



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

ED-UMA
Escuela de Doctorado
UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

S FACULTAD DE
CIENCIAS DE LA SALUD
Universidad de Málaga

**ESCUELA DE DOCTORADO DE LA UNIVERSIDAD DE
MÁLAGA**

Programa de Doctorado en Ciencias de la Salud
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

TESIS DOCTORAL POR COMPENDIOS DE PUBLICACIONES 2024

DOCTORANDO:

D. CARLOS MARTÍNEZ SEBASTIÁN

DIRECTORA: DRA. DÑA. LAURA RAMOS PETERSEN

TUTOR: PROF. DR. GABRIEL GIJÓN NOGUERÓN





UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

AUTOR: Carlos Martínez Sebastián

 <https://orcid.org/0000-0001-9027-7860>

EDITA: Publicaciones y Divulgación Científica. Universidad de Málaga



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode>

Cualquier parte de esta obra se puede reproducir sin autorización pero con el reconocimiento y atribución de los autores.

No se puede hacer uso comercial de la obra y no se puede alterar, transformar o hacer obras derivadas.

Esta Tesis Doctoral está depositada en el Repositorio Institucional de la Universidad de Málaga (RIUMA): riuma.uma.es

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

**DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD DE LA TESIS
PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE DOCTOR**

D.: **Carlos Martínez Sebastián**

Estudiante del Programa de Doctorado en Ciencias de la Salud de la Universidad de Málaga, y autor/a de la tesis presentada para la obtención del título de doctor/a por la Universidad de Málaga, titulada:

« **EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL
MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN
PEDIÁTRICA**

Realizada bajo la tutorización de **Gabriel Gijón Noguerón** y la dirección de
 Laura Ramos Petersen (si tuviera varios directores, deberá hacer constar el nombre
de todos).

DECLARO QUE:

La tesis presentada es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual, ni los derechos de propiedad industrial u otros, conforme al ordenamiento jurídico vigente (Real Decreto Legislativo 1/1996 de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), modificado por la Ley 2/2019 de 1 de marzo.

Igualmente, asumo ante la Universidad de Málaga y ante cualquier otra instancia, la responsabilidad que pudiera derivarse en caso de plagio de contenidos en la tesis presentada, conforme al ordenamiento jurídico vigente.

En Málaga, a 23 de Julio de 20

Fdo.:
(Doctorando)

Fdo.:
(Tutor)

Fdo:
(Directora)

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS

Yo, Carlos Martínez Sebastián con DNI _____, alumno inscrito en la Escuela
Doctorado de la Universidad de Málaga,
DECLARO

Ser el único autor del texto entregado para obtener el título académico de Doctor, y que
tal texto no ha sido entregado ni total ni parcialmente para obtención de un título
académico en ninguna otra universidad o instituto, ni ha sido publicado anteriormente
para cualquier otro fin.

Así mismo, declaro no haber trasgredido ninguna norma universitaria con respecto al
plagio ni a las leyes establecidas que protegen la propiedad intelectual.

Declaro, además, que el archivo PDF corresponde exactamente al texto impreso que
presento junto al mismo.

Por último, declaro que soy conocedor de las sanciones penales en caso de infringir
las leyes del plagio y de falsa declaración, y que firmo la presente con pleno uso de
mis facultades y asumiendo todas las responsabilidades de ella derivada.

FIRMA:

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

(añadir una página por director/a)

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

D^a: Director/a **Laura Ramos Petersen**

Como director/a de la tesis doctoral titulada: Título **EVALUACIÓN DE LA
RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE
PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

Presentada para su admisión a trámite por D.: Doctorando/a **Carlos Martínez
Sebastián**

CERTIFICA

Que dicho trabajo ha sido realizado bajo su dirección y consideran que reúne los requisitos y calidad científica necesaria para ser defendido y juzgado por el tribunal de tesis correspondiente, a fin de optar al Grado de Doctor/a por la Universidad de Málaga.

Y para que conste a los efectos oportunos, en cumplimiento de las disposiciones vigentes,

Expide y firma el presente certificado en Málaga a 23 de Julio 2024

Fdo.:
Dr.

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

D.: Gabriel Gijón Noguérón

Como tutor de la tesis doctoral titulada: EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN
ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-
TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

Presentada para su admisión a trámite por D.: Carlos Martínez Sebastián

CERTIFICA

Que dicho trabajo ha sido realizado bajo su dirección y consideran que
reúne los requisitos y calidad científica necesaria para ser defendido y
juzgado por el tribunal de tesis correspondiente, a fin de optar al Grado de
Doctor/a por la Universidad de Málaga.

Y para que conste a los efectos oportunos, en cumplimiento de las
disposiciones vigentes,
Expide y firma el presente certificado en Málaga a 23 de Julio 2024

Fdo.:
Dr.

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

INFORME DE LA DIRECCIÓN SOBRE LAS PUBLICACIONES QUE AVALAN LA TESIS

Da: **Laura Ramos Petersen**

(añadir todos los directores participantes cuando proceda)

Como director/a de la tesis: **EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA
HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA
POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

Presentada por D.: **Carlos Martínez Sebastián**

INFORMA

- Que dichas publicaciones han sido presentadas, publicadas o aceptadas para su publicación, muestra o reproducción con posterioridad a la fecha de matrícula del doctorando/a en el Programa de Doctorado.
- Que en ellas consta la Universidad de Málaga, a través de la afiliación de sus directores y el/la doctorando/a.
- Que el/la doctorando/a consta como primer/a o segundo/a autor/a de todas ellas¹.
- Que dichas publicaciones NO han sido utilizadas en tesis anteriores.

Lo que firma a los efectos oportunos, en Málaga a 23/07/2024

Fdo.:

Directora

¹ Según el art. 19 del Reglamento de Doctorado de la Universidad de Málaga, sólo en casos realmente excepcionales, la Comisión Académica del Programa de Doctorado podrá autorizar que en una contribución que avale una tesis, el doctorando figure en una posición posterior a la segunda, o que la contribución se haya producido en un periodo de investigación previo a la matrícula del doctorando en el Programa, a la vista de las justificaciones presentadas y con el visto bueno de la Comisión de Posgrado.

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

**ACEPTACIÓN DE COAUTORES PARA QUE EL / LA DOCTORANDO/A
PRESENTE EL TRABAJO COMO TESIS DOCTORAL POR COMPENDIO**

(añadir una página por coautor y por publicación)

D./D^a Laura Ramos Petersen
Institución Universidad de Málaga

Como coautor de las publicaciones:

1. Evaluation of the Relationship between Lower Limb Hypermobility and Ankle Muscle Strength in a Paediatric Population: Protocol for a Cross Sectional Study
2. The resting calcaneal stance position (RCSP): an old dog, with new tricks
3. Development, validation, and psychometric analysis of Foot and Ankle Flexibility Index (FAFI)
- 4.
- 5.
- 6.

Acepta que las publicaciones detalladas arriba sean presentadas por el/la doctorando/a como trabajo que forma parte de su tesis doctoral y que no puedan además ser utilizadas en otra tesis.

Lo que firmo a los efectos oportunos,

Firma de la coautora

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

*“A MEDIDA QUE CRECE NUESTRA ISLA DE CONOCIMIENTO, TAMBIÉN AUMENTAN LAS PLAYAS DE
NUESTRA IGNORANCIA”*

JOHN WHEELER

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

AGRADECIMIENTOS

Al culminar esta etapa tan importante de mi vida, me gustaría expresar mi gratitud a todas aquellas personas y entidades que, de una u otra manera, han contribuido a la realización de este doctorado.

En primer lugar, quiero agradecer profundamente a mi directora de tesis, la Dra. Laura, por su guía, paciencia y apoyo constante. Por arrimar el hombro en las mediciones en los colegios, sus debates de cómo plantear los artículos y en exigirme la perfección.

Por consiguiente, al capitán o tutor, el Dr. Gabriel por su confianza en mi proyecto y permitirme esa libertad en todo el proceso del doctorado. Su experiencia y conocimiento han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo, y su búsqueda del conocimiento en la investigación ha sido una fuente constante de inspiración.

No puedo olvidarme de la Dra. Angela Evans, con su sabiduría y experiencia nos ha guiado a este equipo.

A mis profesores de la UMA, quienes con sus enseñanzas y colaboraciones me han ayudado a crecer tanto académica como personalmente. En especial, agradezco a Joaquín, Ana Belén, Ana Cebrián, Hermas y Jesús Montes por sus valiosos consejos y por siempre estar dispuestos a brindar su ayuda.

Si he hecho el doctorado, ha sido en parte por dedicarme en un futuro a la docencia, y este querer nace de 3 profesores que he tenido en mi vida, Pepe en San Patricio, Javier Morallón en el Mare Nostrum y José mi profesor de Radiología, no os acordareis de mí, pero estaré siempre en deuda con vosotros.

Agradezco también a mis compañeros de la universidad, del erasmus, de Málaga, de Murcia, quienes me han acompañado en este arduo camino, ofreciéndome su amistad, apoyo y comprensión en los momentos más difíciles.

Si estoy aquí es gracias a la formación de compañeros de profesión, y hoy en día amigos, me han hecho ser mejor podólogo. En especial, agradezco a Roberto, F. Monzó, A. Orejana y a Pau los conocimientos que me han transmitido y los cuales aplico en mi práctica clínica.

Todo esto no hubiera sucedido sin mi hermano podológico Álvaro, el cual me animó para apuntarme al máster. Desde que lo conocí siempre ha estado en todos mis proyectos y es quien me guía y, me hace querer mejorar y nunca estancarme. Gracias. También acordarme de Rubén, gracias a su conocimiento me hizo mejorar en el campo de la investigación.

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

Agradecer al Colegio San Francisco que aún en tiempos de Covid me permitieron realizar la investigación con los alumnos, y a mis compañeros Andrés y Cristina por su ayuda en la recogida de datos y colaboración en la investigación, sin dejar de lado su apoyo personal absoluto. Sin movernos de ubicación dar gracias a mis compañeras de la clínica Verónica y Laura por su apoyo incondicional.

Quiero dar las gracias a personas que ya no están conmigo, pero siguen siendo igual de importantes porque su recuerdo ha mantenido la llama de mi constancia para que pudiera alcanzar esta meta.

A mi familia, que ha sido mi pilar fundamental. A mis padres, Jesús y Esperanza, por su amor incondicional, por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia, y por siempre creer en mí. A mi hermana, Alicia, por su apoyo constante.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	29
1.1 DESARROLLO EMBRIONARIO.....	29
1.2 DESARROLLO FETAL.....	32
1.3 CRECIMIENTO DEL PIE.....	33
1.4 DESARROLLO DE LOS MIEMBROS INFERIORES.....	34
1.4.1. Fémur	34
1.4.2. Rodilla.....	35
1.4.3. Tibia	36
1.4.4. Osificación de los huesos del pie.....	36
1.5. RECUERDO ANATÓMICO DE LOS PRINCIPALES SEGMENTOS DEL PIE...38	
1.5.1. Articulación tibioperonea-astragalina.....	38
1.5.2. Articulación subastragalina.....	38
1.5.3. Articulación mediotarsiana.....	38
1.5.4. Primer radio.....	39
1.6. LA MARCHA.....	39
1.7. EL PIE PLANO INFANTIL.....	40
1.8. EL PIE PLANO FLEXIBLE INFANTIL (PPFI)	43
1.9. DIAGNÓSTICO.....	44
1.9.1. Formatos de imagen para diagnóstico y hallazgos del PPFI.....	45
1.9.1.1. Análisis de huella plantar.....	45
1.9.1.2. Pruebas de imagen.....	47
1.9.2. Mediciones estáticas del pie.....	52
1.9.2.1. FPI y su desarrollo.....	52
1.9.2.2. RCSP.....	57
1.9.3. Revisiones.....	58
1.10. VÍAS CLÍNICA DE ATENCIÓN.....	59
1.10.1. Según el Colegio Americano de Cirujanos de Pie y Tobillo	59
1.10.2. Formulario de Pie Plano pediátrico	64

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

1.10.3. Gait and Lower Limb Observation of Pediatrics.....	67
1.11. TRATAMIENTOS.....	68
1.11.1. Tratamiento conservador.....	69
1.11.1.1. Encuesta Delphi para podólogos para la prescripción de OP en PPFI.....	71
1.11.2. Tratamiento quirúrgico.....	72
1.11.2.1. Catania flatfoot score.....	74
1.12. PIE PLANO FLEXIBLE INFANTIL Y SU RELACIÓN CON LA MASA COPORAL.....	75
1.12.1. Obesidad y Pie Plano Infantil.....	77
1.12.1.1. Huella plantar.....	77
1.12.1.2. Medidas antropométricas.....	79
1.12.1.3. FPI	79
1.12.1.4. Conclusión.....	80
1.13. HIPERMOVILIDAD.....	81
2. JUSTIFICACIÓN	83
3. OBJETIVOS.....	85
3.1. Objetivos principales.....	85
3.2. Objetivos secundarios.....	85
4. EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD DE LAS EXTREMIDADES INFERIORES Y LA FUERZA DE LOS MÚSCULOS DEL TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA: PROTOCOLO PARA UN ESTUDIO TRANSVERSAL	87
4.1. INTRODUCCIÓN	87
4.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	88
5. DESARROLLO, VALIDACIÓN Y ANÁLISIS PSICOMÉTRICO DEL ÍNDICE DE FLEXIBILIDAD DE PIE Y TOBILLO (FAFI).....	95
5.1. INTRODUCCIÓN.....	95
5.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	96
5.3. RESULTADOS.....	99
5.4. DISCUSIÓN.....	104
5.5. CONCLUSIÓN	107

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

6.	LA RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE POSTURA DEL PIE (FPI-6), LAS PRUEBAS VALIDADAS DE PIE Y TOBILLO Y LA HIPERMOVILIDAD: UN ESTUDIO TRANSVERSAL.....	109
6.1.	INTRODUCCIÓN.....	109
6.2.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	110
6.3.	RESULTADOS.....	111
6.4.	DISCUSIÓN.....	113
6.5.	CONCLUSIÓN.....	114
7.	LA POSICIÓN DE REPOSO DEL CALCÁNEO (RCSP): UN PERRO VIEJO, CON NUEVOS TRUCOS.....	117
7.1.	INTRODUCCIÓN.....	117
7.2.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	118
7.3.	RESULTADOS.....	121
7.4.	DISCUSIÓN.....	125
7.5.	CONCLUSIÓN.....	127
8.	LIMITACIONES Y PROSPECTIVA.....	129
8.1.	LIMITACIONES DE LA TESIS DOCTORAL.....	129
8.2.	PROSPECTIVA DE LA TESIS DOCTORAL.....	123
9.	CONCLUSIONES	131
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	133
11.	ANEXOS.....	147
12.	PUBLICACIONES.....	169

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

ÍNDICE DE TABLAS

1. Puntajes descriptivo y confiabilidad de los ítems
2. Matriz de correlación entre ítems
3. Sensibilidad y especificidad para ítems del FAFI
4. Correlación entre FAFI, BS y LLAS
5. Estadística de la muestra de estudio
6. Matriz de correlación entre ítems de las variables del estudio
7. Modelo de regresión multivariado para la medición de la hipermovilidad mediante FAFI
8. Estadística descriptiva de la muestra del estudio
9. Sensibilidad y especificidad para RCSP
10. Relación entre variables individuales y la aparición de pie plano identificado mediante los métodos de diagnóstico FPI o RCSP.
11. Relación entre el IMC y la postura del pie

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Las etapas Carnegie del desarrollo humano
2. Clasificación de genu
3. Ángulo tibial distal lateral
4. Ángulo tibial.calcáneo
5. Ángulaciones del plano sagital
6. Ángulo astragalocalcáneo
7. Guías de Práctica Clínica para Pie Plano Pediátrico del Colegio Americano de Cirujanos de Pie y Tobillo
8. 2ª vías del pie plano flexible infantil
9. Guía de semáforo del p-FFP
10. Formulario p-FFP 2008
11. Formulario p-FFP 2009
12. Algoritmo diagnóstico del PPI
13. Curvas y tablas de crecimiento de 0 a 18 años
14. Evaluación del rango de dorsiflexión del tobillo mediante la prueba Lunge
15. Evaluación de la fuerza del tobillo utilizando el dinamómetro
16. Definición de los 7 ítems FAFI testados
17. Curva ROC para el FAFI
18. Relación FAFI con edad y sexo
19. Curva ROC para el RCSP

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

ÍNDICE DE ANEXOS

1. Permiso
2. Permiso
3. Permiso
4. Permiso
5. Permiso
6. GALLOP
7. Permiso
8. Permiso
9. LLAS
10. Aprobación del comité ético
11. Consentimiento informado
12. Hoja de recopilación de datos
13. Hoja de recopilación de datos
14. Hoja de recopilación de datos
15. FAFI

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

ÍNDICE DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

AI: Arch Index
AIJ: Artritis Idiopática Juvenil
ALI: Arco Longitudinal Interno
AP: Proyección Anteroposterior
AUC: Área bajo la curva
BS: Beighton Score
CSI: índice de Chiappax-Smirak
CTF: Catania Flafoot
ECA: Ensayo Controlados Aleatorios
FPI: Foot Posture Index
GALLOP: Gait and Lower Limb Observation of Paediatrics
HA: Hipermovilidad articular
HAG: Hipermovilidad Articular Generalizada
ICC: Coeficiente de Correlación Intraclase
LLAS: Lower Limb Assessment Score
IMC: Índice de Masa Corporal
OP: Ortesis Plantar
p-FFP: Formulario de pie plano pediátrico
PPFI: Pie Plano Flexible Infantil
PPI: Pie Plano Infantil
RAE: Real Academia Española
RCSP: Rest Calcaneal Stance Position
RM: Resonancia Magnética
SAI: Staheli Arch Index
TAC: Tomografía Axial Computarizada
TRF: Time to rise from the floor
VPN: Valores predictivos negativos
VPP: Valores predictivos positivos
6 MWT: 6 Minute walking test
5JT: The 5 jump-test
10 MRT: Time to run 10 meters
10 MWT: Time to walk 10 me

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Desarrollo embrionario

Durante las primeras dos semanas de embarazo, conocido como periodo germinal, se produce la concepción y el inicio del desarrollo prenatal. En este periodo, el espermatozoide se fusiona con el óvulo para fundar una singular célula denominada cigoto. El cigoto luego viaja a través de la trompa de Falopio hacia el útero. Una vez en el útero, el cigoto se transforma en una estructura llamada blastocisto y comienza a implantarse en la pared uterina. El periodo germinal llega a su fin cuando el blastocisto se ha implantado definitivamente en el tejido uterino [1].

El periodo embrionario es una etapa crucial en el desarrollo humano, que comienza desde la fertilización del óvulo y se extiende hasta aproximadamente las 10 semanas de gestación. Durante este tiempo, el embrión experimenta una serie de transformaciones y diferenciaciones celulares fundamentales para su posterior desarrollo [1]. Durante este tiempo la masa celular se divide y se diferencia hasta formar el ectodermo, que dará origen a la epidermis, al tejido nervioso y a los receptores sensoriales. El mesodermo, que dará origen al esqueleto, al tejido conectivo, a los huesos y a la sangre. El endodermo originará los órganos internos del organismo, es decir, aquellos formados por el aparato digestivo y el aparato respiratorio [2].

La embriogénesis se refiere a todos los procesos que ocurren durante el desarrollo del embrión hasta que se convierte en feto. La etapa final de este desarrollo se conoce como periodo de desarrollo fetal, que abarca desde el final del periodo embrionario hasta el momento del nacimiento, es decir, desde la semana 10 hasta la semana 40 de embarazo. Durante este periodo fetal, ocurren cambios significativos, siendo el más notable el aumento dramático de tamaño del feto [1].

Los estadios de Carnegie son un sistema de clasificación utilizado para describir las etapas del desarrollo embrionario en los vertebrados, incluidos los humanos. Estos estadios se basan en una serie de características morfológicas observables y se dividen en 23 etapas que cubren el periodo desde la fertilización hasta aproximadamente los 60 días de desarrollo [3] (Figura 1).

