



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA

---

# EL SISTEMA FOOT CORE

*The Foot Core System*

GRAU EN PODOLOGIA

Treball Final de Grau

---

**Alumna:** Maria Tarradas Soler

**Tutora:** Neus Costa Balanzat

**Curs acadèmic:** 2021-2022

**Codi assignatura:** 360416

***A stronger foot is a healthier foot.***

- *McKeon et al. (2015)*

# ÍNDEX

RESUM .....	1
ABSTRACT .....	2
1. INTRODUCCIÓ .....	3
2. OBJECTIUS.....	4
3. MATERIALS I MÈTODES.....	5
3.1. Fonts de dades.....	5
3.2. Selecció d'estudis .....	5
3.3. Extracció de dades .....	6
4. RESULTATS .....	7
5. DISCUSSIÓ .....	11
6. CONCLUSIONS.....	15
7. BIBLIOGRAFIA.....	16
8. AGRAÏMENTS.....	18
9. ANNEXOS.....	19
9.1. Taula d'exercicis pel treball específic del Foot Core.....	19
9.2. Vídeo dels exercicis pel treball específic del Foot Core.....	20

## ÍNDIX DE FIGURES

<b>Figura 1.</b> Representació esquemàtica de la musculatura intrínseca del peu. <sup>5</sup> .....	4
<b>Figura 2.</b> Diagrama de flux del procés de selecció d'estudis segons metodologia PRISMA. ....	6

## ÍNDIX DE TAULES

<b>Taula 1.</b> Resultats de la cerca bibliogràfica .....	8
<b>Taula 2.</b> Resultats de la cerca bibliogràfica .....	10
<b>Taula 3.</b> Descripció dels exercicis del Foot Core .....	13

## ABREVIATURES

**ALM:** arc longitudinal medial

**MIP:** musculatura intrínseca del peu

**MEP:** musculatura extrínseca del peu

**FC:** *foot core*

**ND:** *navicular drop*

**NDT:** *navicular drop test*

**FPI:** *foot posture index*

**SF:** *short foot*

**SFE:** *short foot exercise*

**FTE:** *first toe extension*

**STFTE:** *second to fifth toe extension*

**TSO:** *toes spread out*

**HV:** *hallux valgus*

## RESUM

**Introducció:** El peu és una estructura molt complexa i per complir les seves funcions necessita controlar l'arc longitudinal medial, dominat per la musculatura intrínseca del peu i la musculatura extrínseca del peu. La musculatura intrínseca del peu forma part del sistema *Foot Core* i el seu enfortiment proporciona molts avantatges a nivell postural i dinàmic.

**Objectius:** Definir les estructures que formen part del sistema *Foot Core* i la seva funció, descriure els avantatges del treball del sistema *Foot Core* i, finalment, dissenyar una taula d'exercicis pel treball específic del *Foot Core*.

**Materials i mètodes:** Els articles es van obtenir a partir de les bases de dades PubMed i Scopus i de referències del registres seleccionats, des del 17 d'octubre fins al 10 de novembre de 2021.

**Resultats:** El subsistema actiu, el passiu i el neural formen part del sistema *Foot Core*, i aquest és l'encarregat de controlar l'arc longitudinal medial, proporcionar estabilitat i control postural i dinàmic i contribuir en l'absorció i generació d'energia. Els avantatges del seu treball són una disminució del *navicular drop*, millora del *Foot Posture Index*, augment de l'estabilitat i equilibri dinàmic i millora de la capacitat d'absorció dels xocs. Els quatre exercicis més utilitzats per treballar la musculatura intrínseca del peu són el *Short Foot*, el *First Toe Extension*, el *Second to Fifth Toe Extension* i el *Toes Spread Out*.

**Conclusions:** El sistema *Foot Core* integra els subsistemes actiu, passiu i neural i s'encarrega de mantenir el funcionament normal del peu. El seu treball específic millora la posició, estabilitat i biomecànica del peu, evitant o rehabilitant lesions per ús excessiu de l'extremitat inferior. El programa d'exercicis dissenyat es realitza 3 dies/setmana, amb 3 sèries de 10 repeticions per cada peu, una contracció mantinguda durant 5 segons i un descans entre sèries de 30 segons.

Paraules clau: sistema *Foot Core*, Peu, Músculs, Enfortiment de la musculatura, Exercicis, Arc longitudinal medial

## ABSTRACT

**Introduction:** The foot is a very complex structure and to accomplish with its functions needs to control the medial longitudinal arch, which is dominated by the intrinsic foot muscles and the extrinsic foot muscles. The intrinsic foot muscles are part of the Foot Core system and its strengthening provides many advantages in a postural and dynamic level.

**Objectives:** Define the structures which are part of the Foot Core system and its function, describe the advantages of the Foot Core system strengthening and, finally, design a strengthening planning of specific exercises for the Foot Core.

**Materials and methods:** Articles were obtained from PubMed and Scopus databases and from references of selected records, from October 17<sup>th</sup> to November 10<sup>th</sup> of 2021.

**Results:** The active, passive and neural subsystems are part of the Foot Core system, and it oversees controlling the medial longitudinal arch, provide stability and postural and dynamic control and contribute to the absorption and generation of energy. The advantages of its strengthening are a decrease in navicular drop, an improvement on the Foot Posture Index, an increase in the stability and dynamic balance and an improvement on shock absorption capacity. The four most used exercises for the intrinsic foot muscles strengthening are the Short Foot, the First Toe Extension, the Second to Fifth Toe Extension and the Toes Spread Out.

**Conclusions:** The Foot Core System integrates the active, passive and neural subsystems and is responsible for maintaining the normal functioning of the foot. Its specific strengthening improves foot position, stability and biomechanics, preventing or rehabilitating injuries from excessive use of the lower extremity. The designed exercise program is performed 3 days/week, with sets of 10 repetitions for each foot, a contraction maintained for 5 seconds and a break between sets of 30 seconds.

