multifido e trasverso dell'addome ("core addominale"), combinata con lo SFE per aumentare la stabilizzazione complessiva della parte inferiore del corpo. Pertanto, si è dimostrato che il rinforzo muscolare, tramite sessioni ripetute di SFE ha condotto ad una riduzione dell'affaticamento muscolare dell'arto inferiore in toto, migliorando la funzione propriocettiva dell'articolazione di caviglia-piede, ma anche di quella dell'anca e ginocchio.

Lo SFE attraverso l'incremento della forza IFM porta ad un aumento dell'arco longitudinale mediale (MLA) e quindi all'altezza dell'osso navicolare, migliorando la funzione sensoriale della caviglia.

*Fiolkowsi et al.* (30) hanno riportato un aumento di 3 mm dell'altezza navicolare e un perfezionamento della condizione sensoriale del nervo tibiale, dopo il rafforzamento della IFM, in pazienti che avevano subito una distorsione di caviglia.

L'importanza riscontrata, in questo studio, si rivela nel significativo miglioramento in 3 componenti dell'equilibrio dinamico; l'associazione tra equilibrio dinamico e fatica IFM è probabilmente mediata dagli effetti di quest'ultima, sul sostegno degli archi del piede e sulla stabilizzazione complessiva dell'arto inferiore. L'affaticamento degli IFM provoca un abbassamento degli archi, portando ad un conseguente spostamento mediale del punto di pressione, il quale porta ad una diminuzione del controllo dell'equilibrio (26).

In accordo con lo studio di *Moon et al.* (20) che hanno riportato un notevole miglioramento in termini di stabilità, nelle direzioni antero-posteriore e medio-laterale, in pazienti con piede pronato, viene supportata la ricerca di un effetto positivo dello SFE, con conseguente aumento della muscolatura IFM e sull'equilibrio dinamico.

*Dong-Rour Lee e Young-Eun Choi* (18) hanno mostrato, attraverso la misurazione dell'equilibrio dinamico con SEBT, che l'equilibrio era significativamente migliorato dopo l'esecuzione dell'esercizio della muscolatura intrinseca, in termini di stabilità posturale. Lo SFE viene utilizzato come tecnica di allenamento sensorimotorio per migliorare la propriocezione e l'aspetto funzionale del distretto caviglia-piede, in termini di equilibrio posturale (31).

Nel presente studio, durante l'allenamento dell'equilibrio della caviglia, c'è stato un miglioramento dell'equilibrio dinamico dopo l'esercizio somministrato.

Nello studio di *Kazunori Okamura et al.* (19) non sono stati valutati i cambiamenti nella forza del muscolo, anche se uno studio, non selezionato in questa revisione, ha riferito che la forza del muscolo flessore del primo dito è aumentata notevolmente, dopo un programma simile di esercizio per la IFM. Durante l'andatura, vi sono molte forze che sollecitano il piede e possono interrompere l'MLA (30).

## CONCLUSIONI

Attualmente in letteratura, il numero di studi che indagano l'efficacia per una migliore attivazione muscolare e rinforzo della muscolatura intrinseca del piede, che si traducono in miglioramento sintomatologico o funzionale del piede, è limitato. E' presente eterogeneità nelle caratteristiche dei soggetti e la maggior parte degli studi analizza popolazioni sane, senza eventuali correlazioni a patologie del distretto caviglia-piede.

Questa revisione ha evidenziato come l'allenamento della muscolatura intrinseca del piede possa modificarne la funzionalità, in termini di equilibrio, sia statico che dinamico. Lo *Short Foot Exercise*, sembrerebbe essere uno degli esercizi più efficaci, oltre al fatto che risulta essere il più studiato, per mantenere l'altezza dell'arco medio-laterale della volta plantare, durante attività che richiedono abilità di equilibrio dinamico e statico. Ulteriori studi dovranno essere condotti per superare queste limitazioni riscontrate.

Negli studi precedenti, non era chiaro se il miglioramento dell'equilibrio fosse dovuto al rafforzamento della muscolatura intrinseca del piede, ma attualmente, i risultati degli ultimi studi suggeriscono che il miglioramento della forza IFM, a livello del distretto caviglia-piede, porta a cambiamenti favorevoli nella stabilità posturale.

Considerando i benefici di una maggiore forza IFM sull'equilibrio, la ricerca futura dovrebbe valutare se la combinazione di SFE e PSE può condurre a miglioramenti nel controllo dell'equilibrio dinamico, fornendo una nuova direzione per l'allenamento dell'equilibrio dopo un infortunio alla caviglia.