El desarrollo del pie es un proceso complejo que comienza durante el periodo embrionario y se completa a lo largo de la gestación. Este proceso implica la interacción entre células mesenquimales derivadas del mesodermo y el ectodermo, que trabajan en conjunto para establecer el patrón futuro del pie y formar su estructura esquelética. Las tres etapas principales en la formación del esqueleto del pie son: la etapa mesenquimal, la etapa cartilaginosa y la etapa ósea.

En la etapa mesenquimal, las células mesenquimales se diferencian y forman los metatarsianos, las falanges y el tarso. Luego, en la siguiente etapa, se forma un precartilago dentro de las áreas donde las células mesenquimales se han agrupado, creando un patrón cartilaginoso. La formación del cartilago finaliza terminando el periodo embrionario [4].

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

Durante el proceso, se produce una infiltración vascular que comienza en el astrágalo provenientes de rama arterial tarsiana. A continuación, la vascularización se extiende desde proximal con el calcáneo, hasta distal con las falanges, iniciando el entorno para la formación ósea [5].

El desarrollo del sistema nervioso es un proceso fundamental que comienza temprano en la vida embrionaria. Durante la tercera semana embriológica, el ectodermo forma una estructura especial llamada placa neural. Esta placa neural es un precursor crucial del sistema nervioso central, que incluye el cerebro y la médula espinal. Diversas células se diferencian en gran medida de la cresta neural, y esto da lugar a la formación del sistema nervioso sensitivo y autónomo. Hasta la mitad de la gestación el cerebro crece rápidamente [6]. En la semana 5 del desarrollo embrionario, se producen importantes avances en la formación del sistema nervioso periférico, específicamente en la región lumbosacra. Durante este periodo, se forma lo que se denomina un primitivo plexo lumbosacro, que es una red de nervios que se origina a partir de los segmentos nerviosos de la médula espinal ubicados en las regiones lumbares y sacras de la columna vertebral [7].

La formación inicial de los miembros inferiores se produce a continuación de los superiores. Este proceso se manifiesta a partir la cuarta semana de desarrollo embrionario, especialmente al inicio de la quinta semana. La secuencia de desarrollo sigue un patrón desde la parte más cercana al cuerpo hacia la más distal. En el estadio 13, que ocurre alrededor de los 28-32 días después de la fecundación, se identifica un núcleo central de tejido mesenquimatoso rodeado por un engrosamiento del ectodermo, en este estadio se produce el desarrollo de los esbozos de los miembros inferiores y el comienzo de la formación de la cara. Hacia el día 33, el crecimiento del esbozo resulta en una morfología que se asemeja a una aleta. Durante la quinta semana de desarrollo embrionario, ocurre un evento crucial en la formación de las extremidades inferiores. Se forman surcos que dividen el esbozo en tres porciones distintas, que eventualmente darán origen al muslo, la pierna y los pies [8]. En la sexta semana, la porción terminal del esbozo, que eventualmente se convertirá en el pie, se aplanan y se separa del segmento proximal por medio de una constricción circular, formando lo que se conoce como la placa pedia [9].

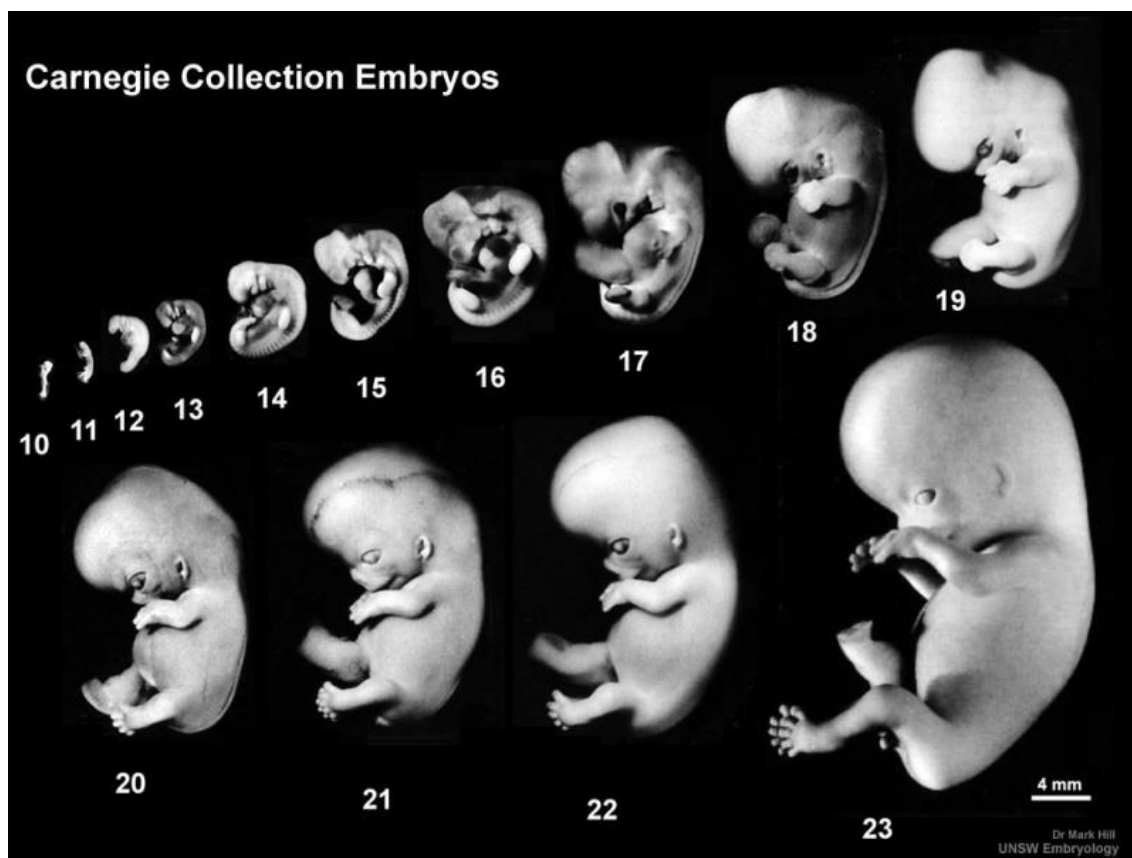


Figura 1. Las etapas Carnegie del desarrollo humano [3]. Imagen autorizada (Anexo1)

Aproximadamente en el día 37 de la vida intrauterina, en la parte inferior del miembro inferior comienza a notarse una estructura en forma de placa que representa el comienzo del desarrollo del pie. A este nivel, el nervio tibial ya ha penetrado en esta placa. En el día 41, en la región del tarso pueden reconocerse los grupos más densos de tejido mesenquimatoso de las futuras extensiones digitales. Para el día 44 ya son claras las agrupaciones de tejido en las áreas correspondientes a los diversos dedos, ya se han organizado de manera espacial y tipográfica según el estadio 19, al tiempo que la morfogénesis de la rodilla se deja ver por primera vez [8].

En esta etapa, se experimenta una rotación interna de la extremidad inferior de aproximadamente 90 grados en relación con el tronco. Durante el desarrollo embrionario de las extremidades, como parte de la formación de los dedos de las manos y los pies, se produce un fenómeno conocido como la muerte programada de las células, o apoptosis. Este proceso es fundamental para dar forma y definición a los dedos, ya que elimina el tejido interdigital que inicialmente conecta los primordios digitales [8]. En la séptima semana, se inicia el proceso de condricificación en el tejido mesenquimatoso del pie. Este proceso empieza en la zona media, abarcando el tarso y el metatarso, y se extiende hacia la parte distal. La formación de los dedos sigue un patrón específico, con un orden digital de $3>2>1>4>5$. En esta fase, la cuña intermedia se condricifica mediante un único núcleo central, lo que hace que no sea común observar una cuña intermedia

dividida, a diferencia de la primera cuña que madura a partir de dos núcleos diferentes [10].

En la octava semana, se lleva a cabo la condricificación en la región mesenquimatosa distal del pie. En torno al día 51, se inicia la condricificación de las cuñas y las falanges, donde se diferencian las áreas de articulación metatarsal-falángica.

A partir del día 52, transcurre la condricificación de las falanges medias y los metatarsianos. En esta semana, el pie finaliza su desarrollo embrionario, con todos sus elementos esqueléticos en proceso de condricificación. En esta semana, todas las interzonas están presentes[11]. En este momento, el pie se alinea con la pierna, donde su eje principal sigue la dirección del eje de la extremidad. Se halla en postura equina, con el calcáneo adyacente al astrágalo, y la planta del pie orientada hacia la parte interna y dorsal, adoptando una posición similar a la de "oración". Permanecen en esta postura hasta el séptimo mes, momento en el cual comienzan a adoptar una posición más fisiológica para facilitar el parto. En este proceso, los pies rotan, doblando en ángulo recto con la pierna, y el astrágalo se interpone entre el calcáneo y la tibia y el peroné [8].

El proceso de osificación empieza alrededor de la octava semana de desarrollo, y en la doce ya se pueden observar los centros de osificación en la totalidad de los huesos largos. Después de la formación ósea, los mioblastos se agrupan para formar la musculatura, que se divide en un componente dorsal y ventral [12]. Esta musculatura madura en el mismo lugar sin la contribución de la mesénquima de las regiones de las miotomas de las somitas [9].

En la fase final, los miembros inferiores experimentan una rotación medial de aproximadamente 90 grados, posicionando los músculos extensores en la cara anterior [11].

1.2. Desarrollo fetal

A lo largo del desarrollo fetal, se producen transformaciones en la morfología. Straus [13] en 1934 llevó a cabo una investigación detallada que demostró que el crecimiento del astrágalo no es uniforme en todas las direcciones. Específicamente, la parte posterior del astrágalo ensancha ligeramente a un ritmo superior que su longitud. La corrección de la supinación del pie se explica, en parte, por el desplazamiento y la torsión lateral de la cabeza-cuello del astrágalo.

Durante el desarrollo fetal temprano, el hueso calcáneo es corto. Sin embargo, a medida que avanza, este aumenta su crecimiento en comparación con su tamaño. Hay un aumento gradual en la parte posterior, lo cual ayuda a la eficiencia del músculo tríceps sural debido a mejorar su brazo de palanca. A las 8 semanas de gestación, el astrágalo y el calcáneo son áreas de cartílago separadas por tejido mesenquimatoso, lo que significa que aún no hay cavidades entre estos huesos [14].

El primer hueso metatarsiano tiene menos longitud y mayor grosor que el segundo. Hasta el momento del nacimiento, el primer metatarsiano experimenta un crecimiento

más rápido que el segundo. Después del nacimiento, ambos huesos se desarrollan a un ritmo similar [4].

En las etapas tempranas de la vida fetal, se observa que las falanges laterales son más largas en comparación con la longitud que tendrán en la edad adulta, lo que sugiere un proceso de reducción en el tamaño de estas falanges. Al mismo tiempo, mientras los dedos más pequeños experimentan una disminución en su tamaño, el dedo gordo del pie (hallux) alcanza una posición dominante [13].

Alrededor de las 8 semanas de desarrollo, los huesos sesamoideos se manifiestan inicialmente como tejido blastémico condensado. Este tejido blastémico es una masa de células indiferenciadas que se agrupan y comienzan a diferenciarse en células cartilaginosas, formando un modelo inicial del hueso sesamoideo. Estos huesos sesamoideos continúan siendo cartilaginosos a lo largo de todo el periodo prenatal [13].

En relación con una articulación, su formación comienza con una agrupación celular uniforme en la región interzonal. Posteriormente, esta región se transforma en una zona con tres capas distintas, y finalmente se desarrolla una cavidad en el centro [15].

A continuación, la cavidad es revestida por tejido sinovial. En el estadio 20 del desarrollo, se observan regiones homogéneas en la articulación metatarsofalángica del pie. Hacia el final del periodo embrionario, en el estadio 23, la mayoría de estas regiones aún conservan su homogeneidad. Las zonas de tres capas surgen más tarde, durante la etapa fetal del desarrollo. Los ligamentos se diferencian durante el periodo de desarrollo fetal antes de la formación del espacio articular o de la cápsula [4].

Bardeen y Lewis [16] realizaron un estudio sobre el desarrollo de músculos y nervios. A una longitud de 9 mm, la extremidad está formada principalmente por tejido mesenquimatoso. Se establece una red capilar que proporciona el suministro sanguíneo necesario para el crecimiento y la nutrición de los tejidos en desarrollo. Esta red capilar está conectada a la arteria umbilical, que transporta sangre oxigenada desde la placenta hasta el feto, y a la vena cardinal, que lleva la sangre desoxigenada desde el feto hacia la placenta para su oxigenación. Los nervios que inervan la región de la extremidad inferior provienen del plexo lumbosacro, que es una red de nervios formada por los segmentos nerviosos lumbares y sacros de la médula espinal. Estos nervios se ramifican y penetran en la estructura de la extremidad, proporcionando inervación sensorial y motora a los músculos, la piel y otras estructuras de la extremidad. Durante este proceso, los anillos esqueléticos y musculares comienzan a diferenciarse en el lugar. Al llegar a los 11 mm, se observa un tejido mesenquimatoso muy condensado, llamado escleroblastema, que marca el desarrollo del esqueleto de la pierna y, en menor medida, del pie. Los principales troncos nerviosos crecen primero en las regiones donde se formarán los espacios entre los músculos. A medida que los grupos musculares se diferencian, los troncos nerviosos envían ramificaciones hacia la masa muscular.

1.3. Crecimiento del pie

La medida de la longitud del pie parte desde el talón y finalizando en la punta del dedo gordo en apoyo.

El pie experimenta un crecimiento significativo hasta la semana 8 de gestación, posteriormente se enlentece hasta la semana decimocuarta. A partir de la semana 14, hay un rápido aumento de tamaño hasta la semana 26, seguido de otra desaceleración hasta el final del embarazo. A partir de la semana 14, el pie registra un crecimiento promedio de 3 mm por semana [17].

La longitud media del pie al final del periodo de gestación, alrededor de las 40 semanas, es de aproximadamente 7,6 centímetros. Sin embargo, es importante tener en cuenta que esta medida puede variar [4].

La longitud promedio del pie aumenta de una manera rápida y constante hasta los 3 años, posteriormente se reduce. La longitud se incrementa en 0,9 cm al año desde los 5 hasta los 12 años en el sexo femenino y desde los 5 hasta los 14 años en el masculino. Después de esta etapa, la tasa de crecimiento disminuye significativamente. En las niñas, la longitud del pie tiende a alcanzar su madurez sobre de los 14 años, en cambio en los niños esto ocurre más tarde, alrededor de los 16 años [17].

1.4. Desarrollo de los miembros inferiores

Las extremidades son estructuras únicas diseñadas principalmente para desempeñar funciones mecánicas, como el movimiento y la fuerza. Estas funciones se logran gracias a la coordinación en el desarrollo de diversos tejidos que trabajan de manera conjunta.

El sistema musculoesquelético experimenta cambios significativos desde el nacimiento hasta la vida adulta. Estos cambios son el resultado de una interacción compleja entre el crecimiento óseo, el desarrollo muscular y la adquisición de habilidades motoras. Durante la infancia y la niñez temprana, el cuerpo experimenta un rápido crecimiento y desarrollo de los huesos y los músculos. El inicio de movimientos coordinados, como gatear, pararse y caminar, genera fuerzas de compresión y tensión en los huesos y los músculos. Estas fuerzas son importantes para el desarrollo adecuado del sistema musculoesquelético, ya que estimulan la formación ósea y el fortalecimiento muscular [18]. Al alcanzar objetivos importantes en el desarrollo motor, como la bipedestación y la marcha, se ejerce una influencia significativa en el desarrollo de las estructuras del pie, lo que a su vez facilita el crecimiento y el desarrollo del resto del sistema musculoesquelético [19].

La formación de hueso está directamente afectada por características internas como la etnia y el género de cada persona, además de aspectos socioeconómicos y la alimentación [20].

1.4.1. Fémur

La porción superior del fémur está mayormente formada por cartílago. La formación ósea de la cabeza femoral comienza con un núcleo secundario que emerge entre los 2-7 meses de edad. A medida que la cadera sigue desarrollándose, hay un proceso gradual de osificación en el cartílago trirradiado y en la parte superior del fémur. Esto conlleva a una reducción en el ángulo acetabular y un incremento en el ángulo centro-borde, siendo estos cambios más notables alrededor de los ocho años [21].

Existen tres zonas de crecimiento en la parte superior del fémur que desempeñan un papel crucial en su evolución: la placa de crecimiento longitudinal (que supone alrededor del 30% de la longitud total del fémur), la placa de crecimiento trocantérea (que influye en la formación de la cabeza y el cuello del fémur), y el istmo del cuello femoral [22]. En el segundo año, es significativo disminuir la torsión en el fémur, disminuyendo aproximadamente de 40° a 30°. Además, experimenta otra reducción en la pubertad, pasando de alrededor de 25° a aproximadamente 15° [23].

La coxa valga se refiere al ángulo creado entre el cuello femoral y su eje longitudinal. Inicialmente, este ángulo es de alrededor de 150° en recién nacidos, pero disminuirá a unos 125°-135° en el sexto año. En la etapa adulta, se considera fisiológico que este ángulo sea de 125° [24].

1.4.2. Rodilla

La rótula generalmente se desarrolla a partir de dos o tres puntos de osificación, que empiezan a crearse aproximadamente entre el cuarto y séptimo año [25].

Al nacer, la rodilla tiende a estar flexionada alrededor de 30°, resultado de la posición en el útero [26]. El aumento del rango de movimiento en el plano axial en población pediátrica inferior a 3 años se debe a las características del tejido conectivo y la movilidad muscular en esta articulación, que es inherentemente inestable [27].

La rodilla de un recién nacido suele presentar una curvatura hacia afuera en el plano frontal, conocida como genu varo, que disminuye durante los primeros 6 meses y continúa reduciéndose durante los primeros 2 años de vida. Clínicamente, esta curvatura se evalúa por la angulación tibio-femoral (Figura 2). Existe debate entre los autores sobre el grado de angulación en varo, con algunos considerando hasta 17° como normal en recién nacidos [28]. Se considera fisiológico si llega a los 0° alrededor del año o año y medio de vida. Las fuerzas musculares continuarán influyendo en la posición, alcanzando la posición de genu valgo, teniendo una inclinación tibiofemoral de alrededor de 12 grados. Esta inclinación se corregirá naturalmente con la madurez, disminuyendo a unos 5 grados de alineación normal hacia los 8-10 años [26].

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

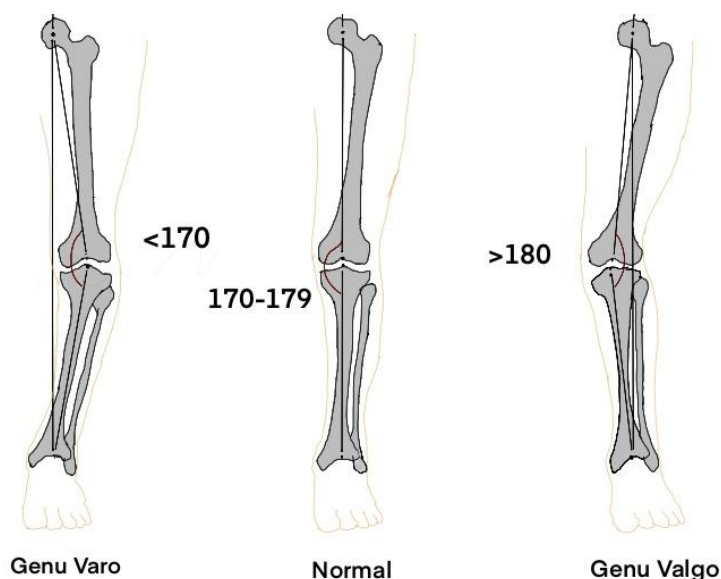


Figura 2. Clasificación de genu. Elaboración propia.