**Keywords:** Foot Core system, Foot, Muscles, Muscle strength, Exercises, Medial longitudinal arch

## 1. INTRODUCCIÓ

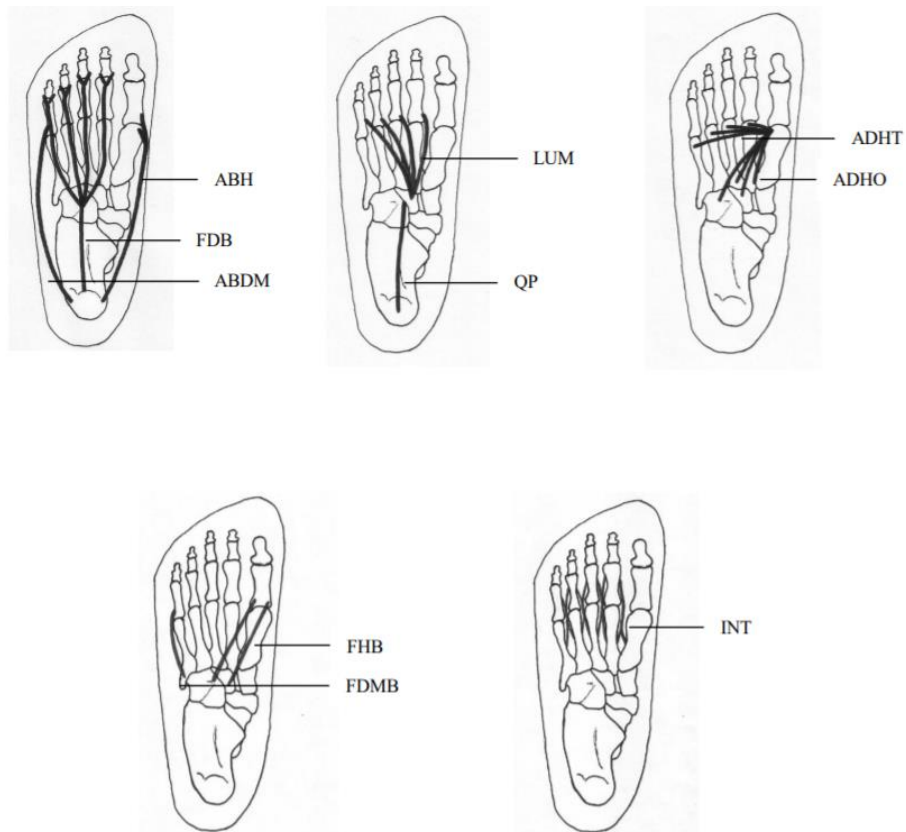
El peu humà és una estructura molt complexa i compleix diverses funcions. Durant la bipedestació estàtica proporciona una base de suport i durant la marxa ha de ser el més estable possible en els moments d'impacte i propulsió, ha d'atenuar les càrregues en el recolzament mig i ha d'emmagatzemar i alliberar energia elàstica a cada contacte amb el terra.<sup>1</sup> Tot això s'aconsegueix mitjançant la deformació de l'arc longitudinal medial (ALM) del peu<sup>1,2</sup>, que està controlada pels músculs extrínsecs i intrínsecs d'aquest. L'estabilitat de l'arc és un requisit fonamental per a la funció normal del peu, i aquesta estabilitat depèn del *foot core* (FC), el “nucli” central del peu<sup>1</sup>.

Els estabilitzadors locals són els músculs intrínsecs del peu (MIP) que s'originen i s'insereixen dins el mateix, mentre que els motors globals són els músculs extrínsecs del peu (MEP) que s'originen a la part inferior de la cama, creuen el turmell i s'insereixen al peu<sup>1,3</sup>.

Els MEP proporcionen principalment moviments osteocinemàtics<sup>4</sup> i ajuden a controlar l'ALM juntament amb els MIP. Aquests últims controlen el grau i velocitat de deformació de l'arc i ajuden al control postural durant la bipedestació estàtica i la marxa<sup>1-6</sup>.

La MIP es pot dividir i agrupar en quatre capes. La primera capa inclou l'abductor de l'Hallux (ABDH), el flexor curt dels dits (FCD) i l'abductor del 5è dit (ABDM). La segona capa comprèn el quadrat plantar (QP) i els lumbricals (LUM). La tercera capa està formada per l'adductor de l'Hallux transversal (ADHT), l'adductor de l'Hallux oblic (ADHO), el flexor curt de l'Hallux (FCH) i el flexor curt del 5è dit (FDMB). Finalment, la quarta capa inclou els músculs interossis (INT)<sup>1,4,5</sup>. Els MIP es representen esquemàticament a la **Figura 1**.

Moltes lesions i síndromes clínicament freqüents de peu i turmell com la fascitis plantar, la tendinitis de l'Aquil·les, l'hallux valgus i tendinitis del tibial posterior i anterior, s'han relacionat amb el peu pla i la pronació excessiva<sup>2,5</sup> o falta de control d'aquesta<sup>5,6</sup> degut a una debilitat, atròfia o disfunció de la MIP produint un canvi en la postura del peu augmentant el *Navicular Drop* (ND)<sup>3,6</sup>. Per tant, la MIP pot tenir un paper important en la regulació de la pronació i la minimització del microtrauma repetit als teixits tous relacionats, ajudant a prevenir lesions<sup>2,5</sup>. Malauradament, aquesta musculatura no és la més treballada i tinguda en compte en els programes de rehabilitació i enfortiment del peu.



**Figura 1.** Representació esquemàtica de la musculatura intrínseca del peu. Font: Jam<sup>5</sup>

## 2. OBJECTIUS

1. Definir les estructures que formen part del sistema *Foot Core* i la seva funció.
2. Descriure els avantatges del treball del sistema *Foot Core*.
3. Dissenyar una taula d'exercicis pel treball específic del *Foot Core*.