## BIBLIOGRAFIA

1. Matias AB, Taddei UT, Duarte M, Sacco ICN. Protocol for evaluating the effects of a therapeutic foot exercise program on injury incidence, foot functionality and biomechanics in long-distance runners: a randomized controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord*. dicembre 2016;17(1):160.
2. Park D-J, Hwang Y-I. Comparison of the Intrinsic Foot Muscle Activities between Therapeutic and Three-Dimensional Foot-Ankle Exercises in Healthy Adults: An Explanatory Study. *Int J Environ Res Public Health*. 1 ottobre 2020;17(19):7189.
3. 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*. marzo 2015;49(5):290–290.
4. Fiolkowski P, Brunt D, Bishop M, Woo R, Horodyski M. Intrinsic pedal musculature support of the medial longitudinal arch: an electromyography study. *J Foot Ankle Surg*. novembre 2003;42(6):327–33.
5. Jam DB. Evaluation and Retraining of the Intrinsic Foot Muscles for Pain Syndromes Related to Abnormal Control of Pronation:8.
6. Moulodi N, Azadinia F, Ebrahimi-Takamjani I, Atlasi R, Jalali M, Kamali M. The functional capacity and morphological characteristics of the intrinsic foot muscles in subjects with Hallux Valgus deformity: A systematic review. *The Foot*. dicembre 2020;45:101706.
7. Latey PJ, Burns J, Hiller C, Nightingale EJ. Relationship between intrinsic foot muscle weakness and pain: a systematic review. *J Foot Ankle Res*. aprile 2014;7(S1):A51, 1757-1146-7-S1-A51.
8. Cheung RTH, Sze LKY, Mok NW, Ng GYF. Intrinsic foot muscle volume in experienced runners with and without chronic plantar fasciitis. *J Sci Med Sport*. settembre 2016;19(9):713–5.
9. Mulligan EP, Cook PG. Effect of plantar intrinsic muscle training on medial longitudinal arch morphology and dynamic function. *Man Ther*. ottobre 2013;18(5):425–30.
10. Lynn SK, Padilla RA, Tsang KKW. 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. *J Sport Rehabil*. novembre 2012;21(4):327–33.
11. Franettovich Smith MM, Collins NJ, Mellor R, Grimaldi A, Elliott J, Hoggarth M, et al. Foot exercise plus education versus wait and see for the treatment of plantar heel pain (FEET trial): a protocol for a feasibility study. *J Foot Ankle Res*. dicembre 2020;13(1):20.
12. Scott K. Lynn, Ricardo A. Padilla, and Kavin K.W. Tsang. 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, 21, 327-333
13. Dominic James Farris, Luke A. Kelly, Andrew G. Cresswell, and Glen A. Lichtwark. The functional importance of human foot muscles for bipedal locomotion. *Lovejoy* December 13, 2018

14. Manuel Pabón-Carrasco, Aurora Castro-Méndez et al. Randomized Clinical Trial: The Effect of Exercise of the Intrinsic Muscle on Foot Pronation. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020, 17, 4882
15. Dean Huffer, Wayne Hing, Richard Newton, Mike Clair. Strength training for plantar fasciitis and the intrinsic foot musculature: A systematic review. *Physical Therapy in Sport* (20 May 2016).
16. John J. Fraser and Jay Hertel. Effects of a 4-Week Intrinsic Foot Muscle Exercise Program on Motor Function: A Preliminary Randomized Control Trial. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2018 Human Kinetics, Inc.
17. Eusang Lee, J. Cho, Seungwon Lee. Short-Foot Exercise Promotes Quantitative Somatosensory Function in Ankle Instability: A Randomized Controlled Trial. *Med Sci Monit*, 2019; 25: 618-626
18. Dong-Rour Lee, Young-Eun Choi. Effects of a 6-week intrinsic foot muscle exercise program on the functions of intrinsic foot muscle and dynamic balance in patients with chronic ankle instability. *Journal of Exercise Rehabilitation* 2019;15(5):709-714
19. K. Okamura, S. Kanai, K. Fukuda, S. Tanaka, T. Ono, S. Oki, 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. *Foot (Edinb)* 38 (2019) 19-23.
20. Dongchul Moon, J. Jung, Effect of Incorporating Short-Foot Exercises in the Balance Rehabilitation of Flat Foot: A Randomized Controlled Trial. *Healthcare (Basel)* 2021; 13: 16-35.
21. Janda V, Vavrova M: Sensory motor stimulation. In: Liebensohn C (ed.), Baltimore: Williams & Wilkins, 1990
22. Thomas M. Gooding, MEd, ATC; Mark A. Feger et al. Intrinsic Foot Muscle Activation During Specific Exercises: A T2 Time Magnetic Resonance Imaging Study. *Journal of Athletic Training* 2016;51(10):000–000
23. Dallin C Swanson, Joshua K Sponbeck, Derek A Swanson. Validity of ultrasound imaging for intrinsic foot muscle cross-sectional area measurements demonstrated by strong agreement with MRI. Swanson *et al. BMC Musculoskeletal Disorders* (2022) 23:146
24. Do-Young Jung, Eun-Kyung Koh and Oh-Yun Kwon. Effect of foot orthoses and short-foot exercise on the cross-sectional area of the abductor hallucis muscle in subjects with pes planus: A randomized controlled trial. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation* 24 (2011) 225–231
25. Hertel J: Functional instability following lateral ankle sprain. *Sports Med*, 2000; 29: 361–71
26. Lee E, Cho J, Lee S: Differences in ankle instability and static balance after 8 weeks short foot exercise on type of feedback: A randomized controlled trial. *International Information Institute*, 2016; 19: 5523–58
27. Soysa A, Hiller C, Refshauge K, Burns J: Importance and challenges of measuring intrinsic foot muscle strength. *J Foot Ankle Res*, 2012; 5: 29

28. Hertel J: Functional anatomy, pathomechanics, and pathophysiology of lateral ankle instability. *J Athl Train*, 2002; 37: 364–75
29. Rothermel SA, Hale SA, Hertel J, Denegar CR. Effect of active foot positioning on the outcome of a balance training program. *Phys Ther Sport* 2004;5:98-103.
30. Fiolkowski P, Brunt D, Bishop M et al: Intrinsic pedal musculature support of the medial longitudinal arch: An electromyography study. *J Foot Ankle Surg*, 2003; 42: 327–33
31. 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;49:290.