1.4.3. Tibia

La porción central de la tuberosidad de la tibia se hace evidente a partir de los siete hasta los quince años, para luego fusionarse por completo con el resto del hueso [29]. La torsión tibial se ha definido como el ángulo formado por los ejes articulares de la rodilla y el tobillo. Un estudio mediante tomografía computarizada (TAC) reveló que la torsión lateral promedio de la pierna a los 4 años era de 28° , con variación individual entre 20° y 37° . Luego, se observó un aumento promedio de 1° por año hasta los 10 años, seguido por un aumento de 4° hasta la madurez, alcanzando una torsión lateral media de 38° (rango de 18° a 47°). La torsión tibial en niños evoluciona principalmente desde el nacimiento hasta los 4 años, y después de este periodo, el aumento es de menor relevancia clínica [30].

1.4.4. Osificación de los huesos de pie

La osificación del calcáneo comienza en el cuerpo del calcáneo alrededor del quinto o sexto mes de vida fetal. Durante este periodo, el centro primario de osificación se forma en la parte central del cuerpo del calcáneo, y uno o dos núcleos de crecimiento aparecen para permitir el crecimiento del hueso [31]. Después del nacimiento, durante la infancia y la niñez, se desarrollan núcleos de osificación secundarios. Uno de estos núcleos se ubica en la apófisis posterior del calcáneo, y generalmente comienza a osificarse alrededor de los 9 años. Este proceso continúa durante la adolescencia y finaliza alrededor de los 16 años, cuando el calcáneo ha alcanzado su forma adulta [32].

En el caso del astrágalo, el primer núcleo de osificación generalmente aparece alrededor de la séptima semana intrauterina. Este es un hito importante en el desarrollo óseo fetal,

ya que marca el inicio de la formación de este hueso crucial en el pie humano [8]. Cercano a los siete años en las niñas y los ocho años en los niños, se observa un segundo núcleo de osificación en el astrágalo. Este núcleo secundario comienza a mineralizarse y adquiere una forma más parecida a la del astrágalo adulto. Luego, alrededor de los once años, este segundo núcleo comienza a fusionarse con el núcleo primario de osificación. Este proceso de fusión continúa hasta alrededor de los trece años en ambos sexos, momento en el cual se completa el proceso de osificación del astrágalo. Este proceso de desarrollo es importante para establecer la estructura y función adecuadas del pie humano durante el crecimiento y la maduración [33].

El escafoides es el último de los huesos del tarso en osificar completamente. Su proceso de osificación generalmente comienza entre los 2 y 5 años. Esto significa que, en comparación con otros huesos del pie, el escafoides tiene un inicio de osificación relativamente tardío [34].

Durante la semana siete se produce el inicio de la creacción del cuboides, el cual solo tiene un punto de osificación, que en población española se ha estudiado que termina de osificar a los 13 años, independientemente del sexo [35].

Durante el periodo fetal, el proceso de osificación se inicia en los metatarsianos antes que en las falanges. En específico, algunos autores, como Tachdjian [5], señalan que el primer núcleo óseo que comienza a formarse durante el periodo intraútero es el de las falanges distales. Luego, la osificación continúa con los metatarsianos, seguidos por las falanges proximales y, por último, las falanges medias.

Durante el periodo fetal, se inicia la osificación en los cuneiformes. Comienza con la formación de centros de osificación en la región cartilaginosa de cada cuneiforme. Durante los primeros años, los núcleos de osificación se fusionan gradualmente con el cartílago circundante, formando así los huesos cuneiformes. Completando la osificación alrededor de los 12 a 15 años [36].

Los núcleos secundarios de osificación se forman en las partes cartilaginosas de los huesos largos del pie, específicamente en las cabezas de los metatarsianos segundo a cuarto, la base del primer metatarsiano, epífisis proximal del quinto metatarsiano y las bases de las tres falanges de los dedos. La secuencia típica de osificación de estos núcleos sigue un orden específico. Primero, la base de la falange distal del primer dedo. Luego, las bases de las falanges medias de los dedos segundo a cuarto. Después, las bases de las falanges proximales. Sigue la base del primer metatarsiano y quinto metatarsiano. Finalmente, las cabezas de los metatarsianos y la base de las falanges distales de los dedos segundo a cuarto [36,37].

Los sesamoideos comienzan a osificarse durante el desarrollo fetal, generalmente en la infancia tardía. La osificación de los sesamoideos generalmente se completa en la adolescencia o en el inicio de la vida adulta, alrededor de los 12 a 15 años [37].

1.5. Recuerdo anatómico de los principales segmentos del pie

1.5.1. Articulación tibioperonea-astragalina

La articulación del tobillo se compone de la parte final de la tibia y el peroné en un extremo, y el cuerpo del astrágalo. En las zonas lateral y posterior, hay ligamentos que aseguran la estabilidad del tobillo. El principal movimiento es la dorsiflexión y plantarflexión [4]. La capacidad de movimiento del tobillo en los neonatos es significativamente amplia, debido a la postura dentro del útero y a las hormonas liberadas por la madre. Pueden experimentar alrededor de 70 grados de flexión dorsal y 30 grados de flexión plantar. No obstante, esta excesiva movilidad disminuye velozmente durante las primeras semanas. Con el tiempo, la movilidad normal del tobillo en el lactante se estabiliza sobre los 45 grados. En los niños pequeños, la flexión dorsal del tobillo puede variar entre 20° y 50°, pero disminuirá a unos 5-20° en adultos. Se considera que un rango de al menos 10° es necesario para una función de marcha normal [27].

1.5.2. Articulación subastragalina

En el estudio de la evolución del pie, Manter [38] describe el movimiento de la articulación subastragalina como una combinación artificial de dos movimientos: uno que implica rotación alrededor del eje largo del pie, denominado supinación-pronación, y otro alrededor del eje vertical, conocido como aducción-abducción. Aunque el autor señala que otros investigadores han definido este movimiento compuesto como pronosupinación, donde la supinación implica la composición de inversión, aducción y flexión plantar, mientras que la pronación implica la combinación de eversión, abducción y flexión dorsal.

Al momento del nacimiento, la articulación subastragalina muestra una inclinación hacia adentro con respecto a la pierna de alrededor de 10 grados. En el primer año, el hueso calcáneo adopta una posición de unos 10 grados hacia afuera en apoyo. Desde este punto, la inclinación hacia afuera del retropié disminuirá gradualmente hasta llegar a los 6-8 años [39].

1.5.3. Articulación mediotarsiana

El modelo contemporáneo para la articulación mediopié propone un movimiento alrededor de un solo eje de rotación y utiliza coordenadas tridimensionales globales y locales definidas en los planos corporales cardinales. En esencia, este modelo simplifica gran parte de la complejidad anterior al considerar las articulaciones talonavicular y calcaneocuboidea como un segmento único, que se moviliza con respecto al segmento del calcáneo. Con este modelo de un solo eje, todo el movimiento se observa y describe en torno a tres ejes de referencia [40]. Al nacer, la parte delantera del pie de los recién nacidos está inclinada hacia adentro entre 10° y 15° en relación a la zona posterior, con la "postura de oración" en la etapa fetal, con los tejidos en la parte interna acortados [27].

1.5.4. Primer radio

El primer radio se refiere a la combinación de dos huesos en el pie: la primera cuña y el primer metatarsiano. El eje del primer radio tiene una dirección contraria a los ejes de las articulaciones subastragalina y mediotarsiana. En niños, este eje acostumbra a estar inclinado entre 10° - 20° en el plano transversal [41]. El eje del primer radio permite movimientos como la flexión dorsal y la inversión con rotación hacia adentro en una cadena cinética cerrada, así como la flexión plantar y la rotación hacia afuera con rotación hacia afuera en una cadena cinética cerrada. La línea que divide longitudinalmente el primer radio se vuelve casi paralela a la del astrágalo en el plano transversal [42].

1.6. La marcha

La Real Academia Española (RAE) nos define la palabra marcha como “Modo de caminar de las personas”. Aunque en este caso se tiene que diferenciar a los niños, el cual es heterogeneo, obviando la idea de ser un adulto en menor medida. Esta diferencia reside en la naturaleza anatómicas y funcional de la etapa infantil con respecto a la adulta.

Es fundamental tener en cuenta que, en niños que se desarrollan de manera típica, el periodo en el que comienzan a caminar generalmente oscila entre los 10 y 16 meses [43]. La forma en que los pies y las piernas se alinean cuando están de pie tiene un impacto significativo en la estabilidad y en las habilidades de movimiento resultantes. A medida que los niños desarrollan mayor fuerza, equilibrio y coordinación motora, empiezan a exhibir patrones básicos de marcha, como caminar, y posteriormente adquieren habilidades más avanzadas, como correr, saltar y brincar [27]. Al alcanzar estos logros, también repercute en la evolución del pie, lo que también favorece el progreso general del sistema muscular y esquelético [18]. Durante este proceso, es más evidente cualquier problema potencial relacionado con la alineación de los pies y las piernas, ya que las cargas de peso y las compensaciones asociadas pueden volverse funcionalmente notorias.

La capacidad de aprender a caminar de manera independiente, así como la edad y la calidad de este proceso, están influenciadas por varios factores, como la estimulación del entorno, la madurez del sistema nervioso central y el desarrollo del sistema musculoesquelético [44].

El desarrollo del patrón de marcha en los niños no obedece a un proceso lineal, en el cual, la cinemática y la cinética se divide en dos fases. La primera, que comprende entre los 5 y 6 meses de caminar de manera independiente, se interpreta como una etapa en la que se unifican las restricciones posturales con las exigencias dinámicas propias de la marcha. En esta fase, todo aspecto de la marcha cambia rápidamente. Segunda etapa, alargada, que dura hasta los 8 años. En ella, se va ajustando continuamente el patrón de marcha [18,44].

Los primeros pasos de un bebé se destacan por ser cortos y rápidos, con una postura robótica y una base de apoyo amplia. Al separar bien los pies, el niño logra mantener el equilibrio de manera efectiva. Con el tiempo, a medida que el equilibrio mejora, la base de apoyo se reduce, y alrededor de 4 a 5 meses después de comenzar a caminar de manera independiente, la distancia entre los pies se acerca al ancho del tronco. El niño muestra un golpe con el pie plano en el suelo, en lugar del posterior talón [45]. El ángulo inicial de progresión del pie cambia, pero normalmente tiende a reducir la abducción. Sin embargo, no es raro ver una aducción leve [43].

El niño de 1 año tiene una postura de eversión relajada del calcáneo de aproximadamente 5 a 10°. Como consecuencia, el antepié se mueve hacia afuera y se flexiona hacia arriba, observándose que los dedos se desplazan hacia los lados y el peso se desplaza hacia la región media interna del tarso. Esto genera carga tensil en los ligamentos del complejo deltoideo y disminuye la capacidad de los músculos tibiales anterior y posterior [27].

A los 2 años, los niños muestran una respuesta temprana al cambio de peso mediante la rotación interna y externa del pie, con actividad muscular de los grupos correspondientes. En este punto, el niño ha bajado los brazos a los lados y presenta una postura de marcha con una base más estrecha [27].

La progresión de la marcha hasta los 3-4 años se atribuye al crecimiento y maduración del sistema nervioso central. En esta fase, se desarrollan características asociadas con la madurez del patrón de marcha, como el aumento de la velocidad y la duración del apoyo unipodal, la adquisición del contacto del talón, el balanceo de los brazos y la flexión de la rodilla durante el apoyo, así como la reducción de la anchura de la base de sustentación [46]. La postura fisiológica implica una combinación de: curvatura hacia adentro en las lumbares, extensión excesiva de la rodilla, inclinación hacia adentro de las rodillas, rotación externa de la tibia, posición simétrica de las rótulas, reducción de la almohadilla de grasa en la planta del pie y giro hacia afuera del hueso del talón al soportar peso [43].

Entre los 4 y 7 años, se observa un aumento en la curvatura hacia adentro en la parte baja de la espalda del niño debido a la inclinación anterior de la pelvis. Las rotaciones interna y externa de la cadera se equilibran, y la torsión femoral disminuye gradualmente a aproximadamente 25°. La máxima inclinación hacia adentro de las rodillas se resuelve. La torsión tibial alcanza su valor maduro a los 7 años, situándose entre 15 y 30° hacia afuera. La flexión dorsal de la articulación del tobillo debe tener un rango de unos 10 a 20°, y tanto la inclinación del retropié como hacia afuera del pie disminuyen [47].

1.7. El pie plano infantil

Durante décadas y hoy en día se mantiene como tema de debate el desarrollo natural del pie plano infantil (PPI) y a la misma vez su fisiopatología. Existen diferentes profesionales encargados del diagnóstico y tratamiento del PPI, esto ha provocado que hoy en día tengamos distintas definiciones, formas de evaluación, clasificaciones y pautas de tratamiento. Esta realidad pone en duda si realmente hay literatura sobre el

PPI desactualizada que deberíamos desechar y empezar a construir las bases con metodología confiable y evidenciada para un entendimiento y conocimiento del PPI desde el área del diagnóstico hasta su tratamiento.

A través de un estudio de huellas, Volpon postuló en 1994 que la mayoría de los bebés desarrollan rápidamente un arco plantar normal y es probable que un PPI se resuelva de forma espontánea entre los 2 y los 6 años. Después de este periodo se reduce la posibilidad de cambios significativos [48].

Aunque los PPI son comunes durante el desarrollo, muchas veces los padres consultan a un especialista de la comunidad pediátrica debido a preocupaciones sobre la morfología de los pies de sus hijos y el temor de que la deformidad cause problemas futuros y dolor [49]. En términos generales, se sostiene que esto eventualmente resulta en alteraciones en el patrón de la marcha [50]. A pesar de que los padres a veces exageran la gravedad de la discapacidad de sus hijos, se ha observado que los niños con pies planos flexibles experimentan una disminución significativa en su calidad de vida en comparación con aquellos que tienen pies normales [51]. A veces los PPI pueden causar dolor, especialmente después de actividades físicas intensas o largos periodos de caminata. El dolor tiende a ser difuso en los pies y en la parte inferior de las piernas. En los adolescentes, el pie plano moderado y severo se asoció con casi el doble de la tasa de dolor anterior de rodilla y dolor lumbar intermitente [52]. En el caso del adulto, se ha confirmado significativamente una mayor probabilidad de experimentar dolor en el pie, hallux abducto-valgus, dedos en martillo y enfermedades degenerativas de las articulaciones [53,54].

La falta de acuerdo en la terminología y la conceptualización del pie plano ha contribuido a la confusión en torno a esta condición y destaca la necesidad de una mayor claridad en la investigación y la práctica clínica. La terminología relacionada con los movimientos del pie resulta confusa, ya que no hay consenso sobre el nombre que se le debe dar a esta entidad; se utiliza indistintamente "pie plano", "pes planus", "pes valgoplanus", "talipes valgus" y "síndrome de pronación" [55].

El aplanamiento del arco longitudinal interno (ALI) es una característica presente de manera generalizada en individuos con pie plano, siendo una condición común tanto en la población pediátrica como en la adulta. Su definición se concentra clínicamente a un solo plano, esto ha ido cambiando con los años, donde anteriormente solo se ha centrado en cuanto de plano es el pie observando únicamente el arco interno. Hoy en día el pie plano es una deformidad triplanar. Su definición actual conlleva el aplanamiento del arco longitudinal interno, el talón en valgo, la subluxación de la articulación subastragalina con intra-rotación del astrágalo y la abducción de la articulación mediotarsiana [56,57].

La dominancia planar aborda cada uno de los tres planos cardinales al determinar qué plano compensa la deformidad. Se presta especial atención al plano primario de compensación y a la cantidad de movimiento disponible al evaluar la dominancia planar. El pie opera como una unidad que se basa en el movimiento, siendo la articulación subastragalina, la articulación del tobillo y la articulación mediotarsiana los puntos clave para el resultado del dominio plano. Para comprender verdaderamente la teoría de la

dominancia planar, es necesario entender la orientación del eje de la articulación y, por ende, comprender el movimiento de la articulación [58]. Según Edwin J. Harris existen dominancias planares en el pie plano flexible, produciendo una mayor dominancia en la deformación de uno o más segmentos del pie. El primero de ellos es la pronación en el plano frontal, que se distingue por una pronación anormal del calcáneo en dicho plano. La pronación en el plano transversal se distingue por la prominencia medial de la cabeza del astrágalo, que sobresale de la articulación subastragalina sin una eversión excesiva del talón. Esta condición resulta en un aumento del ángulo astrágalo-calcáneo cuando se observa desde la vista dorsal-plantar y a menudo está acompañada por ciertos grados de abducción del antepié. Por otro lado, la pronación en el plano sagital implica a los otros dos planos, pero su característica definitoria es la caída de la columna medial a nivel de la articulación astrágalo-escafoidea, articulación escafo-cuneana, articulación primera cuña-primer metatarsiano o en varias de estas articulaciones simultáneamente [56,59].

En términos simples, la mayoría tienen PPI cuando empiezan a caminar. Esto se debe a que tienen una mayor flexibilidad en las articulaciones y un control muscular aún no desarrollado, lo que hace que el pie se aplane al soportar peso [60]. Algunos expertos también sugieren que en los bebés y niños pequeños hay una almohadilla grasa debajo del arco interno del pie mientras se está formando el pie que produce que veamos el pie del niño más plano de lo que radiológicamente es. Se cree que esta grasa desaparece sobre los 2-5 años al mismo tiempo que se desarrolla completamente el arco del pie [61]. La obesidad, las deformidades rotacionales que causan dedos hacia adentro o hacia afuera, la presencia de un escafoide accesorio, el tobillo en posición de equino, y las deformidades en varo y valgo de la tibia, junto con su relación con la superficie de soporte de peso, son factores de riesgo que podrían influir en la evolución y funcionamiento del pie [62].

Según Harris [63], el PPI tiende a presentarse como un carácter independiente o vincularse a problemas médicos más amplios, como la laxitud generalizada de los ligamentos, anomalías neurológicas y musculares, condiciones genéticas y trastornos del colágeno. Además, es común encontrar pies planos en niños con enfermedades específicas, como artritis idiopática juvenil, parálisis cerebral y síndrome de Down, que tienen un riesgo significativo de evolucionar a patología en los pies [64].

El cometido de los profesionales de la salud pediátrica del pie radica en determinar si el pie de un niño se desarrolla de acuerdo con lo esperado, especialmente en lo que respecta a su postura y función. La tarea consiste en evaluar si es necesario intervenir, corrigiendo la alineación del pie para asegurar que funcione dentro de los rangos normales.

Es aceptado que los pies planos tienen distintas categorías y pueden ser dolorosos o no, flexibles o rígidos, funcionales o no funcionales. El PPI se clasifica en dos tipos: flexible y rígido. El pie plano flexible se caracteriza por tener un arco normal cuando el pie no está cargando peso, pero se aplanea cuando está en posición de carga [63]. Puede ser sin síntomas o presentar síntomas. En cambio, el pie plano rígido se caracteriza por tener un arco rígido y aplanado tanto en posición de carga como sin carga. La mayoría

de los pies planos rígidos están asociados con una condición subyacente que requiere atención especial [65]. El pie plano rígido se clasifica en distintas categorías, que incluyen el pie plano convexo congénito, el pie plano asociado a coaliciones tarsales, el pie plano asociado a espasticidad peroneal sin coalición tarsal y el pie plano iatrogénico. Lo significativo desde el punto de vista clínico es que el pie plano rígido en cuestión no puede corregirse ni con descarga ni con maniobras pasivas, ya que muestra una evasión aumentada con una articulación talonavicular inestable. Además, suele ir acompañado de una marcada reducción en el rango de movimiento cuando se está de pie, debido a la rigidez en el tendón de Aquiles [59]. Este tipo de pie plano puede ser sintomático o no, pero generalmente los síntomas tienden a empeorar con el tiempo, lo que puede llevar al desarrollo de cambios articulares secundarios y alteraciones en dinámica. Afecta a menos del 1% de la población y a menudo requiere tratamiento quirúrgico. Las coaliciones tarsales son la razón más frecuente detrás del pie plano rígido en niños y adolescentes [66]. El pie sesgado es un trastorno poco común que se caracteriza por una pronación severa del talón y una posición hacia adentro del antepié. Esta condición presenta características tanto de pie plano como de deformidad aductovarus [63].