### 3. MATERIALS I MÈTODES

#### 3.1. Fonts de dades

Per dur a terme aquest treball es va realitzar una cerca bibliogràfica a través de les bases de dades PubMed i Scopus, des del 17 d'octubre fins al 10 de novembre de 2021. Es va utilitzar PubMed com a base de dades principal degut al seu accés obert i a l'àmplia varietat de literatura biomèdica actual, i Scopus per intentar aconseguir algun article que no es trobés a PubMed però pogués ésser interessant i rellevant per a l'estudi. A més, es van revisar manualment articles extrets de les bibliografies dels registres inclosos.

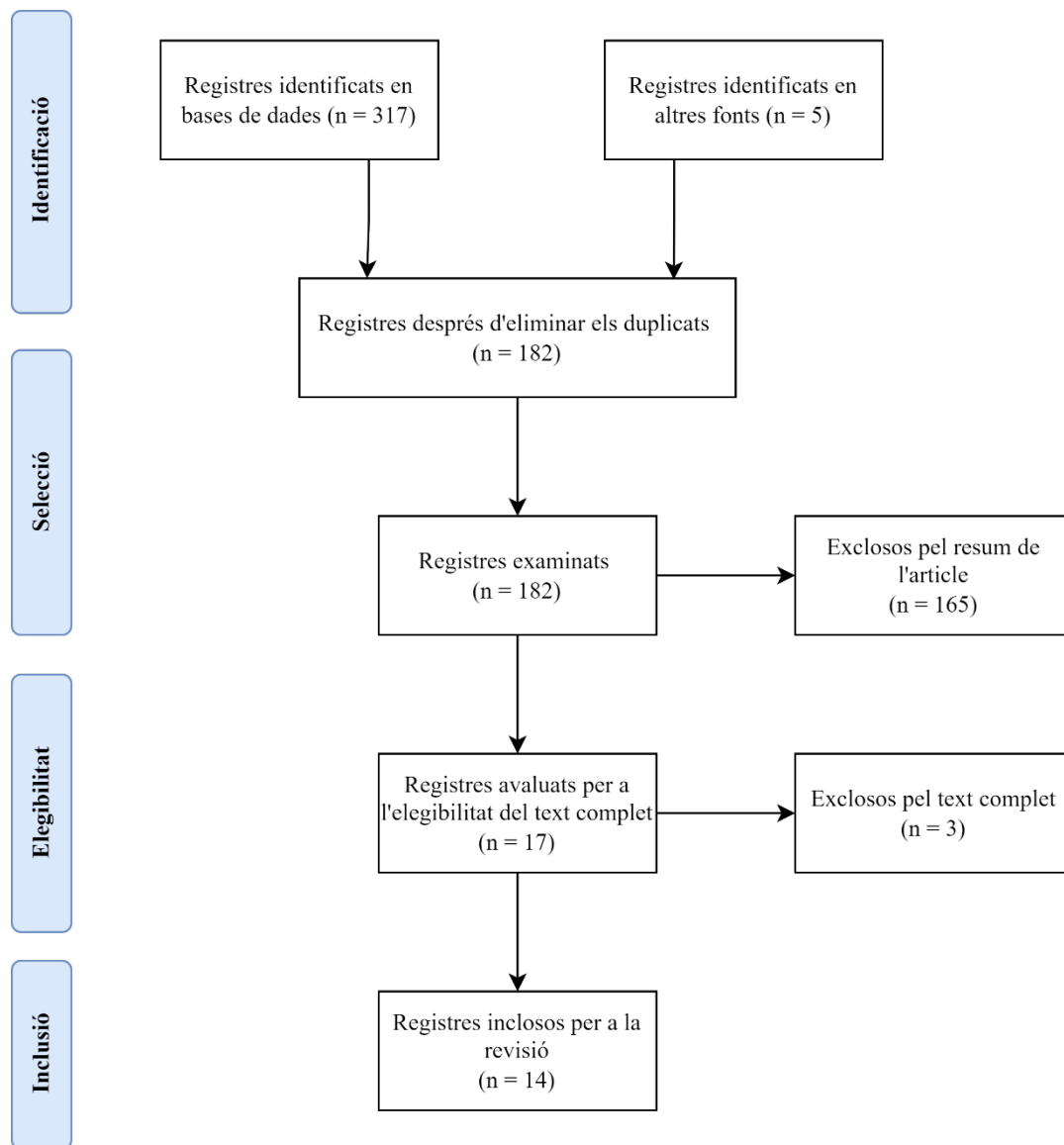
Per a la cerca a les bases de dades bibliogràfiques es van utilitzar dues equacions: [("foot core" OR "Intrinsic foot muscle" OR "short foot") AND (morphology OR architecture OR structure OR composition)] i [("foot core" OR "Intrinsic foot muscle" OR "short foot") AND (exercise OR strength\* OR training)]. És a dir, es van realitzar dues cerques diferents per a cada una de les bases de dades.

#### 3.2. Selecció d'estudis

Els criteris d'inclusió per a l'estudi van ésser articles en castellà o anglès, amb text complet accessible, que parlessin sobre l'estructura i funció del sistema FC i sobre el seu treball específic i els possibles avantatges de treballar-lo, independentment dels subjectes a estudi i/o lesions/deformitats del peu que aquests poguessin tenir. Per altra banda, els d'exclusió eren articles basats en exercicis que implicaven musculatura únicament extrínseca, casos únics i revisions bibliogràfiques.

Un total de 322 articles van ésser seleccionats inicialment. D'aquests, es va procedir a l'eliminació dels duplicats (n=140); tot seguit es van descartar els articles en funció del resum (n=165). Dels 17 articles restants se'n van excloure 3 pel text complet. Finalment, 14 articles van ésser considerats els més aptes per a la revisió degut a les seves característiques.

El procés de selecció dels articles per al treball es troben reflectits a la **Figura 2**.



**Figura 2.** Diagrama de flux del procés de selecció d'estudis segons metodologia PRISMA.

### 3.3. Extracció de dades

La següent informació va ser extreta de cada estudi seleccionat per poder elaborar la **Taula 1**: autors i any, tipus d'estudi, població, exercicis del FC, modalitats, mètode d'avaluació i resultats d'interès.