La mayor parte de los pies planos flexibles son fisiológicos, no tienen síntomas y no necesitan terapia. Los niños con este tipo de pies planos deben ser supervisados regularmente para detectar cualquier síntoma o signo de progresión. Si hay una progresión continua, se debe realizar una reevaluación para buscar posibles enfermedades subyacentes [63]. Dado que los cambios en la alineación y movilidad del pie relacionados con el crecimiento continúan hasta aproximadamente los ocho años, se espera que los problemas de desarrollo se resuelvan para esa edad [60].

1.8. Pie plano flexible infantil (PPFI)

Hay pocos estudios que examinen la evolución natural del PPFI, ya sea que se trate o no. La literatura actual presenta una falta de apoyo justificada en la evidencia. No hay pruebas determinantes de que el PPFI conduzca a condiciones patológicas a largo plazo en la adultez. La falta de consenso para el tratamiento del PPFI ha conducido a dos enfoques opuestos, con dogmatismo al tratamiento. Una revisión de la literatura pone en evidencia la necesidad de un enfoque equilibrado para el PPFI. Los profesionales sanitarios expertos en el campo de la marcha se ven obligados a utilizar su mejor juicio, dado que, la literatura no es clara y concisa sobre la propia definición, y por tanto, su diagnóstico, evaluación y tratamiento. A día de hoy, hay muchas guías basadas en opiniones expertas y ninguna en resultados fiables y objetivos de estudios con evidencia que aclaren la actuación clínica [59].

Es cierto que la incidencia PPFI tiende a disminuir con el paso del tiempo, ya que la mayor parte experimentan una mejora en la estructura del arco plantar durante el crecimiento. Sin embargo, en algunos casos, el pie plano flexible puede persistir en la adultez.

En consonancia a un estudio realizado en Beijing, el 90% de los niños chinos menores de dos años presentaban PPI, aunque esta cifra disminuyó significativamente al 4% a los 10 años [67].

Con respecto a la etnia, la revisión sistemática de Salinas-Torres et al [68] mostró la mayor prevalencia de pie plano en poblaciones asiáticas en comparación con poblaciones de raza caucásica.

En la investigación realizada por Gould et al [69], se examinaron a 225 niños que estaban comenzando a caminar, y se les hizo un estudio longitudinal durante 4 años. Se observó que todos los niños, supuestamente sanos, diagnosticados de PPI según criterios radiográficos y fotográficos. Se encontró que el desarrollo de los arcos plantares ocurrió de manera independiente del tipo de calzado utilizado. Sin embargo, aquellos niños que usaban calzado con soporte para el arco mostraron un desarrollo más rápido de dicho arco.

Otro estudio de prevalencia realizado por García-Rodríguez et al [70], investigaron el PPI en una muestra de escolares de 4 a 13 años en Málaga, España. Evaluaron la gravedad en una muestra de 1181 niños seleccionados de una población total de 198.858 niños de escuela primaria. Dividieron a los niños en tres grupos de edad (4 a 5, 8 a 9 y 12 a 13 años) y clasificaron sus huellas en tres grados de PPI. Descubrieron que la prevalencia de PPI era del 2,7% entre los 1.181 niños examinados. De esta muestra, 168 niños (14,2%) estaban recibiendo tratamiento ortopédico, pero solo el 2,7% cumplía los criterios diagnósticos de PPI. Además, dentro del grupo que cumplía los criterios de PPI, solo el 28,1% estaba recibiendo tratamiento.

Se ha sugerido que las estimaciones de la prevalencia de PPI varían ampliamente, oscilando entre el 0,6% y el 90% [67,71]. Hayle et al, realizaron una revisión sistemática en la explicaron que el motivo de la amplia variación en la prevalencia era debido al desacuerdo en la descripción del PPI y la variabilidad en la medición de la posición del pie. Esta revisión demuestra que se puede esperar que los niños sanos con un desarrollo natural tengan un PPI durante su desarrollo. Se ha demostrado que de la alta prevalencia que hay en el niño, solo persiste el 3% en la población adulta [72].

1.9. Diagnóstico

La evolución del PPI genera opiniones divergentes en la comunidad clínica. Aunque se espera que los pies de los niños sean planos, no hay consenso sobre la medida exacta de esa planitud ni sobre cómo deben evolucionar con la edad. La falta de acuerdo se debe a la dificultad de determinar cuándo un PPI se considera "fuera del desarrollo típico". Establecer adecuadamente una posición no fisiológica del pie requiere una definición clara de las características de la postura "típica" del pie, lo que a su vez demanda pruebas válidas, fiables y apropiadas para desarrollar la postura normal del pie pediátrico, algo que aún no se ha logrado.

En la práctica clínica, muchos profesionales utilizan diversas herramientas de evaluación, como pedígrafos, radiografías, sistemas tridimensionales o escáneres,

ultrasonidos y escáneres láser de superficie. Sin embargo, estas herramientas suelen ser costosas y, en algunos casos, con riesgos potenciales como la exposición a la radiación. Las radiografías simples, las posturas estáticas y los sistemas de análisis de la pisada permiten describir el PPI mediante la comparación de diferentes ángulos o medidas con las normas de población conocidas [73].

En cuanto a las herramientas de medición estática del pie, estas se basan en diversas técnicas de diagnóstico tanto en posiciones con y sin carga de peso. Estas incluyen evaluar el ángulo del retropié, la posición del talón (valgo/varo), la altura del navicular y la formación del arco [63]. Sin embargo, particularmente, estas evaluaciones han corroborado tener una precisión diagnóstica baja, moderada o no probada [74].

1.9.1. Formatos de imagen para diagnóstico y hallazgos del PPI

- 1.9.1.1. Análisis de huella plantar

El estudio cuantitativo de la huella plantar a través de sistemas informatizados ofrece una evaluación objetiva de la forma del pie. Se utiliza para medir diversos parámetros que se correlacionan con la altura del ALI [75]. Sin embargo, algunos autores señalan que, a pesar de esta correlación, solo un porcentaje limitado (del 4 al 15%) de las variaciones en la altura del arco pueden explicarse mediante las variaciones en la huella plantar [76].

Además, existe una discusión en la literatura sobre la interpretación de estos parámetros. Parte de los investigadores en este campo argumentan que los datos de la huella plantar plasman principalmente índices y ángulos de la superficie plantar. Esto sugiere que, aunque estos parámetros son valiosos para caracterizar la morfología del pie, no capturan todas las complejidades de las variaciones en el ALI.

A pesar de estas discusiones, los parámetros cuantitativos de la huella plantar, como el pedígrafo, siguen siendo ampliamente usados en la práctica clínica y la investigación para evaluar la biomecánica del pie, identificar patologías y guiar intervenciones terapéuticas. Es importante considerar estas observaciones al interpretar los resultados y entender que los parámetros de la huella plantar ofrecen una perspectiva valiosa, pero no siempre pueden explicar completamente la tridimensionalidad del pie [77].

Algunos de los parámetros comúnmente utilizados incluyen:

El Índice del Arco (AI) como método que describe cómo analizar la huella del pie para determinar el tipo de arco. Primero, traza una línea desde el centro del talón hasta la punta del segundo dedo, llamada el "eje del pie". Luego, dibuja una segunda línea perpendicular a esta primera, tangencial a la parte más anterior del contorno de la huella, delante de las cabezas metatarsales. La zona de la huella entre estas líneas se divide en tres partes iguales, definiendo así las regiones del retropié (C), mediopié (B) y antepié (A). No se considera el área de los dedos en este proceso.

Luego, se determina el área total de la huella y el área del mediopié. El AI se calcula utilizando la fórmula $AI = B / (A + B + C)$. Los valores representativos son:

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

AI < 0.21: indicativo de arcos altos.

AI entre 0.21 y 0.26: indicativo de arcos normales.

AI > 0.26: indicativo de arcos bajos [75].

El estudio realizado por Kanatli et al.[78] examinó la conexión entre los ángulos obtenidos en radiografías y los resultados calculados del AI en 38 niños con PPFI. Los investigadores concluyeron que el estudio de la huella plantar, específicamente a través del AI, podría ser utilizado tanto para evaluaciones individuales en la consulta clínica como para screening en poblaciones más amplias.

Índice de Arco de Staheli: El Staheli Arch Index (SAI) [79], una modificación del AI desarrollado por Staheli, se calcula de manera diferente y se centra en las mediciones de la anchura del área del arco y del talón. Aquí se explica cómo se realiza el cálculo del SAI:

1. Se traza una línea en la anchura máxima de la impresión del talón.
2. Se traza otra línea en la anchura mínima de la impresión del arco.
3. El SAI se define como la proporción de la menor anchura medial-lateral del área del arco dividida entre la mayor anchura medial-lateral del área del talón.

La fórmula para calcular el SAI sería:

$$SAI = \frac{\text{Menor anchura del arco (medial-lateral)}}{\text{Mayor anchura del talón (medial-lateral)}}$$

En niños de 3 a 17 años, el valor normal es de 0,7–1,35, lo que indica la anchura del istmo es, aproximadamente, 1,3 veces mayor que el ancho del talón.

Ángulo de Clarke: El ángulo de Clarke es un parámetro utilizado en el análisis de la huella para evaluar el ALI del pie. Este ángulo se define como la intersección entre dos líneas: una línea que se extiende desde el punto más bajo del talón hasta el punto más bajo del primer metatarsiano y otra recta que conecta el punto más bajo del talón con el punto más bajo del quinto metatarsiano.

En términos más simples, el ángulo de Clarke mide la inclinación del ALI en una huella plantar. Se usa como un indicador para caracterizar la altura y la forma del ALI. Un ángulo de Clarke más grande generalmente indica un arco más pronunciado, mientras que un ángulo más pequeño sugiere un arco más plano.

Los valores normativos son de 32-44. Valores superiores se enfocan hacia pie cavo y menores, hacia plano.

Índice de Chippaux-Smirak (CSI): El índice descrito implica la medición de la huella plantar utilizando líneas trazadas en mayor ancho de la huella metatarsal y el menor ancho del ALI.

La fórmula para calcular este índice podría expresarse de la siguiente manera:

$$\text{Índice} = \frac{\text{Anchura mínima del área del arco}}{\text{Anchura máxima del área metatarsal}}$$

Los valores normativos serán del 35%. Los valores mayores ofrecen una inclinación a plano y menor, a cavo

El estudio llevado a cabo por Mickle et al. [80] utilizó la huella plantar para investigar a una muestra pediátrica en Australia con el objetivo de determinar si la prevalencia del PPFI estaba relacionada con el género. La conclusión de los investigadores fue que el PPFI era más común en los varones que en el sexo femenino. Esta diferencia de género se atribuyó a que el panículo adiposo plantar (tejido graso en la planta del pie) era más delgado en los niños. La composición del tejido adiposo podría influir en la conformación del arco plantar y, por lo tanto, en la prevalencia del PPFI.

- 1.9.1.2. Pruebas de imagen

El diagnóstico por imagen del pie engloba distintas herramientas, entre las que se encuentran la radiología, la tomografía axial computerizada (TAC) y la resonancia magnética (RM). Cada modalidad de imagen tiene sus propias ventajas y limitaciones, y la designación de la herramienta diagnóstica dependerá de la naturaleza de la condición clínica y de la información específica que se requiera para un manejo adecuado de la patología del pie.

Radiología: Las imágenes radiológicas son comúnmente utilizadas para el diagnóstico del tipo de pie. Se considera, en algunas áreas, como la prueba de referencia o *gold standard* para evaluar las características del ALI. Sin embargo, se señala que el uso rutinario de la radiología puede no estar justificado debido a los riesgos asociados con la exposición a radiaciones.

Las radiografías no son esenciales para diagnosticar el pie plano flexible, pero se pueden considerar en casos específicos, como cuando hay dolor inusual en el pie, pérdida de flexibilidad significativa o cuando se está planeando una intervención quirúrgica. En la mayor parte de los casos del PPFI, la evaluación clínica y otras medidas no invasivas son suficientes para el manejo adecuado, y las radiografías se reservan para situaciones en las que proporcionan información adicional relevante. En el caso de niños, la radiología puede presentar limitaciones ya que algunos centros de osificación de los huesos del pie no están presentes hasta ciertas edades [49].

Las radiografías se pueden clasificar por planos [81]:

Deformidad del plano frontal

1. Ángulo tibial distal lateral. Se denomina a una variación anormal en la angulación de la tibia en relación con la línea de orientación de la articulación tibioperonea astragalina cuando se estudia en una radiografía en proyección anteroposterior (AP). En condiciones normales, el ángulo tibial distal lateral es de aproximadamente $89^\circ \pm 3^\circ$. Figura 3.

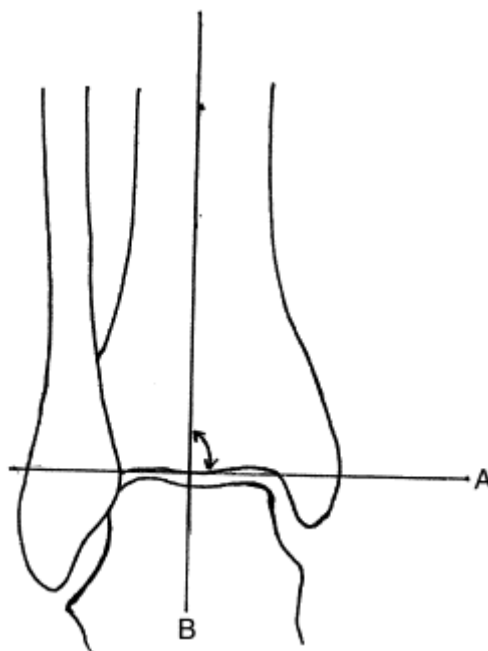


Figura 3. Ángulo tibial distal lateral. La línea A corresponde a la línea de orientación de la articulación tibioperonea astragalina y la recta B corresponde al eje anatómico de la tibia. El ángulo tibial distal lateral se encuentra en la unión de estas líneas. Imagen autorizada (Anexo 2).

2. Ángulo tibial-calcáneo. Se refiere al espacio formado por dos líneas, una que atraviesa por el medio de la tibia y otra que va por el centro longitudinal del calcáneo. Este ángulo se observa desde la vista de alineación del retropié o la vista del calcáneo de la pierna larga. Es crucial que estas líneas estén alineadas de manera paralela, y la bisección del calcáneo debe ubicarse 5 a 10 mm hacia un lado del centro anatómico de la tibia. Figura 4.

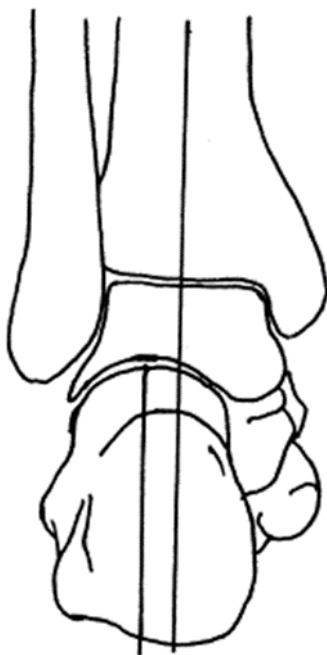


Figura 4. Ángulo tibial-calcáneo. El centro anatómico de la tibia y la línea mediodiafisaria del calcáneo forman el ángulo calcáneo tibial. Imagen autorizada (Anexo 2).

Deformidad del plano sagital

1. Ángulo tibial distal anterior. El ángulo tibial lateral se refiere a la unión entre el centro anatómico de la tibia y la recta que marca la dirección de la articulación tibioperonea astragalina, cuando se observa en una radiografía lateral. En una condición normal, este ángulo suele ser de alrededor de 80° , con una variación aceptable de $\pm 3^\circ$.
2. Ángulo astrágalo-calcáneo. Constituye el punto donde se cruzan dos líneas: una que divide a la mitad el cuello del astrágalo y otra que sigue la parte inferior del calcáneo, cuando se observa desde el lado en una radiografía. En condiciones normales, este ángulo generalmente oscila entre 25° y 45° .
3. Ángulo de inclinación del calcáneo. Se denomina al ángulo formado por dos líneas, una que sigue la superficie de carga del pie y otra que va a lo largo de la parte inferior del calcáneo, en una vista lateral. En condiciones normales, este ángulo suele estar en el rango de 18° a 23° .
4. Ángulo astrágalo-primer metatarsiano. Se refiere al punto donde se encuentran dos líneas: una que divide a la mitad el cuello del astrágalo y otra que sigue el centro del hueso del primer metatarsiano, cuando se observa desde el lado en una radiografía. En condiciones normales, estas líneas suelen ser paralelas. Sin embargo, si el paciente tiene menos de 3 años, la recta que atraviesa por el centro de crecimiento óseo del astrágalo debe dividir el tercio superior del cuboides (Figura 5).

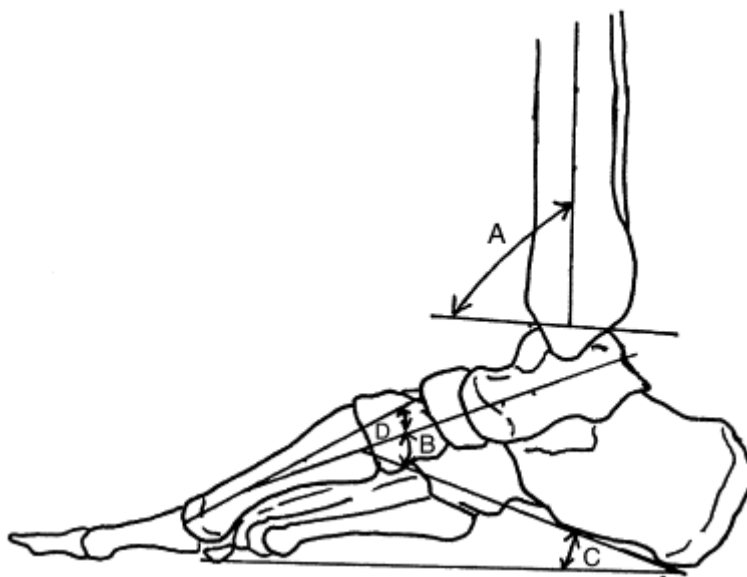


Figura 5. Ángulaciones del plano sagital. La vista lateral muestra el ángulo tibial distal anterior (A), el ángulo astrágalo-calcáneo (B), el ángulo de inclinación del calcáneo (C) y el ángulo astrágalo-primer metatarsiano (D). Imagen autorizada (Anexo 2).

Deformidad del plano transversal

1. Ángulo astrágalo-calcáneo: se forma al dividir por la mitad el cuello del astrágalo y conectar ese punto con el borde lateral del calcáneo, cuando se observa desde una radiografía en AP. En condiciones normales, este ángulo suele encontrarse en un rango de 20° a 35°. Figura 6.

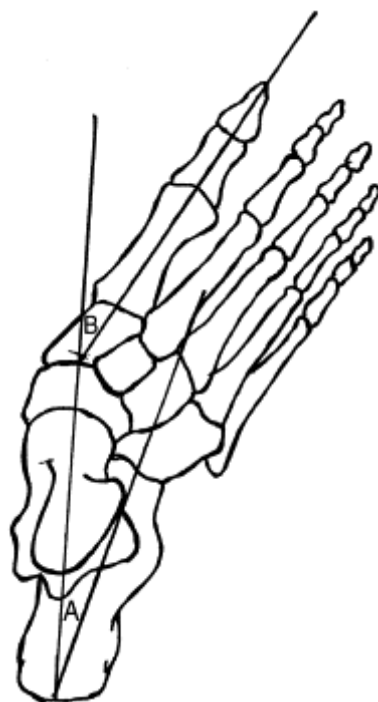


Figura 6. Ángulo astrágalo-localcáneo. La vista AP del pie muestra el ángulo astrágalo-localcáneo (A) y el ángulo astrágalo-primer metatarsiano (B). Imagen autorizada (Anexo 2).

La RM y la TAC son indicadas cuando hay limitación en la amplitud de movimiento de la articulación en la región subastragalina o mediopié, y las radiografías simples no muestran evidencia de coalición debido a que algunas coaliciones pueden ser de naturaleza fibrosa o cartilaginosa, lo que las hace menos visibles en radiografías convencionales [59,82].

Tomografía Axial Computerizada: La TAC se emplea para proporcionar información adicional en el manejo de lesiones congénitas y adquiridas. Permite evaluar deformidades osteoarticulares y proporciona imágenes tridimensionales detalladas. Es el *gold standard* utilizado para diagnosticar una coalición, porque muestra no sólo si la coalición es ósea o no ósea, sino también la extensión total de la coalición y la enfermedad articular degenerativa secundaria [59].

Resonancia Magnética: La RM se utiliza para evaluar las lesiones de partes blandas. Proporciona imágenes detalladas de los tejidos blandos, y es particularmente eficaz para el estudio de condiciones que afectan estas estructuras, puede ser útil en la planificación quirúrgica. La RM también se puede utilizar si el examinador sospecha que el pie plano se debe a anomalías en el tibial posterior o en los tendones peroneos [82].

Ecografía: La ecografía se usa para evaluar los tejidos y poder comparar áreas fisiológicas o de lesión de partes blandas. Investigadores midieron el grosor de músculos y tendones en sujetos con pie plano y en sujetos con arcos normales en los pies.

Descubrieron que el tendón del tibial anterior y el músculo peroneo lateral eran más gruesos en aquellos con pie plano, mientras que el tendón de Aquiles era más delgado en comparación con las personas con arcos normales [83]. Otro estudio encontró que las áreas transversales de los músculos peroneos eran más grandes en individuos con pie plano que en aquellos sin esta condición. Además, la sección transversal del músculo tibial posterior también fue mayor en sujetos con pie plano a diferencia de participantes normales [84].

1.9.2. Mediciones estáticas del pie

Por otro lado, las herramientas de medición estática del pie, como el Foot Posture Index (FPI) y la Rest Calcaneal Stance Position (RCSP), ofrecen la ventaja de ser utilizadas de manera fácil y rápida en el entorno clínico. Estas medidas proporcionan una evaluación estática de la postura del pie, lo que facilita su implementación en la práctica clínica sin requerir procedimientos más complejos o costosos.

- 1.9.2.1. FPI y su desarrollo

La creación del FPI por el AC. Redmond en el Australian Podiatry Council National Conference en mayo de 2001 representó un avance significativo en la evaluación de la postura del pie. Ante la carencia de una herramienta clínica más válida que las medidas estáticas existentes, el FPI se diseñó para evaluar la pronación y supinación del pie considerando los tres planos [85].

En su presentación, el AC. Redmond abogó por la importancia de usar medidas clínicas que pudieran objetivar de manera rápida y simple la morfología del pie, a través de signos clínicos. Para respaldar su propuesta, utilizó ocho observaciones clínicas específicas:

1. Palpación de la cabeza del astrágalo.
2. Comparación de las curvaturas supra e inframaleolar lateral.
3. Línea de Helbing.
4. Posición del calcáneo en el plano frontal.
5. Prominencia en la zona de la articulación talonavicular.
6. Congruencia del arco longitudinal medial.
7. Congruencia del borde lateral del pie.
8. Abducción y aducción del antepié respecto al retropié.

Estas observaciones clínicas se utilizaron como base para el desarrollo del FPI, que se presenta como una herramienta visual para valorar la postura del pie de manera integral y estática, teniendo en cuenta los diferentes planos y segmentos anatómicos. El objetivo principal era proporcionar una alternativa más válida y eficiente a los métodos tradicionales de medición estática de la posición del pie.

La investigación posterior llevada a cabo en 2003 por Evans et al. se centró en calcular la fiabilidad intra e interevaluador del (FPI-8). Se usó una población categorizada en tres: niños de 4 a 6 años, adolescentes de 8 a 15 años y adultos de 20 a 50 años. Los evaluadores recibieron una sesión de entrenamiento previa para familiarizarse con el FPI y cómo calificar cada uno de los 8 criterios [86].

Cada ítem se evaluó en una escala de 5 puntos (-2, -1, 0, +1, +2), donde -2 representaba máxima supinación, -1 supinación moderada, 0 posición neutra, +1 pronación moderada y +2 máxima pronación. Los resultados del estudio concluyeron que el FPI-8 obtuvo una fiabilidad moderada en los tres grupos, con valores de coeficientes de correlación intraclass (ICCs) de 0,62 en niños, 0,74 en adolescentes y 0,58 en adultos.

A pesar de esta fiabilidad moderada, el estudio señaló que el FPI-8, como una escala sumativa, podría ser potencialmente ambigua, lo que limitaría su utilidad como herramienta clínica o de investigación. Además, se observaron diferencias en la correlación interobservador para cada uno de las pruebas o criterios de medición del FPI-8. Por ejemplo, la línea de Helbing mostró resultados pobres en la muestra infantil, adolescentes y adultos, mientras que la prominencia talonavicular y la congruencia del arco longitudinal medial mostraron una mejor correlación en ciertos grupos. Este estudio sugirió que el FPI-8 necesitaba un análisis más detenido para determinar mejor su fiabilidad y destacó la importancia de considerar las diferencias en la evaluación de los distintos criterios que componen el índice.

Otra investigación realizada en 2004 por Evans, AC Redmond, et al. [87] se enfocó en calcular la validez de criterio para cuatro de las ocho pruebas del FPI. En este caso, se escogió la radiología como *gold standard* para evaluar la asociación entre las pruebas del FPI y las mediciones esqueléticas del pie.

La investigación se dividió en dos. En la primera parte, se examinó la conexión entre las pruebas del FPI y las mediciones esqueléticas en 31 participantes mayores de 40 años. Las cuatro pruebas investigadas fueron la palpación de la cabeza del astrágalo, la congruencia del borde lateral, la abducción y aducción del antepié, y la congruencia del arco longitudinal interno.

En la primera parte los resultados mostraron una fiabilidad intraobservador alta para las mediciones radiológicas, pero las correlaciones entre estas mediciones y los cuatro ítems del FPI fueron en su mayoría pobres, a excepción para la asociación entre el ángulo astrágalo-escafoideo y la palpación de la cabeza del astrágalo, que fue significativa. En la segunda parte del estudio, que se trató como un estudio piloto con 12 participantes, se introdujeron más pruebas para los tres primeros ítems del FPI, utilizando radiografías dorso-plantares para evitar la segunda proyección lateral y reducir la radiación innecesaria.

A pesar de que hubo más categorías con resultados significativos en el segundo estudio, los investigadores concluyeron que las pruebas radiográficas no era el *gold standard* ideal para evaluar la validez del FPI. Cuestionaron si el FPI debiese deshacerse de algunos de las 8 pruebas y destacaron la importancia de considerar el comportamiento de los tejidos blandos, que fue la base de la creación del FPI.

En resumen, la investigación demostró que la conexión entre el esqueleto del pie y la escala del FPI era inferior de lo esperado, y sugirió la necesidad de una valoración más innovadora para calcular la validez del FPI. Aunque el FPI demostró fiabilidad moderada a buena en la medición de la postura del pie, no se consideró válido utilizando radiografías.

El trabajo de AC Redmond et al. [85] en 2006 representó un hito en el desarrollo y validación del FPI. Este proceso se produjo en cuatro fases detalladas:

- Primera Fase. Revisión de la literatura: Se revisaron 119 publicaciones que describían la evaluación clínica de la posición del pie. De estas publicaciones, se identificaron 36 mediciones diferentes, agrupadas en 5 categorías según su naturaleza. Se valoró la capacidad y sensibilidad de cada medida para medir la postura del pie en los tres ejes y en diferentes partes del pie. Se escogieron 8 posibles medidas para elaborar la primera versión del FPI-8.
- Segunda Fase. Diseño del sistema de recogida de datos: Se definió el sistema de recogida de datos, optando por el sistema de 5 puntos Tipo-Likert para una recopilación rápida y sencilla. La escala Tipo-Likert fijó el valor central en 0, permitiendo que los cambios posturales se reflejaran simétricamente con valores positivos o negativos, y 0 representaba la posición neutra. La puntuación global para el FPI inicial de 8 ítems tenía un rango de -16 (para características supinadoras) a +16 (para características pronadoras).
- Cuarta Fase. Validación del FPI-6: Se elaboró una nueva hoja de recogida de datos para el FPI-6 después de justificar la no validez de la congruencia del borde lateral y la línea de Helbing.

- Tercera Fase. Estudio con atletas y laboratorio:

En la tercera fase del estudio, se llevaron a cabo tres partes distintas para evaluar el FPI-8:

- Primera Parte: Se realizó un estudio con 131 participantes atletas, compuestos por 91 varones y 40 mujeres, con edades comprendidas entre 18 y 65 años y una media de 33.7 años. El objetivo principal fue calcular la capacidad del FPI-8 para predecir la puntuación del Valgus Index, que fue validado adecuadamente en 1994 [88]. Se calculó la fiabilidad entre las ocho pruebas del FPI mediante el coeficiente alfa de Cronbach. Los datos mostraron una buena fiabilidad inter-ítem, con coeficientes altos o muy altos para la mayoría de los ítems, excepto para la línea de Helbing y la congruencia del borde lateral del pie, que demostraron una fiabilidad inter-ítem más baja.
- Segunda Parte: Se llevó a cabo un estudio de laboratorio con 20 sujetos (9 hombres y 11 mujeres, de edades comprendidas entre 21-45 años) con el objetivo de reconstruir modelos tridimensionales de la pierna y el pie derechos. Se usó el sistema FastrackTM, un sistema electromagnético de medición de movimiento, para recopilar datos espaciales de 17 marcas repartidas en la

pierna y el pie. Se reprodujeron distintas partes rígidas representativas de la pierna, el retropié y el antepié en tres posturas distintas (en supinación, en carga y en pronación). Se determinó la validez de los ítems del FPI en este contexto. Seis de los ocho ítems demostraron validez, pero la congruencia del borde lateral y la línea de Helbing presentaron problemas de validez, y se decidió no incluirlos en el modelo final.

- Tercera Parte: Tras justificar la falta de validez de ciertos ítems, se sustituyó una nueva hoja de recogida de datos para el FPI-6, que incluía tres valoraciones distintas. Este diseño más refinado se basó en los resultados y aprendizajes de las partes anteriores de la fase tres.
- Cuarta Fase. Validación del FPI-6: Se elaboró una nueva hoja de recogida de datos para el FPI-6 después de justificar la no validez de la congruencia del borde lateral y la línea de Helbing.

Se evaluó la consistencia y predictibilidad de la validez del nuevo FPI-6 con 14 participantes, comparándolo con el modelo del complejo articular de tobillo por medio del sistema el cual es capaz de medir el movimiento mediante electromagnetismo en estática.

El FPI-6 predijo el 64% de las variaciones del tobillo en estática y mostró una conexión cercana entre la posición del pie en estática y la posición del pie durante la dinámica.

En conclusión, el FPI-6 se desarrolló como una herramienta estructurada y formal, respaldada por la literatura científica, para medir la postura del pie en estática en los tres planos cardinales y diferentes segmentos anatómicos. Se confirmó su utilidad clínica y validez, y la versión final del FPI-6 engloban solo aquellas seis pruebas que superaron meticulosamente el desarrollo de validación, en contraste con la antigua versión de FPI-8. Todas las versiones del FPI han pasado por un meticuloso desarrollo de validación.

En 2007, Keenan et al. [89] llevaron a cabo una investigación centrada en la validez de la construcción del FPI-6 mediante un análisis de Rasch. Esta técnica es una modelización matemática probabilística usada para la evaluación de las mediciones. La población utilizada en este estudio consistió en 143 participantes, de los cuales 98 eran hombres y 45 mujeres, con un rango de edad entre los 8-65 años.

El análisis de Rasch se centró en varios aspectos cruciales:

Unidimensionalidad: Se evaluó si los ítems del FPI medían un único concepto. Este paso es esencial para asegurar que la escala sea unidimensional y que todos los elementos contribuyan de manera coherente a la medición de la variable que se está evaluando.

Dificultad relativa de los ítems: Se comparó la dificultad relativa de los diferentes ítems entre sí. Esto ayuda a entender cómo cada ítem se sitúa en relación con los demás en términos de dificultad.

Capacidad de distinguir niveles de funcionamiento: Se examinó si cada ítem del FPI era capaz de distinguir entre diferentes niveles de funcionamiento. Este aspecto es crucial para determinar si la escala puede medir con precisión las variaciones en la postura del pie.

El análisis de Rasch, una técnica ampliamente reconocida en el proceso de escalas unidimensionales en el ámbito de salud demostró que el FPI-6 finalizado tenía una buena validez interna de construcción. Esto significa que los ítems del FPI-6 miden de manera coherente la postura del pie como un único concepto. Además, se destacó que las variables ordinales del FPI-6 podían ser convertidas en variables continuas, lo que indicaba que los datos generados por esta escala podían ser tratados como datos de intervalos. Esta evidencia respalda la aplicabilidad clínica y la utilidad en estudios científicos del FPI-6 como una medida unidimensional de la postura del pie.

Después de validar el método, Redmond y colaboradores realizaron un estudio con el fin de determinar valores estándares del FPI-6 para su uso como referencia en ámbitos clínicos e investigativos [90]. En este estudio participaron nueve autores que contribuyeron con bases de datos de diferentes investigaciones en las que se había empleado el FPI. Se obtuvieron un total de 1648 evaluaciones de sujetos, con datos sobre la edad, el género, la presencia de patologías, las puntuaciones del FPI y el Índice de Masa Corporal (IMC).

En la muestra adulta sana, los resultados dieron una media en la que la postura del pie se situó en una leve pronación, con un valor de FPI de 4. Se observaron diferencias significativas en los grupos de menores de 18 años y mayores de 60 años. En la muestra infantil, el pie presentó una postura más pronada, con un valor de FPI de 6. Por otro lado, en la población mayor, el pie también adoptó una postura alejada de la neutralidad, inclinándose hacia la pronación, con un valor de FPI de 5. Estos resultados proporcionaron datos de referencia valiosos para la interpretación de las puntuaciones del FPI en diferentes grupos de edad.

En 2012, Evans et al. [91] realizaron una investigación centrada en la fiabilidad de cuatro medidas, incluyendo el FPI-6, pero con un enfoque específico en una muestra de la población pediátrica. En esta investigación participaron 30 sujetos con edades de 7-15 años. Cada niño fue evaluado dos veces por cada investigador de forma independiente.

Los datos obtenidos revelaron una buena fiabilidad tanto en la evaluación intraobservador ($ICC=0,93-0,94$) como en la interobservador ($ICC=0,79$) del FPI-6 en la población infantil. Esta evidencia respaldó la conclusión de que, por primera vez, el FPI-6 concluyó una fiabilidad intra y interobservador adecuada en una población infantil. En consecuencia, se afirmó que el FPI-6 es una herramienta eficaz no solo para la evaluación clínica en el ámbito pediátrico, sino también para su implementación en protocolos de investigación destinados a abordar las características del pie en niños.

Gijon-Nogueron et al. [92] llevaron a cabo un estudio para determinar los valores de normalidad infantil del FPI-6 en España, utilizando una población de 1762 sujetos, de los cuales 863 eran niños y 899 niñas, con una edad media de 8,29 años y un rango de 6-11 años (40). Las evaluaciones fueron realizadas por dos podólogos con experiencia en el uso del FPI. Los resultados mostraron que el valor medio del FPI fue de 3,77 para el pie derecho y 3,87 para el pie izquierdo. La mediana para ambos pies y género fue de 4 en niños de 6 años, decreciendo progresivamente hasta un valor de 3 a los 11 años. Estos hallazgos proporcionan información valiosa sobre la variación de las puntuaciones del FPI en niños españoles, sirviendo como referencia para la evaluación de la postura del pie en esta población.

Martínez-Nova et al. [93] llevaron a cabo un estudio longitudinal sobre los valores de normalidad del FPI-6 con el objetivo de calcular la postura del pie infantil en dos espacios temporales, con 3 años entre ambas mediciones (41). El estudio se reevaluó en 1032 niños/as de 5-11 años, cuando los niños tenían 8 y 14 años respectivamente. Se utilizaron puntos de corte ligeramente diferentes a los descritos originalmente, principalmente en la categoría de pies neutros que se consideró de +1 a +7, a diferencia de los valores de 0 a +5 indicados por Redmond et al (38). Las categorías fueron: a) altamente supinado -12 a -4, b) supinado -3 a 0, c) neutro 1 a 7, d) pronado 8 a 10 y e) altamente pronado 11-12. El valor medio fue FPI 4 ± 3 . Según la clasificación utilizada, el 68% de los niños (teniendo en cuenta la desviación estándar) oscilaron entre +1 y +7, siendo clasificados como pies neutros. Estos resultados proporcionan información valiosa sobre la variación de las puntuaciones del FPI en niños a lo largo del tiempo, permitiendo una evaluación más completa de la postura del pie infantil.

Otro estudio sobre el FPI-6 en población infantil, realizado por Gijon-Nogueron et al [94], evaluó la postura de 3217 niños, con edades comprendidas entre 3-15 años, procedentes de distintos países. Los resultados mostraron un rango de FPI que iba desde -4 hasta +12. Se observó una postura supinada en 11% de los niños, una postura pronada (FPI $\geq +6$) en el 29.8% de los niños, una postura del pie neutro (FPI 0 a +6) en el 55.2% de los niños, y una postura altamente pronada (FPI $\geq +10$) en el 3,9% de los niños. Los investigadores destacaron que la postura neutra es la más común en los niños, con un valor medio de FPI de $+4 \pm 3$. Estos resultados proporcionan una visión integral de la variabilidad en la posición del pie en niños de diferentes edades y regiones geográficas.

- 1.9.2.2. RCSP

El RCSP ha sido habitualmente utilizado como norma de categorización del pie, tanto en el diagnóstico del PPFI como en el de adultos [95,96]. Se considera que su evaluación en bipedestación relajada, mediante la medición del ángulo formado por la bisectriz de la cara posterior del calcáneo y la línea perpendicular a la superficie, puede ser un indicador clínico del grado de eversión máxima del retropié.

Esta medición se realiza en bipedestación estática y suele indicar la cantidad de eversión del retropié al inicio de la marcha. Se considera normalmente evertido entre 5°

y 10°, decreciendo con el crecimiento [97]. Aunque, existe debate en cuanto a los parámetros normales, que varían en adultos desde 2° de inversión a 7° de eversion [98].

En niños, los valores normales de RCSP han sido objeto de debate. Algunos criterios de normalidad se han definido restando a 7° la edad del niño. Otros estudios han establecido umbrales específicos según grupos de edad, como un RCSP de hasta 10° en niños entre 36-47 meses, una RCSP de hasta 8° en niños entre 48-59 meses, una RCSP de hasta 7° en niños entre 60-71 meses, y una RCSP de hasta 6° en niños entre 72 y 83 meses [99]. La variabilidad en estos criterios refleja la disconformidad en la bibliografía sobre los valores normales de PRCC en la población pediátrica.

La confiabilidad intraexaminador para RCSP en la muestra infantil alcanzó un buen valor de Kappa ponderado ($K_w = 0,61$ a $0,90$) [100].