Per poder elaborar la **Taula 2** se'n va extreure la següent informació: autors i any, tipus d'estudi, estructura del sistema FC, funcions del sistema FC, avantatges del treball del sistema FC i treball proposat pel FC.

## 4. RESULTATS

S'ha elaborat la **Taula 1** per poder fer una comparativa directa dels exercicis del FC proposats pels diferents autors amb la metodologia seguida i amb els resultats obtinguts de cada estudi després d'un programa d'enfortiment. Aquesta ens és útil principalment per a crear la taula d'exercicis pel treball específic del FC.

La **Taula 2** mostra la informació necessària per a respondre el primer i segon objectiu del present treball, especificant, segons cada autor, l'estructura i la funció del FC i el treball i avantatges del mateix.

**Taula 1.** Resultats de la cerca bibliogràfica

Autors (any)	Tipus d'estudi	Població	Exercicis del Foot Core	Modalitats	Mètode d'avaluació	Resultats d'interès
Jung et al. (2011)(7)	Assaig clínic	Amb posició neutra del peu (n = 20)	SFE i TCE	2 setmanes Diàriament 3 sèries (10 s de contracció) Progressió: d'assegut a dret amb recolzament monopodal	Activitat EMG del múscul AbdH i l'angle ALM	SFE: - ↑ activitat EMG del múscul AbdH comparat amb el TCE. - ↑ activitat EMG del múscul AbdH en recolzament monopodal.
Lynn et al. (2012)(8)	Assaig clínic	Subjectes sans (n = 24)	SFE i TCE	4 setmanes 100 reps/dia 5 s de contracció 10 s de descans entre sèries Progressió: assegut (setmana 1 i 2), dret (setmana 3 i 4)	Pre- i post- intervenció: NDT i rang de moviment medio-lateral (ML) del centre de pressió (COP) durant les proves d'equilibri estàtic i dinàmic.	No diferències en ND ni en proves d'equilibri estàtic.  SFE: - ↓ moviment ML del COP en major proporció que amb el TCE en l'extremitat no dominant.
Mulligan i Cook (2013)(9)	Assaig clínic	Subjectes sans (n = 21)	SFE	4 setmanes 3 min/dia 30 reps (5 s de contracció) Progressió: d'assegut a dret amb doble o únic recolzament	Pre- i post- intervenció: NDT, AHI i rendiment músculs intrínsecs del peu durant l'exercici en recolzament monopodal en estàtica.	SFE: - ↓ ND - ↑ AHI - Millora en el rendiment muscular
Moon et al. (2014)(10)	Assaig clínic	Peus hiperpronats (caiguda navicular > 10 mm) (n = 18)	SFE	1 sessió: 5 sèries x 3 reps (2 min descans entre sèries) amb 5 s de contracció	Examinació equilibri dinàmic amb la prova del Límit d'Estabilitat (LOS)	SFE: - ↑ l'equilibri dinàmic
Gooding et al. (2016)(4)	Assaig clínic	Subjectes atletes sans (n = 8)	SFE, TSO, FTE, STFTE	1 sessió: 40 reps amb 3 s de contracció	Registre en % de l'activació dels músculs (AbdH, FCD, Abd5è dit, QP, flexor 5è dit, ADOH, FCH, interossis i lumbricals)	Tots els músculs intrínsecs plantars del peu s'activen amb els 4 exercicis. Oscil·lació del % mitjà d'activació: - SFE (16,7% - 34,9%) - TSO (17,3% - 35,2%) - FTE (13,1% - 18,1%) - STFTE (8,9% - 22,5%)

Sulowska et al. (2016)(11)	Assaig clínic	Corredors de llarga distancia (n = 25)	Grup 1: Vele's Forward Lean i Reverse Tandem Gait Grup 2: SFE	6 setmanes Diàriament durant 3 min Progressió: assegut, dret, mig-squat	Pre- i post- intervenció: FPI i Pantalla de Moviment Funcional (FMS).	Millora en FPI: - Grup 1: palpació cap astràgal - Grup 2: inversió/eversió calcani Millora en les proves de FMS: - Grup 1: deep squat, elevació activa de la cama recta i puntuació total.
Lee et al. (2019)(12)	Assaig clínic	Subjectes amb inestabilitat crònica de turmell (n = 30)	TSO, FTE, STFTE	6 setmanes 3 dies/setmana 4 sèries x 104 reps (3 s/8 s/20 s de contracció) Progressió: assegut (setmana 1 i 2), dret (setmana 3 i 4), recolzament monopodal (setmana 5 i 6)	Pre- i post- intervenció: taxa d'activació i equilibri dinàmic de l'AbdH, el FCD, el FCH i el QP.	TSO: - ↑ activació muscular de AbdH, FCD, FCH, QP. FTE i STFTE: ↑ activació muscular de FCD, FCH i QP.
Pabón-Carrasco et al. (2020)(13)	Assaig clínic	Peus pronats (n = 42)	SFE	4 setmanes Diàriament 5 sèries (30 s de contracció) 10 s de descans entre sèries Progressió: d'assegut a dret amb recolzament monopodal	Pre- i post- intervenció: NDT i FPI.	SFE: Valor de FPI més neutre i ↓ ND.
Okamura et al. (2020)(14)	Assaig clínic	Peus pronats (n = 20)	SFE	8 setmanes 3 dies/setmana 3 sèries x 10 reps (5 s de contracció) 45 s de descans entre series Progressió: d'assegut a dret amb doble o únic recolzament	Pre- i post- intervenció: cinemàtica del peu durant la marxa, caiguda navicular en dinàmica i moment en què l'alçada del navicular assoleix el seu valor mínim. FPI i NDT en estàtica.	Millora en FPI: - Inversió/eversió del calcani ↓ del temps necessari perquè l'alçada del navicular assoleixi el valor mínim.
Kisacik et al. (2021)(15)	Assaig clínic	Peus "dèbils" i pronats (FPI > 6) i subjectes amb dolor patellofemoral (n = 15)	SFE	6 setmanes 2 dies/setmana 1 sèrie x 10 reps Progressió: d'assegut a dret amb doble recolzament o únic recolzament (amb i sense suport)	Escala analògica visual del dolor (pVAS), puntuació Kujala Patellofemoral (KPS), navicular drop test (NDT), rearfoot angle (RA), índex de postura del peu (FPI) i proves de força dels músculs de les extremitats inferiors.	SFE: - ↓ puntuacions pVAS, NDT, RA i FPI. ↑ força extensors del maluc