1.9.3. Revisiones sistemáticas

En la actualidad, no hay un método universalmente aceptado como el estándar definitivo para evaluar la postura del pie en entornos clínicos, lo que lleva a la utilización de diversas mediciones. La disconformidad sobre lo que se considera como el desarrollo normal del pie en niños complica la identificación y tratamiento adecuado de aquellos casos que presentan un desarrollo atípico. En consecuencia, la elección de la medida utilizada para diagnosticar la posición del pie en población infantil, específicamente la identificación del PPI debe cumplir con criterios de validez, confiabilidad y ser apropiada para captar el desarrollo típico de la posición del pie en esa población. Es esencial que la medida seleccionada sea precisa y consistente para garantizar una evaluación adecuada de la variabilidad normal en la postura del pie durante el desarrollo infantil. Para abordar y tratar de manera efectiva los problemas en el desarrollo de los pies pediátricos, es esencial llegar a un consenso sobre los criterios que definen el desarrollo "típico" de los pies en los niños.

Una de las revisiones sistemáticas sobre el desarrollo típico del PPI y su diagnóstico es la revisión de Hayley Uden et al. [72]. En esta revisión sistemática, se analizaron dieciséis medidas diferentes para la evaluación de la postura del pie en sujetos infantiles, con énfasis en las técnicas basadas en la huella. La utilización de medidas basadas en la huella ha generado debate, ya que la simple clasificación del arco del pie como plano, normal o alto puede no capturar la complejidad del movimiento multiplanar del pie. Otras medidas comúnmente utilizadas incluyen la altura del navicular, el ángulo del retropié y el FPI-6. Sin embargo, la confiabilidad de algunas de estas medidas, como la altura del navicular en población pediátrica, puede ser limitada. Aunque el FPI-6 es una medición multiplanar útil, los resultados deben interpretarse con precaución debido a la variabilidad en las edades de los niños incluidos en las investigaciones. La revisión destaca que el término "normal" en relación con la postura del pie es engañoso, ya que la postura plana es común en ciertos periodos de desarrollo y, por lo tanto, se considera normal en esas etapas. Además, la postura del pie en población infantil cambia con la edad, y no hay consenso sobre cuándo concluye este desarrollo. La falta de acuerdo

general sobre un método ideal para categorizar el tipo de pie resalta la diversidad de enfoques, desde inspecciones visuales no cuantitativas hasta evaluaciones radiográficas.

En la revisión sistemática de Banwell et al. [101] en 2018 tras la selección de artículos, analizaron el diagnóstico de PPI, los cuales se realizaron mediante diversas medidas, como radiografías simples, análisis estáticos de la postura del pie y evaluación de la huella. Se utilizan diferentes medidas, como ángulos radiográficos, índices de huella y evaluaciones estáticas, pero la validez y confiabilidad de estas medidas varían. La revisión destaca que muchas medidas no han sido suficientemente validadas o evaluadas en términos de confiabilidad, lo que plantea preocupaciones sobre la base científica de las decisiones clínicas. Se identificaron varias medidas, como el índice de Chippaux-Smirak, el ángulo de Clarke, el índice del arco de Staheli y el FPI-6, como relevantes para una población pediátrica con precaución, pero la falta de consenso persiste. Además, se resalta la limitación de los índices bidimensionales para evaluar construcciones tridimensionales, y se sugiere que herramientas compuestas como el FPI-6 o mediciones dinámicas podrían ser más apropiadas. La revisión subraya la necesidad de herramientas validadas y confiables para evaluar el PPI, con especial énfasis en abordar la falta de fundamento en algunas medidas actuales. Se destaca la importancia de investigaciones futuras que proporcionen diagnósticos sólidos y aplicables para informar a los profesionales de la salud sobre intervenciones adecuadas y comprender mejor el desarrollo del pie en niños.

1.10. Vías clínicas de atención

1.10.1. Según el Colegio Americano de Cirujanos de Pie y Tobillo

La guía de práctica clínica fue desarrollada por el Panel de Guías de Práctica Clínica para Pie Plano Pediátrico del Colegio Americano de Cirujanos de Pie y Tobillo [63].

Esta guía sigue 2 vías, la primera hasta llegar al diagnóstico del tipo de PPI y una segunda vía hasta llegar a un tratamiento. Figura 7.

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

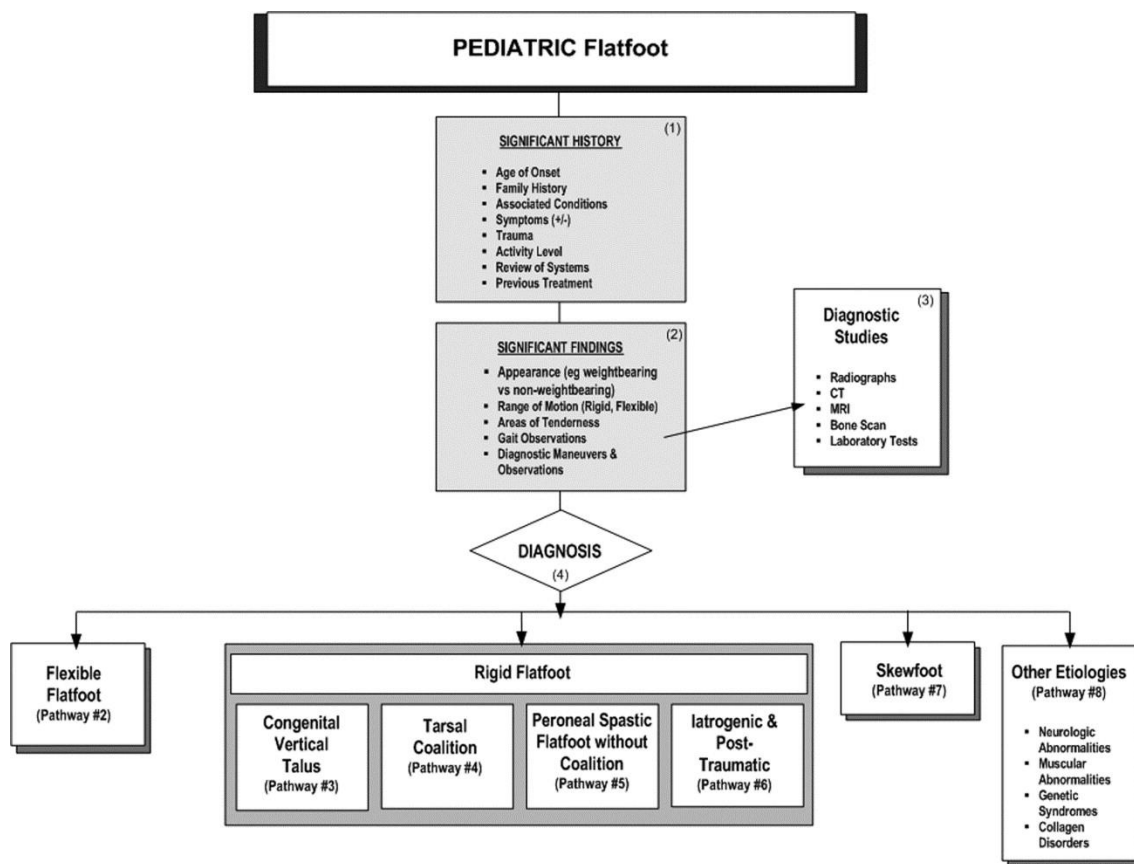


Figura 7. Guías de Práctica Clínica para Pie Plano Pediátrico del Colegio Americano de Cirujanos de Pie y Tobillo. Imagen autorizada. Anexo 3.

1ª Vía. Esta se divide a la vez en 4 partes:

1ª parte. Historia significativa:

La edad de inicio es crucial para decidir diagnósticos y tratamientos del PPI. Factores adicionales: antecedentes familiares, condiciones médicas, síntomas, historial de trauma, nivel de actividad, tratamiento previo y revisión de sistemas de evaluación y tratamientos previos. La falta de mejora o empeoramiento sugiere una posible persistencia patológica. Historial familiar de pie plano indica posibles problemas en el niño. Obesidad, trastornos neuromusculares y anomalías estructurales pueden influir en la gravedad. El pie plano puede causar dolor y afectar la postura. Un traumatismo puede revelar o desencadenar la deformidad. La deformidad afecta la resistencia y puede llevar a la retirada de actividades físicas. Un tratamiento previo puede cambiar la presentación clínica. La historia y revisión de sistemas de evaluación y tratamiento previos pueden revelar condiciones médicas inesperadas, como distrofia muscular de Becker o Duchenne.

2ª parte. Hallazgos importantes:

La apariencia del pie, tanto con carga como sin ella, indica la presencia y tipo de deformidad del PPI. Los signos físicos incluyen arco bajo, eversión del retropié, prominencia de la cabeza del astrágalo medial, alteración de la marcha y presencia de hiperqueratosis.

La evaluación del PPI implica medir la dorsiflexión y plantarflexión del tobillo, los rangos de movimiento del retropié, mediopié y antepié, así como la relación entre antepié y retropié. Puede haber dolor al presionar en la columna interna, cabezas de los metatarsianos, fascia plantar, seno del tarso y tobillo.

La observación de la marcha se realiza descalzo y con zapatos, evaluando la prominencia del borde medial del mediopié, el ángulo de progresión del pie, la eversión del calcáneo, el contacto del talón con el dedo del pie, la posición de la rodilla y la presencia de cojera.

Las maniobras diagnósticas incluyen inversión del talón al elevar el dedo, recreación del arco medial con dorsiflexión del hallux y el "signo de demasiados dedos". Otros hallazgos físicos abarcan obesidad, tibia varo, genu valgo, torsión tibial, torsión femoral, trastornos del tono muscular y laxitud ligamentosa, que pueden afectar la historia natural y gravedad del PPI.

3ª parte. Estudios diagnósticos:

Las imágenes para evaluar el PPI pueden incluir radiografías con carga de peso, TC, RM y gammagrafías óseas. En casos específicos, estudios serológicos pueden ser justificados para distinguir entre síntomas mecánicos, sobreuso, artralgia, artritis y otras enfermedades inflamatorias en niños.

4ª parte. Diagnóstico:

La evaluación inicial y las pruebas de diagnóstico se relacionan con un diagnóstico específico. El diagnóstico diferencial del PPI incluye diversas condiciones: PPFI; pie plano rígido, que abarca astrágalo vertical congénito, coalición tarsal, pie plano peroneo espástico sin coalición, deformidad iatrogénica y postraumática; pie sesgado; y pie plano causado por otras causas menos frecuentes.

2ª Vía. Se divide en 2 para el pie plano flexible infantil. Figura 8.

Pie plano flexible asintomático

El PPFI puede ser asintomático y clasificarse como fisiológico o no fisiológico. La mayor parte de los PPFI son fisiológicos, sin síntomas y no requieren terapia. El PPFI fisiológico tiende a mejorar con el tiempo, y la observación periódica puede ser necesaria para detectar signos de progresión, aunque generalmente no se indica tratamiento.

En contraste, el PPFI no fisiológico muestra una progresión con el tiempo, presentando una deformidad más grave y excesiva eversión del talón, así como inestabilidad en la articulación talonavicular. Los pacientes con este tipo de PPFI pueden experimentar tensión en el tendón de Aquiles y alteraciones en la marcha. La observación periódica se recomienda para detectar signos de progresión. En casos de tendones tensos, el estiramiento y las ortesis plantares (OP) pueden ser beneficiosos.

Es importante monitorear clínicamente a los niños con PPFI asintomático para identificar síntomas y signos de progresión. La progresión continua puede requerir una reevaluación para descartar otras enfermedades subyacentes.

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

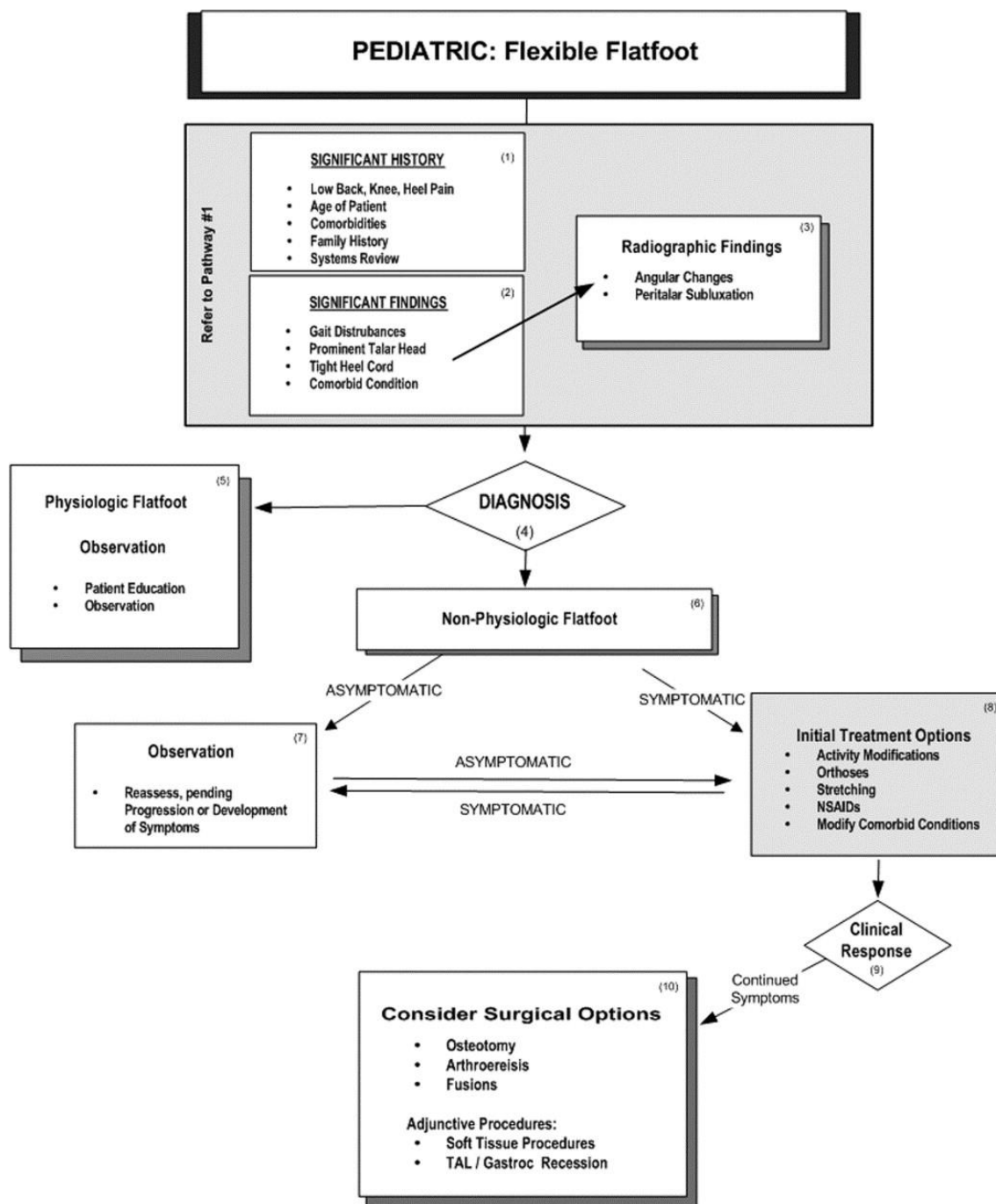


Figura 8. 2ª vía del pie plano flexible infantil. Imagen autorizada (Anexo3).

Pie plano flexible sintomático

A diferencia del PPFi fisiológico y del asintomático no fisiológico, las formas sintomáticas del PPFi causan molestias subjetivas, alteran la función y presentan hallazgos objetivos significativos, como dolor en el lado medial del pie, seno del tarso, pierna y rodilla, disminución de la resistencia, alteraciones en la marcha, prominencia de la cabeza del astrágalo medial, talones evertidos y tensión en el tendón de Aquiles.

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

El tratamiento inicial implica modificaciones en la actividad y el uso de OP. Se pueden realizar ejercicios de estiramiento para corregir la deformidad en equino bajo supervisión médica o de fisioterapeutas. En casos más severos, se pueden considerar medicamentos antiinflamatorios no esteroides. Identificar y tratar comorbilidades como obesidad, laxitud de ligamentos, hipotonía y problemas en el complejo pie-tobillo es crucial.

Si hay una respuesta clínica positiva y los síntomas se alivian, se procede con la observación y OP, según sea necesario. Si la respuesta no es satisfactoria, se recomienda una reevaluación y estudios adicionales. Cuando se han agotado las opciones de tratamiento conservador, se puede contemplar la intervención quirúrgica.

1.10.2. Formulario de Pie Plano Pediátrico

- 1er Formulario p-FFP (2008)

El PPFI puede ser subdividido según los síntomas y el desarrollo, lo cual es útil para guiar el tratamiento en la atención clínica pediátrica [102,103] Se utiliza un modelo de "semáforo" para simplificar la comprensión tanto para médicos como para padres. Figura 9.

El formulario de Pie Plano Pediátrico (p-FFP) proporciona una lista estructurada de verificación que abarca hallazgos clínicos clave, como la forma del arco (evaluando la carga de peso en comparación con la ausencia de carga), el rango de movimiento (si está reducido, aumentado o asimétrico), áreas sensibles (localización y presentación de la articulación, como la hinchazón), la marcha (observando la cojera, la asimetría o los cambios en el ángulo de la marcha, tanto con calzado como descalzo) y estudios diagnósticos, si son necesarios o están disponibles.

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

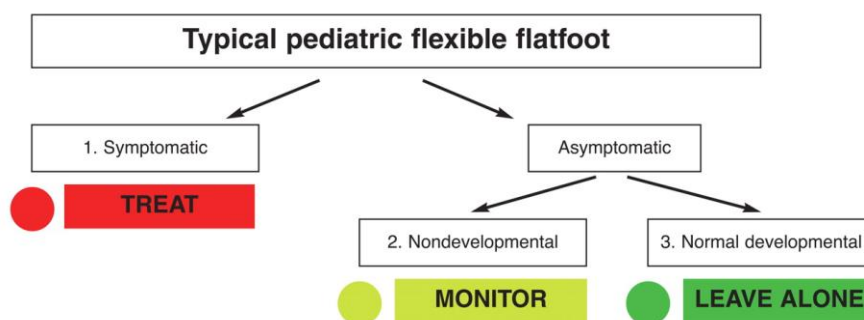


Figura 9. Guía de semáforo del p-FFP. Imagen autorizada (Anexo 4).

En ausencia de síntomas específicos, el diagnóstico se enfoca en el PPFI, que es asintomático y no muestra desarrollo anormal. Se destacan los atributos a evaluar y monitorear, en lugar de intervenir prematuramente, según lo recomendado por Harris y colaboradores. Estos atributos pueden ser subjetivos, pero se recomienda evaluarlos con objetividad siempre que sea posible.

Es fundamental adoptar un enfoque coherente y basado en evidencia al tratar el PPI. Se utiliza un marco de "semáforo" para identificar y tratar diferentes subtipos de PPI (Figura 9). Esto permite al profesional de la salud tomar decisiones informadas sobre el tratamiento, ya sea tratando los síntomas, monitoreando el desarrollo del pie o reconociendo su naturaleza transitoria.

Inicialmente, el profesional de la salud puede identificar el tipo de PPI basándose en la información médica relevante, los hallazgos clínicos destacados y si fuera necesario con el apoyo de pruebas de imagen. Posteriormente, se procede a determinar el subtipo específico de pie plano, ya sea PPFI, rígido o sesgado. Aunque el pie plano rígido y el sesgado son menos comunes, se evalúa el pie PPFI considerando tanto los síntomas como el desarrollo morfológico.

El profesional de la salud recibe orientación en tres enfoques principales:

Luz roja: Tratar el PPFI que presenta síntomas, utilizando métodos como el uso de calzado adecuado, ejercicios de estiramiento o dispositivos ortopédicos genéricos.

Luz amarilla: Monitorear y tratar de manera sencilla el PPFI típico que carece de síntomas, pero que muestra estructuras anatómicas del pie que no están desarrolladas para la edad del niño. Esta decisión se toma discrecionalmente por parte del profesional de la salud con experiencia.