Autoria pròpia. **SFE**: Short foot exercise; **SF**: Short foot; **TCE**: Toe curl exercise; **TC**: Toe curl; **EMG**: Electromiogràfica; **AbdH**: Abductor Hallux; **NDT**: Navicular drop test; **ND**: Navicular drop; **ML**: Medio-lateral; **COP**: Centre de pressions; **AHI**: Índex d'altura de l'arc; **LOS**: Límit d'estabilitat; **TSO**: Toes spread out; **FTE**: First toe extension; **STFTE**: Second to fifth toe extension; **FCD**: Flexor curt dels dits; **Abd 5è dit**: Abductor 5è dit; **QP**: Quadrant plantar; **ADOH**: Adductor oblic Hallux; **FCH**: Flexor curt Hallux; **FPI**: Foot posture index; **FMS**: Pantalla de moviment funcional; **RA**: Angle del retropeu

**Taula 2.** Resultats de la cerca bibliogràfica

Autors (any)	Tipus d'estudi	Estructura sistema Foot Core	Funcions sistema Foot Core	Avantatges del treball del Foot Core	Treball proposat pel Foot Core
McKeon et al. (2015)(1)	Article de premsa	Subsistema passiu Subsistema actiu Subsistema neural	Moviment i estabilitat de l'ALM Suport dinàmic de l'ALM	<ul style="list-style-type: none"> <li>↑ la funció del peu</li> <li>↓ el col·lapse de l'ALM</li> <li>↑ l'equilibri postural i dinàmic</li> <li>↓ la inestabilitat crònica de turmell</li> </ul>	SFE Barefoot/calçat minimalista
McKeon et al. (2015)(3)	Article de premsa	Subsistema passiu Subsistema actiu Subsistema neural	Control dinàmic del peu Estabilització del peu	<ul style="list-style-type: none"> <li>↓ lesions per ús excessiu de les EEII</li> <li>↑ la variabilitat funcional en el control dinàmic del peu</li> <li>↑ la postura del peu</li> <li>↓ del ND</li> </ul>	SFE Electroestimulació muscular del peu
Fourchet et al. (2016)(16)	Informe	Subsistema passiu Subsistema actiu Subsistema neural	Control postural del peu Manteniment de l'equilibri durant recolzament monopodal Control de l'ALM Control de la pronació Regulació activa de la rigidesa del peu Contribució en l'absorció i generació d'energia al peu	<ul style="list-style-type: none"> <li>↓ lesions per ús excessiu de les EEII</li> <li>↑ el control postural local del peu</li> <li>↑ l'equilibri dinàmic en el recolzament monopodal</li> </ul>	SFE Electroestimulació muscular del peu
Tourillon et al. (2019)(17)	Informe	Subsistema passiu Subsistema actiu Subsistema neural	Estabilització local del peu Suport de l'ALM Flexibilitat Absorció de xocs al peu Control parcial de la pronació	<ul style="list-style-type: none"> <li>↑ l'equilibri dinàmic</li> <li>↓ del ND</li> <li>Millora l'FPI</li> <li>↓ de deformatats digitals</li> </ul>	SFE TSO FTE STFTE TC Barefoot/calçat minimalista Electroestimulació muscular del peu

Autoria pròpia. **ALM:** Arc longitudinal medial; **SFE:** Short foot exercise; **EEII:** Extremitats inferiors; **ND:** Navicular drop; **FPI:** Foot Posture Index; **TSO:** Toes spread out; **FTE:** First toe extension; **STFTE:** Second to fifth toe extension; **TC:** Toe curl

## 5. DISCUSSIÓ

La literatura científica argumenta la importància de la MIP en l'estabilització i manteniment del sistema FC, considerant que es tracta d'un sistema d'integració activa, passiva i neurològica del peu.<sup>1,3,16,17</sup> McKeon et al.<sup>1,3</sup> són els primers a descriure l'estructura del sistema FC i determinen que el subsistema passiu fa referència als ossos, lligaments i càpsules articulars; que el subsistema actiu està compost pels músculs i tendons, i el subsistema neural pels receptors sensorials de la fàscia plantar, dels lligaments, de les càpsules articulars, dels músculs i dels tendons. Tourillon et al.<sup>17</sup> i Fourchet et al.<sup>16</sup> recolzen aquesta descripció en els seus articles.

La funció principal del FC és mantenir la funció normal del peu. Per fer-ho, manté el control de l'ALM<sup>1,13,16,17</sup> i, per tant, de la pronació del peu<sup>13,16</sup>, aportant una regulació activa de la rigidesa d'aquest<sup>16,17</sup>. A més, proporciona estabilitat<sup>1,16,17</sup> i control postural<sup>13,16</sup> i dinàmic<sup>3</sup>, i contribueix en l'absorció i generació d'energia<sup>16,17</sup>.

En general, els autors coincideixen que un bon treball de la MIP proporciona beneficis en la posició, l'estabilitat i la funció biomecànica del peu, millorant o evitant lesions, molèsties i deformitats. Referent als avantatges relacionats amb la posició, es pot donar una disminució del ND, per tant es redueix la pronació excessiva i consegüentment l'aplanament del peu.<sup>1,3,9,13,15,17</sup> En el *foot posture index* (FPI) ens trobem que millora la puntuació cap a una posició més neutra del peu<sup>11,13-15,17</sup>, encara que Okamura et al.<sup>14</sup>, Pabón Carrasco et al.<sup>13</sup> i Sulowska et al.<sup>11</sup> especifiquen que únicament millora l'ítem d'inversió/eversió del calcani. Pel que respecta als beneficis en l'estabilitat, Lee et al.<sup>12</sup> porten a terme un estudi amb subjectes amb inestabilitat crònica de turmell, els quals milloren aquesta falta d'estabilitat realitzant un programa d'exercicis específics per a la MIP. Per contrastar aquesta informació, ens trobem amb autors que també fan referència a un augment de l'estabilitat postural<sup>1,12,13</sup> i de l'equilibri dinàmic<sup>1,10,12,13,16,17</sup>. Pabón Carrasco et al.<sup>13</sup>, a més, mencionen una millora en la capacitat d'absorció dels xocs.

Un estudi realitzat per Kim et al.<sup>18</sup> demostra una reducció de l'angle *Hallux Valgus* (HV) en pacients inicialment amb aquesta desviació del primer dit després de 8 setmanes de treball de la MIP. De la mateixa manera, Jung et al.<sup>7</sup> raonen que un excés de pronació del peu pot provocar aquesta deformitat i per tant la realització d'exercicis que redueixin l'aplanament d'aquest també disminuiran l'angle HV.

Les lesions per ús excessiu del peu com la tendinopatia de l'Aquil·les, la disfunció del tibial posterior, les metatarsàlgies, la fascitis plantar, el síndrome de l'estrès tibial medial, l'hallux valgus, la hiperpronació, l'esquinç de turmell, la inestabilitat crònica de turmell, etc.<sup>3,13,15,16</sup> es poden donar per una falta d'activació, debilitat o atrofia de la MIP. Tal com afirmen Okamura et al.<sup>19</sup> i McKeon et al.<sup>3</sup>, que van descriure la MIP feble com a un factor de risc i van plantejar la hipòtesi que la debilitat o la inadequada contracció muscular de la MIP garanteix un moviment anormal del peu i desencadena problemes i patologies relacionades amb aquest. Aquesta argumentació està emfatitzada per diversos estudis mostrant una àrea de secció transversal (AST) de la MIP disminuïda en pacients amb fascitis plantar<sup>20</sup> i peu pla<sup>21</sup>. Per tant, la realització dels exercicis del FC per potenciar la MIP sembla ser un bon mètode de prevenció i rehabilitació d'aquestes lesions de l'extremitat inferior.

Tradicionalment s'han descrit varis exercicis per treballar la MIP com són els *toe curls* o *marble pickups* que, tal com argumenten McKeon et al.<sup>1</sup> i Lee et al.<sup>12</sup>, activen sens dubte alguns dels músculs intrínsecs plantars, però aquests tendeixen a reclutar també el FLH i FLD que formen part de la MEP, enlloc de centrar-se específicament en la MIP.<sup>1,9</sup>

Un dels exercicis més ben reconeguts actualment per a l'enfortiment de la MIP és el *short foot exercise* (SFE). Lynn et al.<sup>8</sup> i Lee et al.<sup>12</sup> mencionen en els seus articles que el SFE pot reclutar la MIP independentment de la MEP. Aquesta informació la recolzen McKeon et al.<sup>1</sup> suggerint que el SFE s'ha descrit com un mitjà per aïllar la contracció de la MIP, encara que per contra, Mulligan et al.<sup>9</sup> afirmen que no és del tot possible evitar una mínima contribució de la MEP.

En la present revisió bibliogràfica, a part del SFE ens hem trobat amb altres exercicis per treballar específicament la MIP com són el *first toe extension* (FTE), el *second to fifth toe extension* (STFTE) i el *toes spread out* (TSO), els quals han estat discutits per diversos autors. Trobem els exercicis descrits a la **Taula 3**.

Lynn et al.<sup>8</sup> van comparar l'efecte del SFE i el *toe curl exercise* (TCE) i en ambdós grups van observar una disminució del rang de desviacions del centre de pressió en la direcció medio-lateral durant el test d'equilibri dinàmic. Tot i així, la millora era més evident en el grup del SFE. A més, l'estudi de Jung et al.<sup>7</sup> demostra una major activitat electromiogràfica del múscul AbdH amb el SFE en comparació amb el TCE.

**Taula 3.** Descripció dels exercicis del Foot Core

<b>Exercici</b>	<b>Descripció</b>
<i>SFE</i>	Consisteix en portar el 1r CMTT cap al taló (sense flexió del dit) per escurçar el peu en direcció antero-posterior, mentre els CMTT i el taló romanen en contacte amb el terra.
<i>FTE</i>	Consisteix en estendre el 1r dit mentre el 2n, 3r, 4t i 5è dits es mantenen en contacte amb el terra.
<i>STFTE</i>	Consisteix en estendre el 2n, 3r, 4t i 5è dits mentre el 1r dit es manté en contacte amb el terra.
<i>TSO</i>	Consisteix en estendre els 5 dits del peu mentre els CMTT i el taló es mantenen en contacte amb el terra. Tot seguit baixar el 5è dit en direcció lateral i després el 1r dit en direcció medial, mantenint els dits de 2n a 4t estesos. Finalment, relaxar-los.

Autoria pròpia. **SFE**: Short foot exercise; **FTE**: First toe extension; **STFTE**: Second to fifth toe extension; **TSO**: Toes spread out.

Mulligan i Cook<sup>9</sup> van avaluar la influència de 4 setmanes amb el SFE en la morfologia i la funció dinàmica de l'ALM. Van observar una disminució del ND indicant un rang més baix de pronació del peu.

L'estudi de Gooding et al.<sup>4</sup> compara els canvis de secció transversal dels músculs durant el SFE, el TSO, el FTE i el STFTE en adults sans. Van informar que els registres d'activació més alts de la MIP es trobaven en el SFE, seguit del TSO i finalment del FTE i STFTE. Per contra, Fraser i Hertel<sup>22</sup> que comparaven els canvis de l'activació de la MIP després d'un programa d'exercicis de 4 setmanes amb el TSO, FTE i STFTE, no van observar cap diferència significativa en l'activació muscular intrínseca després de la intervenció.