Luz verde: Reconocer, aconsejar y manejar el PPFI típico que suele ser temporal y parte del desarrollo normal del niño, sin necesidad de intervención terapéutica.

Este enfoque proporciona claridad en el diagnóstico y tratamiento del PPI, basado en la mejor práctica clínica disponible (Figura 10).

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

Paediatric flatfoot clinical care pathway Child's name: _____

History • Age • Family Hx • Associations • Symptoms • Trauma • Activity • Systems review • Previous Tx

Findings

- Arch vs loading
 - . flatter
 - . same
- ROM
 - . reduced
 - . increased
 - . normal
 - . asymmetry
- Tender areas
 - . y/n
 - . site/s
- Gait
 - . barefoot
 - . shoes on
 - . limp y/n
 - . AOG
- Diagnostic studies
 - . X-ray
 - . CT
 - . MRI
 - . Bone scan
 - . Lab tests

DIAGNOSIS

A. Typical flexible flatfoot +/- other factors

- Neurological eg Cerebral palsy, hypotonia
- Muscular eg Muscular dystrophies
- Genetic eg Down's, Marfan's
- Collagen eg Ehler's Danlos, ligament laxity

B. Rigid flatfoot

- Vertical talus
- Tarsal coalition
- Peroneal spasm
- Iatrogenic
- Trauma

C. Skewfoot

A. Typical flexible flatfoot

1. Symptomatic* or **Asymptomatic**

2. Non-developmental* (Structural deformity progressing with age) or **3. Developmental** (Structural deformity reducing with age)

* Basic treatment options

- Footwear
- Orthotics
 - generic
 - wedges
 - customised
- Stretching

Monitor: Single case design
Patient generated index

1 TREAT
2 MONITOR
3 LEAVE ALONE

Observe		Assess	
	L	R	
medial arch height (ok/reduced)			ankle range (ok/less/more)
heel eversion (ok/ more everted)			forefoot / rearfoot (var/val/nil)
talar prominence (y/n)			local tenderness (y/n - site)
lesions (y/n - site)			gait - barefoot & shoes (ab/add, limp)
Also consider...			
heel inversion with tip toe			tibial, knee positions
windlass effect			tibial, femoral torsions vs positions
obesity			muscle tone, ligament laxity
os tibiale externum			
To assist clinical recording...			
Best available clinical measures of structural form Evans et al, JAPMA 93(3): 203-213, 2003			
RCSP (*inv/ev)			FPI-6: TNJ congruence
Navicular height (mm)			FPI-6: MLA height
Agnes 4-6			Agnes 8-14
FPI-6: calcaneal position			forefoot/rearfoot position (*inv/ev)

Plan: _____ **Date:** _____

To be used in conjunction with: Diagnosis & treatment of pediatric flatfoot. Harris EJ et al, J Foot & Ankle Surg 43(6): 341-370, 2004. Clinical pathway © Angela M. Evans PhD, 2007.

Figura 10. Formulario p-FFP 2008. Imagen autorizada (Anexo 4).

- 2º Formulario p-FFP (2009)

En 2009 se hizo un estudio de reproducibilidad de los ítems individuales del FFP, donde reveló que muchos de ellos tenían una confiabilidad deficiente entre evaluadores, lo que los hacía poco útiles para los profesionales de la salud. En consecuencia, se eliminaron los elementos con una fiabilidad entre evaluadores demostrablemente deficiente, según lo establecido por un estándar de ICC de <0,70. Aproximadamente la mitad de los ítems no cumplieron con este estándar de confiabilidad.

El p-FFP modificado se presenta como un estándar práctico para evaluar y tratar el PPI en niños. Se basa en la mejor evidencia disponible, pautas de consenso y medidas clínicas comprobadas. El p-FFP es rico en diagnóstico pero simple de utilizar, permitiendo una comparación confiable entre profesionales de la salud e investigadores. Además, su formato de "semáforo" facilita la comprensión para padres y profesionales médicos, asegurando una evaluación basada en evidencia del PPI.

Los puntos centrales del p-FFP modificado se enfocan en la presencia/ausencia de síntomas, la forma del arco y la posición del talón, elementos discutidos durante años y ahora fundamentados. Este formulario guía su acción según los síntomas (tratamiento indicado), la edad (desarrollo normal versus anormal del PPI) y la experiencia clínica.

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

Aunque ha generado preocupación en algunos, este enfoque es juicioso, basado en evidencia y contemporáneo.

Los hallazgos indican que el p-FFP modificado es más reproducible y confiable que la versión anterior (p-FFP), con la mitad de los ítems y una confiabilidad satisfactoria entre evaluadores. Estos resultados respaldan el uso del p-FFP modificado como una herramienta clínica para evaluar el PPI (Figura 11).

paediatric Flat Foot Proforma (p-FFP)				Child's name: _____ Age: _____																															
History • Family Hx • Associations • Symptoms • Trauma • Activity • Systems review • Previous Tx																																			
Findings • Tender areas y/n site/s • Gait barefoot shoes on limp y/n ADG • Obesity (ok / + / ++)																																			
DIAGNOSIS A. Typical flexible flatfoot +/- other factors Neurological eg Cerebral palsy, hypotonia Muscular eg Muscular dystrophies Genetic eg Down's, Marfan's Collagen eg Ehler's Danlos, ligament laxity B. Rigid flatfoot Vertical talus Tarsal coalition Peroneal spasm Iatrogenic Trauma C. Skewfoot Metatarsus adductus																																			
A. Typical flexible flatfoot 1. Symptomatic* or Asymptomatic 2. Non-developmental* (Structural deformity progressing with age) or 3. Developmental (Structural deformity reducing with age)																																			
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>Observe</th> <th>L</th> <th>R</th> <th>Measure</th> <th>L</th> <th>R</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Medial arch height (ok / reduced)</td> <td></td> <td></td> <td>Navicular height (mm)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Heel eversion (ok / more everted)</td> <td></td> <td></td> <td>RCSP (*inv/ev)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Heel inversion with tip toe (y / n)</td> <td></td> <td></td> <td>Consider</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tibial, knee positions (med / 0 / lat)</td> <td></td> <td></td> <td>Muscle tone, ligament laxity (y / n)</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Observe	L	R	Measure	L	R	Medial arch height (ok / reduced)			Navicular height (mm)			Heel eversion (ok / more everted)			RCSP (*inv/ev)			Heel inversion with tip toe (y / n)			Consider			Tibial, knee positions (med / 0 / lat)			Muscle tone, ligament laxity (y / n)		
Observe	L	R	Measure	L	R																														
Medial arch height (ok / reduced)			Navicular height (mm)																																
Heel eversion (ok / more everted)			RCSP (*inv/ev)																																
Heel inversion with tip toe (y / n)			Consider																																
Tibial, knee positions (med / 0 / lat)			Muscle tone, ligament laxity (y / n)																																
Action plan: Date: _____ 1 TREAT 2 MONITOR 3 LEAVE ALONE																																			
To be used in conjunction with: Diagnosis & treatment of pediatric flatfoot: Harris EJ et al., <i>J Foot & Ankle Surg</i> 43(6): 341-370, 2004 The flat-footed child – to treat or not to treat, what is the clinician to do? Evans AM, <i>J Am Podiatr Med Assoc</i> (in press), 2008 Paed FFP © Angela M. Evans, PhD 2008.																																			

Figura 11. Formulario p-FFP (2009). Imagen autorizada (Anexo 5).

1.10.3. Gait and Lower Limb Observation of Paediatrics

La evaluación de la marcha presenta desafíos, con la observación visual y mediciones cuantitativas preferidas, pero con limitada confiabilidad. Por lo tanto, se aconseja a los profesionales de la salud que ejerzan precaución al interpretar el análisis visual de la marcha. Aunque el Gait and Lower Limb Observation of Paediatrics (GALLOP) recopila una amplia gama de datos, se sugiere que los profesionales de la salud utilicen su criterio clínico y experiencia. Además, se destaca la importancia de utilizar modalidades clínicas confiables para cuantificar variables morfofuncionales de pie-tobillo [104].

El GALLOP se desarrolló a partir de la opinión de expertos, considerada como evidencia de bajo nivel. Se enfatiza el uso cauteloso de herramientas de evaluación como cintas métricas, cuya interpretación puede ser limitada. Las evaluaciones sin valores de confiabilidad aceptables se señalan dentro del GALLOP.

Se reconoce que la evaluación de la marcha y los miembros inferiores es relevante para varios profesionales de la salud. El formulario GALLOP se diseñó para fisioterapeutas y podólogos, basado en un proceso Delphi de tres rondas que involucró a expertos australianos en el campo. Este proceso generó un acuerdo sobre 95 afirmaciones relacionadas con la evaluación pediátrica de las extremidades inferiores y la marcha.

El GALLOP es el primer formulario estandarizado basado en consenso para la recopilación de datos de antecedentes y evaluaciones de extremidades inferiores y pies en la población infantil. Se fundamenta en la validez aparente y proporciona un recurso útil para médicos, investigadores y estudiantes en la práctica clínica [104]. Anexo 5. Anexo 6.

1.11. Tratamientos

Es cierto que la disconformidad sobre lo que establece un desarrollo fisiológico del PPFI puede generar dificultades en el reconocimiento y tratamiento de condiciones anormales. La variabilidad en las opiniones puede llevar a diferentes enfoques de atención y tratamiento, lo que a su vez puede dificultar la estandarización de las prácticas médicas.

Es preocupante que, a pesar de la frecuencia con la que se observan los PPFI en la práctica clínica pediátrica, haya una falta de investigación sistemática sobre la mejor manera de evaluar, diagnosticar y tratar esta condición. Estas lagunas en el conocimiento pueden dificultar la prestación de atención óptima a los niños con PPFI.

El propósito principal de la terapia del PPI son aliviar el dolor y la discapacidad presentes, así como prevenir problemas adicionales en el futuro. Este enfoque busca mejorar la calidad de vida del paciente y asegurar un desarrollo adecuado del pie y la marcha a largo plazo [105]. Aunque algunos especialistas opinan que el PPFI es una condición fisiológica en la primera etapa de la niñez y tiende a corregirse por sí sola sin necesidad de tratamiento [48], otros profesionales sugieren que el tratamiento del PPFI es necesario, ya que podría causar discapacidad, lesiones e, incluso, en la vejez, una deformidad rígida del pie [106]. Por tanto, el debate sobre si tratar o simplemente monitorear el PPFI asintomático sigue siendo tema de discusión en la comunidad médica [59,102].

Las opciones de tratamiento para el PPFI pueden variar desde enfoques no quirúrgicos hasta quirúrgicos [107]. Las intervenciones quirúrgicas son poco comunes y típicamente se reservan para ocasiones en las que el tratamiento conservador no ha tenido éxito o cuando el PPI es rígido.

1.11.1. Tratamiento conservador

Se han propuesto diversas opciones de tratamiento no quirúrgico, como cambios en la actividad, control de peso, manipulación articular, aplicación de yesos en serie y ejercicios de estiramiento [49,63,108]. Sin embargo, las OP son la intervención podológica más comúnmente recomendada para el PPFI [109,110]. A pesar de numerosos estudios realizados, la evidencia sobre la efectividad de las OP en el tratamiento del PPFI sigue siendo ambigua [63,102].

La idea principal detrás del tratamiento con OP de pie para el PPI es fomentar una postura estable del pie que permita una marcha eficiente. Al distribuir las fuerzas y cargas a través del pie de manera equilibrada, las OP ayudan a utilizar efectivamente los rangos de articulares durante la marcha, evitando tensiones o lesiones perjudiciales. Combinadas con el calzado adecuado, que también influye en la estabilidad del pie y la marcha, las OP son una parte importante del tratamiento para el PPI [111].

Algunos estudios han señalado que el tratamiento podría no ser necesario, argumentando que los PPFI asintomáticos no afectan la capacidad motora, el rendimiento deportivo ni provocan discapacidad [69]. En contraste, otros investigadores sugieren que el PPFI en niños puede provocar dolor, marcha anormal, falta de equilibrio, disfunción motora y una disminución en la participación en actividades físicas, lo que justifica la intervención. De la misma manera, ya que los síntomas son capaces de persistir hasta la adultez, es evidente la necesidad del tratamiento ortopodológico [63].

Por otro lado, se ha demostrado que el calzado, una influencia que puede repercutir tanto positiva como negativamente en las OP, altera la marcha y la movilidad del pie y, en consecuencia, requiere consideración tanto en práctica clínica como de investigación.

El calzado, especialmente el calzado deportivo, juega un papel fundamental a la hora de que el pie funcione mientras caminamos. Este tipo de zapato está ideado particularmente para estabilizar el pie, coordinarse con la estructura del pie y proporcionar amortiguación adecuada, ya sea para un pie plano o un pie con arco alto. Por lo tanto, antes de considerar el uso de OP, es crucial evaluar cómo el calzado afecta la marcha. Esta consideración no solo se aplica al PPFI, sino a todas las evaluaciones clínicas de la marcha. El análisis del calzado debe ser prioridad antes de pensar en utilizar OP [113].

Es beneficioso analizar estos estudios en función de la robustez de los resultados propuestos. La evidencia más confiable proviene de ensayos controlados aleatorios (ECA) y las recomendaciones más sólidas para la práctica clínica se derivan de revisiones sistemáticas que incluyen metanálisis de investigaciones ECA.

Son muchos los ECA enfocados en el tratamiento del PPFI a través de las OP. Dentro de los resultados, se ha analizado que las OP pueden tener un impacto positivo en diversos aspectos, como la disminución del dolor, la mejora de la postura del pie, la marcha, la función y las medidas estructurales y cinéticas [114].

Bahler [115] trató el PPFI mediante la utilización de diferentes tipos de soportes plantares, y también se identificó 5 elementos en el desarrollo de esta condición. Su conclusión fue que la forma moderada de PPFI es parte del desarrollo normal del pie, pero las formas más severas deben ser tratadas.

En relación con las OP, Kuhn et al.[116] observaron una diferencia significativa entre las mediciones radiométricas tomadas antes y después del uso de una OP prefabricada.

En otro ECA, que empleó el American Orthopaedic Foot and Ankle Score para evaluar el antepié, el mediopié y el retropié de los pacientes como medida de resultado, se observó que el grupo que utilizó OP experimentó significativamente menos dolor en todas las áreas del pie durante los 2 años de seguimiento (todos los valores de $p < 0,01$), mientras que el grupo de control sin OP solo demostró una reducción significativa del dolor en el antepié [117].

En las revisiones de Evans de 2018 [118] y 2022 [64] sobre el tratamiento con OP en PPFI se obtuvo diversidad clínica y metodológica entre las investigaciones, donde impidió el metanálisis y conclusiones generales sólidas. Además, la escasez de ensayos clínicos relevantes y el tamaño limitado de las muestras dificultan llegar a conclusiones sólidas sobre la efectividad de cualquier intervención.

En la revisión realizada en 2008 por Sindhrani Dars et al. [118], se encontró una moderada evidencia, compuesto por 11 estudios que abarcaban varios diseños de investigación. Se observó una falta de uniformidad en la prescripción de las OP, con poca justificación y descripción detallada en algunos estudios, lo que dificulta su replicación en la práctica clínica. El uso de OP para el tratamiento del PPFI ha mostrado una posible mejora en diversos aspectos, incluyendo el dolor, la postura del pie, la marcha, la función y medidas estructurales y cinéticas. Aunque hay inquietudes sobre la metodología de los estudios, cada vez hay más evidencia que sugiere que las OP pueden beneficiar positivamente a los niños con PPFI. No obstante, es importante ser cautelosos al aplicar estas recomendaciones debido a las limitaciones metodológicas presentes en la evidencia actual.

En la revisión realizada por Angela Evans et al. [64] en 2022 examinaron 16 ensayos con 1058 niños, de 11 meses a 19 años de edad, con PPFI. Los resultados examinados en dicha revisión fueron dolor, función, calidad de vida, éxito del tratamiento y eventos adversos. Debido a la diversidad, no se agruparon los resultados. La mayoría de los ensayos tenían potencial de sesgo de selección, realización, detección e informe selectivo. Ningún ensayo cegó a los sujetos. Presentaron los datos por separado para PPFI asintomáticos (niños sanos) y sintomáticos (niños con Artritis Idiopática Juvenil [AIJ]). Debido a la variabilidad en los datos recopilados, no fue posible realizar metanálisis para los estudios que examinaron el PPFI asintomático en niños sanos. Además, el metanálisis realizado en casos de AIJ presentó limitaciones debido al tamaño reducido de las muestras. Todos los estudios fueron ensayos simples ciegos, lo que significa que los investigadores conocían el tipo de intervención administrada, lo que podría haber introducido sesgos de realización y detección. Además, los proveedores de atención médica cegados podrían haber diferido de aquellos que no lo estaban en términos de la atención proporcionada a los niños.

En conclusión, no se encontró evidencia que respalde la eficacia de las OP para niños con PPFI asintomático. La calidad de la evidencia de los ECA se ve afectada por varios sesgos, así como por la diversidad de participantes, presentaciones clínicas, intervenciones y medidas de resultado. Además, el seguimiento limitado y el alto porcentaje de abandono también influyen en la certeza de la evidencia. En la población infantil con AIJ, la evidencia de baja a muy baja certeza de dos estudios no proporcionó conclusiones claras sobre los beneficios de las OP para el dolor, la calidad de vida, o la probabilidad de retirarse debido a eventos adversos.

La evidencia actual de los ECA es insuficiente para llegar a conclusiones definitivas sobre las intervenciones no quirúrgicas para el PPFI. Es necesario más investigaciones de alta calidad en esta área. Hasta el momento, algunos estudios han explorado las intervenciones comunes utilizadas en la práctica, pero sigue habiendo un debate considerable sobre el tratamiento del PPFI, ya sea sintomático o asintomático. Lamentablemente, la evaluación crítica de la evidencia sobre el efecto de las intervenciones no quirúrgicas en el PPFI no arroja conclusiones definitivas.

Cualquier estudio futuro en poblaciones relevantes debe garantizar que tenga suficiente poder estadístico con una cantidad adecuada de participantes. Además, es crucial evaluar si las diferencias observadas entre los grupos son realmente significativas desde la visión clínica.

- 1.11.1.1. Encuesta Delphi para podólogos para la prescripción de OP en PPFI

Se realizó una encuesta de consenso Delphi en tres rondas con la participación de 15 expertos en podología de Australia, Nueva Zelanda y el Reino Unido [119]. En la primera ronda, se buscó alcanzar un consenso sobre el diagnóstico y tratamiento del PPFI, con preguntas específicas sobre los tipos de OP y las variables de prescripción utilizadas. Las rondas dos y tres se basaron en las respuestas de la primera ronda y se centraron en lograr un acuerdo sobre las elecciones realizadas, utilizando una escala Likert de cinco puntos. Se consideró que una declaración tenía consenso o acuerdo si el 70% o más de los encuestados estaban de acuerdo con ella.

El panel de expertos llegó a la conclusión de que la edad y el peso no son factores determinantes para intervenir, pero sí lo son la presencia de síntomas, el grado de deformidad y los factores que afectan la función del pie. Cuando se considera necesario el tratamiento, los profesionales sanitarios prefieren las OP prefabricadas si proporcionan el soporte adecuado, pero prescriben OP personalizadas con opciones de prescripción específicas si los dispositivos prefabricados no brindan el apoyo necesario.

Además, esta investigación ha identificado que el dolor es solo uno de varios síntomas que pueden indicar la necesidad de tratamiento. Otros síntomas incluyen limitación en la actividad, fatiga, sensación de tropezones frecuentes, y una disminución en la función, fuerza y resistencia, todos los cuales pueden contribuir al PPFI "sintomático". Sin embargo, falta un consenso universal sobre cuándo y cómo se deben usar las OP en el tratamiento del PPFI.

1.11.2. Tratamiento quirúrgico

Luhmann et al. en 2000 informó que el pie plano rígido suele ser sintomático y requiere tratamiento [66].