Pabón Carrasco et al.<sup>13</sup> van realitzar un estudi amb subjectes que presentaven peu pla, tot aplicant un programa d'entrenament amb el SFE obtenint una millora en l'FPI i una disminució del ND. L'estudi de Kisacik et al.<sup>15</sup>, també amb el SFE aplicat en subjectes amb peu pla i amb dolor patelofemoral, recolza la informació anterior obtenint com a resultats una millora en l'FPI i una disminució del ND, a més d'una disminució del dolor del genoll. Okamura et al.<sup>14</sup> i Sulowska et al.<sup>11</sup> coincideixen en una milloria de l'FPI en els subjectes dels seus estudis.

Altres eines d'entrenament per enfortir el sistema FC són el *barefoot* i la utilització de calçat minimalista. El primer terme es tradueix en caminar descalç, i les dues opcions serien útils per tal d'activar tota la musculatura del peu i no deixar músculs inhibits degut

al calçat o als suports plantars. Una altra via d'activació i treball de la MIP és l'electroestimulació neuromuscular, per donar estímuls directes als músculs perquè s'activin.

Fourchet et al.<sup>16</sup> i McKeon et al.<sup>1</sup> estan d'acord en que l'electroestimulació neuromuscular incrementa l'activació neural i enforteix els músculs a partir d'una contracció involuntària d'aquests. Aquesta eina podria ser útil per integrar la contracció de la MIP abans de començar amb el control voluntari d'aquesta durant els exercicis del FC.

Tal com ens expliquen McKeon et al.<sup>1</sup> en el seu article, anar completament descalç augmenta l'entrada sensorial rebuda a la superfície de la planta del peu. Aquesta entrada sensorial és reconeguda des de fa temps per la seva importància en l'estabilitat postural i dinàmica. Cal tenir en compte que l'estabilitat augmenta progressivament amb la disminució de la quantitat de suport del calçat.<sup>1</sup> L'estudi de Johnson et al.<sup>23</sup> mostra que un entrenament de *running* de 10 setmanes amb calçat minimalista és efectiu en l'increment de l'activitat del múscul AbdH. A més, Chen et al.<sup>24</sup> demostren que un programa de 6 mesos de transició al calçat minimalista de *running* provoca un augment de la mida de la MIP.

McKeon et al.<sup>3</sup> proposen un programa d'entrenament del FC que va des de l'aïllament a la integració funcional. D'aquesta manera, el pacient aconsegueix primer el control voluntari de la MIP i és llavors quan s'ha de promoure l'ús d'aquests músculs durant activitats dinàmiques en els quals s'integra tot el sistema FC.

Tal com hem pogut veure a la literatura, no existeix un protocol que presenti evidència científica sobre com hauríem de treballar els diferents exercicis de manera òptima, és a dir, sobre quin seria el període d'intervenció adequat, de quants dies a la setmana tractaria, quantes sèries i repeticions, etc., ja que cada autor especifica el seu propi programa d'entrenament.

Per aquest motiu, hem procedit a realitzar el nostre propi protocol d'entrenament amb els quatre exercicis del FC que més aïllen la MIP. (veure l'**annex 9.1.**) ja que es pretén proposar el treball d'aquests músculs tradicionalment ignorats, però funcionalment essencials.

Aquesta revisió bibliogràfica ha tingut varies limitacions que inclouen resultats d'estudis amb una mostra petita i un temps d'intervenció relativament curt. A més, el mètode

d'avaluació de la intervenció en cada estudi era diferent o pocs d'ells coincidien. Per tant, els resultats obtinguts dels avantatges del treball del FC es podrien veure alterats si tots els estudis haguessin seguit una mateixa metodologia.

Seria d'especial interès la realització d'estudis longitudinals amb el mateix tipus de participants (mateixa patologia/simptomatologia), les mateixes variables (sèries, repeticions, temps de descans, mètode d'avaluació, progressió dels exercicis, duració de l'estudi, etc.) i el mateix exercici, i amb un grup de control per a poder comparar l'evolució. D'aquesta manera, l'eficàcia dels diferents exercicis es veuria més evident.

Valdria la pena comparar la funció intrínseca dels músculs del peu de les poblacions sanes i lesionades i també en activitats com caminar, córrer o altres exercicis funcionals perquè puguem ampliar les nostres recomanacions per als exercicis del FC.

## 6. CONCLUSIONS

1. El sistema FC està compost pel subsistema actiu, el passiu i el neural, i la seva funció principal és la de mantenir el funcionament normal del peu controlant l'ALM, proporcionant estabilitat i un control postural i dinàmic i contribuint en l'absorció i generació d'energia.
2. Un programa d'entrenament senzill de la MIP mitjançant els exercicis del FC té un impacte positiu en la posició, estabilitat i biomecànica del peu. A més, és un bon mètode de prevenció i rehabilitació de lesions per ús excessiu de l'extremitat inferior.
3. En base a la revisió bibliogràfica s'ha determinat un programa d'exercicis del FC mitjançant el SF, el FTE, el STFTE i el TSO; quatre exercicis que recluten la MIP i exclouen al màxim possible la MEP. L'execució dels exercicis és 3 vegades per setmana, realitzant 3 sèries de 10 repeticions cada una per cada peu. La contracció es manté durant 5 segons i entre sèries es descansa durant 30 segons.

## 7. 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;49(5):290.
2. 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.* 2003;42(6):327–33.
3. McKeon PO, Fourchet F. Freeing the foot. Integrating the foot core system into rehabilitation for lower extremity injuries. *Clin Sports Med.* 2015;34:347–61.
4. Gooding TM, Feger MA, Hart JM, Hertel J. Intrinsic foot muscle activation during specific exercises: a T2 time magnetic resonance imaging study. *J Athl Train.* 2016;51(8):644–50.
5. Jam B. Evaluation and retraining of the Intrinsic foot muscles for pain syndromes related to abnormal control of pronation. Advanced Physical Therapy Education Institute. 2004.
6. Sánchez-Rodríguez R, Valle-Estévez S, Fraile-García PA, Martínez-Nova A, Gómez-Martín B, Escamilla-Martínez E. Modification of pronated foot posture after a program of therapeutic exercises. *Int J Environ Res.* 2020;17(22):1–8.
7. 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. *Phys Ther Sport.* 2011;12(1):30–5.
8. 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. *J Sport Rehabil.* 2012;21:327-33.
9. Mulligan EP, Cook PG. Effect of plantar intrinsic muscle training on medial longitudinal arch morphology and dynamic function. *Man Ther.* 2013;18(5):425–30.
10. Moon DC, Kim K, Lee SK. Immediate effect of short-foot exercise on dynamic balance of subjects with excessively pronated feet. *J Phys Ther Sci.* 2014;26:117-9.

11. 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).
12. Lee DR, Choi YE. 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. *J Exerc Rehabil*. 2019;15(5):709–14.
13. Pabón-Carrasco M, Castro-Méndez A, Vilar-Palomo S, Jiménez-Cebrián AM, García-Paya I, Palomo-Toucedo IC. Randomized clinical trial: The effect of exercise of the intrinsic muscle on foot pronation. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(13):1–11.
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;75:40–5.
15. Kısacık P, Tunay VB, Bek N, Atay ÖA, Selfe J, Karaduman AA. Short foot exercises have additional effects on knee pain, foot biomechanics, and lower extremity muscle strength in patients with patellofemoral pain. *J Back Musculoskelet Rehabil*. 2021;1–12.
16. Fourchet F, Gojanovic B. Foot core strengthening: relevance in injury prevention and rehabilitation for runners. *Swiss Sports Exerc Med*. 2016;64(1):26-30.
17. Tourillon R, Gojanovic B, Fourchet F. How to evaluate and improve foot strength in athletes: an update. *Front Sports Act Living*. 2019;1.
18. Kim MH, Yi CH, Weon JH, Cynn HS, Jung DY, Kwon Y. Effect of toe-spread-out exercise on hallux valgus angle and cross-sectional area of abductor hallucis muscle in subjects with hallux valgus. *J Phys Ther Sci*. 2015;27:1019-22.
19. Okamura K, Kanai S, Oki S, Tanaka S, Hirata N, Sakamura Y, et al. Does the weakening of intrinsic foot muscles cause the decrease of medial longitudinal arch height? *J Phys Ther Sci*. 2017;29:1001-5.

20. 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*. 2016;19:713-5.
21. Angin S, Crofts G, Mickle KJ, Nester CJ. Ultrasound evaluation of foot muscles and plantar fascia in pes planus. *Gait Posture*. 2014;40(1):48-52.
22. Fraser JJ, Hertel J. Effects of a 4-week intrinsic foot muscle exercise program on motor function: a preliminary randomized control trial. *J Sport Rehabil*. 2019;28(4):339-49.
23. Johnson AW, Myrer JW, Mitchell UH, Hunter I, Ridge ST. The effects of a transition to minimalist shoe running on intrinsic foot muscle size. *Int J Sports Med*. 2015;37(2):154-8.
24. Chen TLW, Sze LKY, Davis IS, Cheung RTH. Effects of training in minimalist shoes on the intrinsic and extrinsic foot muscle volume. *Clin Biomech*. 2016;36:8-13.

## 8. AGRAÏMENTS

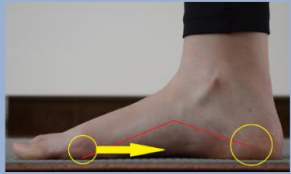



A la meva tutora Neus, per aconsellar-me i guiar-me durant l'elaboració d'aquest treball i per la seva entrega i disponibilitat sempre que l'he necessitada.

A la meva família, per acompanyar-me, recolzar-me i proporcionar-me tot el necessari per jo poder arribar fins aquí.

A les meves companyes i amigues Mar i Mireia, per les experiències i coneixements compartits durant aquests anys.

## 9. ANNEXOS

### 9.1. Taula d'exercicis pel treball específic del Foot Core

<i>TFG</i>		
<b>EXERCICIS DEL FOOT CORE</b>		
EXERCICI	DESCRIPCIÓ	REPRESENTACIÓ
<b>Short Foot (SF)</b>	Consisteix en portar el 1r cap metatarsal cap al taló (sense flexió del dit) per escurçar el peu en direcció antero-posterior, mentre els caps metatarsals i el taló romanen en contacte amb el terra. Mantenir la contracció per augmentar l'arc longitudinal medial.	
<b>First toe extension (FTE)</b>	Consisteix en estendre el 1r dit mentre el 2n, 3r, 4t i 5è dits es mantenen en contacte amb el terra.	
<b>Second to fifth toe extension (STFTE)</b>	Consisteix en estendre el 2n, 3r, 4t i 5è dits mentre el 1r dit es manté en contacte amb el terra.	
<b>Toes spread out (TSO)</b>	Consisteix en estendre els 5 dits del peu mentre els caps metatarsals i el taló es mantenen en contacte amb el terra. Tot seguit baixar el 5è dit en direcció lateral i després baixar el 1r dit en direcció medial, mantenint els dits de 2n a 4t estesos. Finalment, relaxar-los.	
<p><i>Execució: 3 vegades per setmana, 3 sèries x 10 repeticions x peu.</i></p> <p><i>Contracció de 5 segons. Descans de 30 segons entre sèries.</i></p> <p><i>Progressió: assegut/da, dret/a amb doble recolzament, dret/a amb únic recolzament.</i></p>		
<p>Jung et al. 2011; Lynn et al. 2012; Mulligan &amp; Cook 2013; Moon et al. 2014; Gooding et al. 2016; Sulowska et al. 2016; Lee et al. 2019; Pabón Carrasco et al. 2020; Okamura et al. 2020; Kisacik et al. 2021.</p>		

## 9.2. Vídeo dels exercicis pel treball específic del Foot Core



Vídeo exercicis  
pel Foot Core