Si se observa una respuesta clínica positiva y los síntomas desaparecen, se recomienda realizar un seguimiento periódico. Sin embargo, si la respuesta clínica no es satisfactoria, se sugiere realizar una reevaluación y estudios adicionales. En casos donde todas las opciones de tratamiento no quirúrgico fracasan, la cirugía puede ser considerada como una opción [63,105,120].

El consenso de opinión del Colegio Americano de Cirujanos de Pie y Tobillo sugiere que si los tratamientos conservadores no han tenido éxito y el niño continúa experimentando síntomas sin alivio, entonces se considera apropiado recurrir a la cirugía [63].

En la siguiente figura se muestra un resumen del enfoque algorítmico del PPI (Figura 12) [121].

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

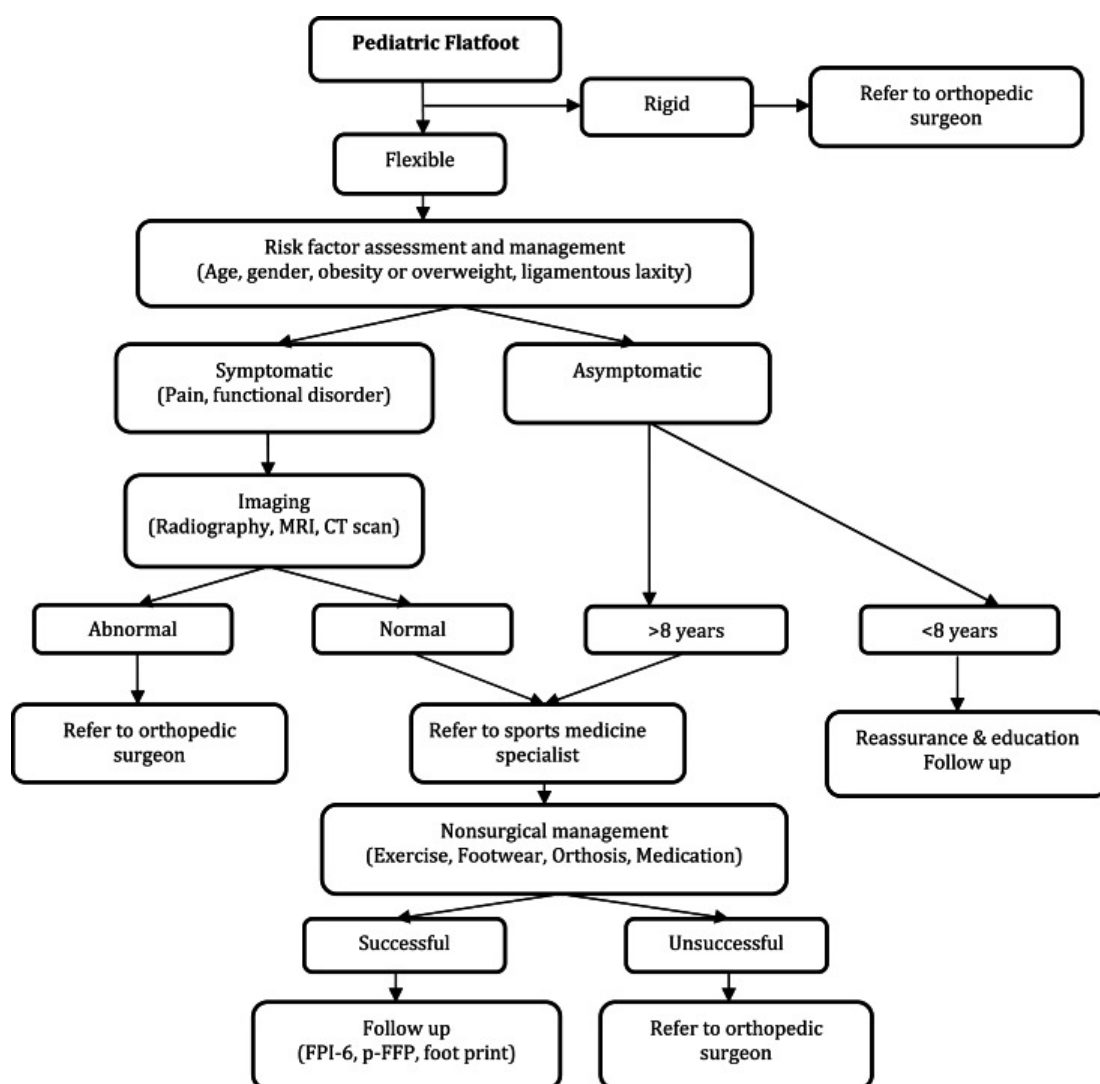


Figura 12. Algoritmo diagnóstico del PFI. Imagen autorizada (Anexo 7).

Los objetivos principales de la cirugía son claros: reducir o eliminar el dolor y realinear el pie. Sin embargo, lograr estos objetivos puede ser complicado debido a la extensa variedad de presentaciones clínicas, que se dan desde PPFI leves hasta casos más graves con diversas contribuciones a la deformidad. Por lo tanto, la realineación quirúrgica puede representar un desafío [122].

El tratamiento quirúrgico del PPFI se puede dividir en tres tipos principales de procedimientos: reconstructivos, artrodesis y artroereisis.

A) Procedimientos reconstructivos: Se dividen en técnicas de tejidos blandos y huesos. Los procedimientos de tejidos blandos suelen implicar la manipulación del tendón de Aquiles, el tendón del tibial posterior y los tendones peroneos. En casos de contracturas del tendón de Aquiles, se puede realizar un alargamiento del mismo. Además, se han descrito varias intervenciones para reposicionar la inserción del tendón tibial posterior. Sin embargo, es importante destacar que la reconstrucción de tejidos blandos rara vez

es exitosa como un procedimiento único, por lo que a menudo se combina con técnicas que afectan los huesos del pie [123].

Los procedimientos óseos incluyen osteotomías en el retropié, el mediopié y el antepié. Según la naturaleza de la deformidad, se pueden realizar alargamientos de la columna lateral y/o osteotomías para reposicionar la zona posterior del calcáneo. Aunque se han obtenido resultados optimistas en el tratamiento quirúrgico del PPFI, aún persisten dudas sobre su corrección a largo plazo [124].

B) Artrodesis: La artrodesis del retropié se ha utilizado para tratar el PPFI sintomático. La artrodesis subastragalina generalmente se realiza como el procedimiento principal, mientras que la triple artrodesis se reserva para casos en los que otros tratamientos quirúrgicos han fallado. Aunque la artrodesis puede proporcionar estabilidad y corrección duradera, existe preocupación sobre la transferencia de energía a las articulaciones no fusionadas cercanas [125].

C) Arthroereisis: Este procedimiento implica la inserción de un dispositivo en el seno del tarso para limitar la pronación de la subastragalina. Algunos defensores lo ven como una técnica mínimamente invasiva que no altera la anatomía normal del pie. Sin embargo, otros están preocupados por la inserción de un cuerpo extraño permanente en un segmento móvil del pie del niño. La indicación de este tipo de cirugía sigue siendo controvertida en la literatura [126].

Si la cirugía logra un resultado funcional e indoloro, se recomienda el seguimiento periódico y el uso de OP adecuadas. Si la cirugía falla, se puede considerar una artrodesis intraarticular o extraarticular apropiada como un procedimiento de rescate[63].

- 1.11.2.1. Catania flatfoot score

El propósito del estudio fue desarrollar una puntuación clínica funcional para el PPFI, denominada Catania flatfoot score (CTF), y evaluar su confiabilidad y utilidad en la indicación quirúrgica adecuada para PPFI [127].

El instrumento final consta de 12 preguntas divididas en cuatro dominios: Características del paciente (2 ítems), dolor (1 ítem), parámetros clínicos (5 ítems) y funcionalidad (4 ítems).

El dominio de características del paciente evalúa la edad y la laxitud, medida mediante la hipermovilidad de ciertas articulaciones. El dominio del dolor evalúa la presencia de dolor en áreas específicas del pie y el tobillo. El dominio de parámetros clínicos evalúa la presencia de hiperqueratosis, valgo del retropié, arco longitudinal, abducción del antepié y contractura del tríceps, con opciones de respuesta que indican la gravedad de

cada aspecto evaluado. El dominio de funcionalidad evalúa la fatiga, el rendimiento físico y deportivo inadecuado, y el desgaste de OP.

La puntuación CTF demostró ser válida y eficaz en la evaluación del PPFI. Se encontró una buena o excelente confiabilidad inter e intraobservador, independientemente del nivel de experiencia. Puntuaciones más altas correlacionaron directamente con la necesidad de tratamiento quirúrgico, mientras que puntuaciones más bajas sugirieron la preferencia por el tratamiento conservador. Se establecieron valores de corte del 75% en la puntuación CTF para la indicación quirúrgica, con altos niveles de sensibilidad y especificidad, garantizando así su uso seguro en la práctica clínica [127].

1.12. Pie plano flexible infantil y su relación con la masa corporal

El exceso de grasa en el cuerpo humano se clasifica generalmente como sobrepeso u obesidad. El IMC es una medida comúnmente utilizada para evaluar esta condición. Se calcula dividiendo el peso en kilogramos por el cuadrado de la altura en metros (kg/m^2). En adultos, un IMC igual o superior a 25 indica sobrepeso, mientras que un IMC igual o superior a 30 indica obesidad. Para niños mayores de 5 años, se utiliza una metodología diferente. Se considera sobrepeso en niños cuando su IMC se encuentra por encima de una desviación típica del percentil 50 según los patrones de crecimiento establecidos (Figura 13). Por otro lado, se diagnostica obesidad en niños cuando su IMC supera dos desviaciones típicas [128].

Aunque el IMC es ampliamente utilizado, especialmente en adultos, también ha generado controversia debido a su tendencia a subestimar los niveles de obesidad en algunas poblaciones [129].

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

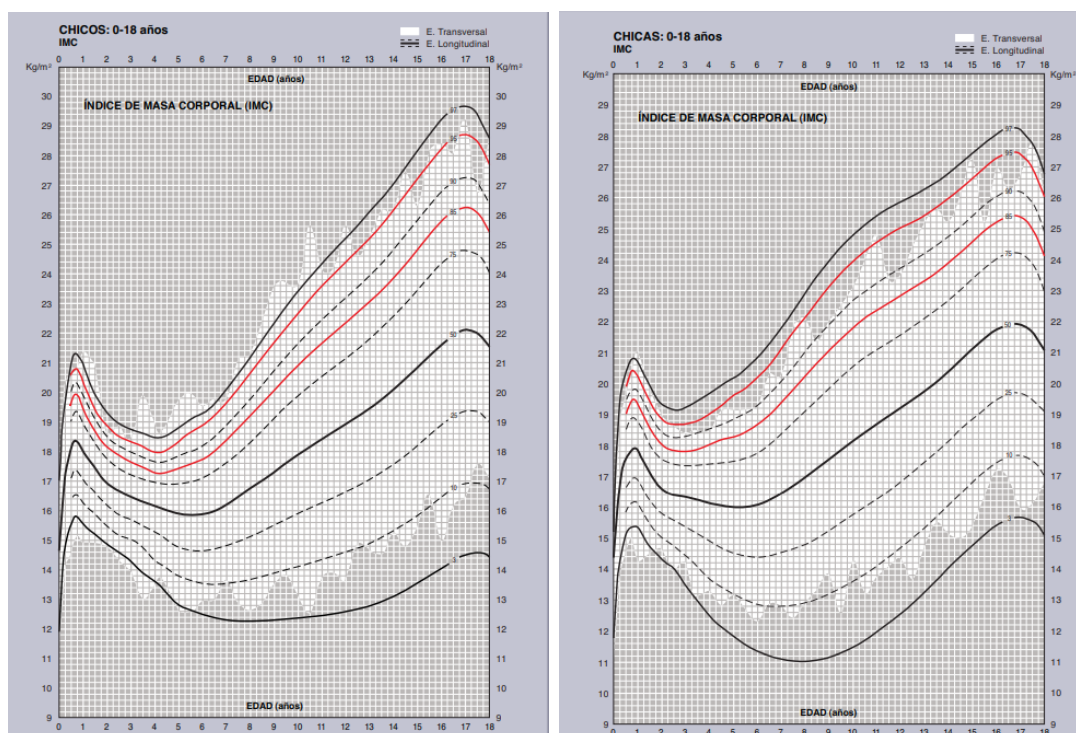


Figura 13. Curvas y tablas de crecimiento de 0 a 18 años. Cedida del Instituto de investigación sobre crecimiento y desarrollo de la Fundación Orbegozo. Imagen autorizada (Anexo 8).

El aumento de la incidencia de obesidad en la infancia es un problema de salud globalmente reconocido en las últimas décadas. En Estados Unidos, específicamente, la obesidad se ha convertido en uno de los principales problemas de salud. Más de un tercio de los adultos (72 millones de personas) y el 17.3% de los niños y adolescentes (12.5 millones) son considerados obesos [130].

Esta tendencia es preocupante porque la obesidad en niños y adolescentes está asociada con un mayor riesgo de desarrollar problemas de salud graves, como la diabetes mellitus tipo 2 y enfermedades cardiovasculares. Lo más alarmante es que estas enfermedades solían ser más comunes en la edad adulta, pero ahora se están viendo cada vez más en poblaciones más jóvenes debido al aumento de la obesidad infantil y adolescente. Este fenómeno subraya la importancia crítica de abordar la obesidad desde edades tempranas para prevenir complicaciones de salud a largo plazo [131].

La prevalencia de obesidad infantil en España es una preocupación importante y se encuentra entre las más altas de Europa, junto con otros países como Malta, Italia, Reino Unido y Grecia [132]. En un estudio publicado en 2012, se determinó la prevalencia de sobrepeso y obesidad en niños y adolescentes españoles [133]. El estudio incluyó una muestra de 978 niños de entre 8 y 17 años, y se utilizaron los criterios de la Organización Mundial de la Salud y el estudio español enKid para calcular las prevalencias de sobrepeso y obesidad. Los datos revelaron que aproximadamente

el 40% de los jóvenes padecían exceso de peso en ese momento, con una prevalencia de sobrepeso del 26% y una prevalencia de obesidad del 12.6%. Se observó que el exceso de peso era más común en el grupo de edad de 8 a 13 años, con una tasa del 45%, en comparación con el rango de edad entre 14-17 años, donde la tasa de exceso de peso fue del 12.5%. Además, se encontró una asociación entre la presencia de obesidad y sobrepeso y las clases sociales más bajas y un menor nivel de educación [133].

Estos resultados resaltan la obligación de implementar medidas efectivas para abordar la obesidad infantil en España, incluyendo intervenciones dirigidas a mejorar la educación sobre la nutrición y promover estilos de vida saludables desde una edad temprana.

1.12.1. Obesidad y Pie Plano Infantil

La literatura científica ha explorado la asociación entre el peso y la postura del pie en población infantil, aunque los hallazgos son variados y a veces contradictorios. Algunos estudios han respaldado la idea de que los niños con un mayor peso tienden a tener los pies más planos. Sin embargo, también existen publicaciones que no encuentran una correlación clara entre el IMC y la postura del pie [75,134,135].

En la mayoría de los casos, los investigadores han utilizado el IMC para determinar el peso de los niños. El IMC clasifica a los niños en cuatro categorías: bajo peso, normopeso, sobrepeso y obesidad. Los límites de cada categoría pueden variar dependiendo de si se utilizan los criterios de la Organización Mundial de la Salud o de la International Obesity Task Force [75,134,135].

El análisis de la postura del pie también ha variado entre los investigadores. Se pueden distinguir tres categorías de medición: aquellas realizadas sobre huellas plantares, utilizando diferentes medidas antropométricas, y más recientemente, utilizando el FPI [75,134,135].

Esta diversidad en los métodos de análisis y los hallazgos contradictorios resalta la complejidad de la relación entre el peso y la postura del pie en niños, y subraya la necesidad de investigaciones adicionales para comprender mejor esta relación.

- 1.12.1.1. Huella plantar

Es importante tener en cuenta estos cambios en el desarrollo del arco plantar al evaluar la postura del pie en niños, ya que la presencia de un panículo adiposo más prominente en los primeros años de vida es capaz de repercutir en la apariencia del arco plantar y en el análisis de los hallazgos de la evaluación del pie [61].

Las investigaciones que han usado huellas plantares para determinar el pie plano en niños han obtenido consistentemente una asociación entre el aumento del peso y el aplanamiento del arco plantar. Esta relación sugiere que a medida que los niños ganan peso, es más probable que desarrollen un pie plano o que presenten un arco plantar menos pronunciado [75,134–136].

El estudio realizado por Dowling et al. [136] en 2001 investigó el impacto de la obesidad en la distribución de las presiones plantares en preadolescentes. El grupo de estudio consistió en 13 escolares con obesidad, con una edad promedio de 8,1 años y un IMC promedio de 25,5 kg/m². Se compararon con un grupo control de 13 escolares no obesos, emparejados en género, edad y altura, con una edad promedio de 8,4 años y un IMC promedio de 16,9 kg/m². Para evaluar el pie plano, se utilizaron mediciones del Índice de Chippaux-Smirak y el Ángulo de la huella plantar. Además, se midieron las presiones plantares tanto en estática como en dinámica mediante una plataforma de presiones. Los resultados del estudio revelaron diferencias significativas entre los grupos. Los preadolescentes con obesidad mostraron valores significativamente menores del Ángulo de la huella plantar y valores más altos del Índice de Chippaux-Smirak en comparación con el grupo control de preadolescentes no obesos. Además, se observó que el valor medio de los picos de presión en el antepié fue significativamente mayor en el grupo de preadolescentes obesos en comparación con el grupo control. Estos hallazgos sugieren que la obesidad puede influir en la distribución de las presiones plantares en preadolescentes

El AI es otra medida utilizada para evaluar la postura del pie, especialmente para definir el pie plano. En una investigación realizada por Chen et al. [137], se utilizó el AI para calcular la prevalencia del PPI. En la investigación se analizó una población de 1024 niños y niñas con un rango de edad entre los 5-13 años. Los resultados mostraron que la prevalencia del PPI en obesos fue del 56%, mientras que en niños con normopeso fue del 27%. Esto indica que la prevalencia del PPI en obesos fue aproximadamente el doble en comparación con niños con normopeso.

El estudio realizado por Chang et al. [134] proporcionó datos interesantes sobre la prevalencia de PPI en Taiwán. En este estudio, que incluyó a 2083 niños y niñas de 7-12 años, se observó que el 59% presentaban PPI. Sin embargo, este porcentaje se incrementó al 67% al considerar únicamente a los niños. Además, se encontró que el 65% de los niños con sobrepeso y el 75% de los niños obesos tenían PPI. Esto sugiere que la prevalencia de pies planos es más alta entre los niños con sobrepeso u obesidad en comparación con aquellos con un peso considerado normal. Los autores también destacaron que la prevalencia de PPFI era especialmente alta entre los niños obesos o con sobrepeso, especialmente en el grupo de edad de 7 a 8 años.

También se ha demostrado que los niños con infrapeso tienen pies más delgados y planos que los niños con peso normal, mientras que los niños con sobrepeso y obesidad tienen pies más anchos y con un arco más alto [138].

- 1.12.1.2. Medidas antropométricas

El estudio realizado por Pfeiffer et al. [112] utilizó imágenes extraídas de un escáner 3D para evaluar el ángulo de retropié en niños de 3-6 años. En este estudio, se clasificó un calcáneo valgo entre 0 y 4 grados como normal, un valguismo entre 5 y 20 grados como pie plano fisiológico, y un valgo igual o mayor de 20 grados como pie plano patológico. En la muestra del estudio, se observó que el 13% de los niños tenían sobrepeso u obesidad, y se reportaron diferencias significativas en la prevalencia de pie plano entre los niños con obesidad, sobrepeso y normopeso. Esto sugiere que el peso corporal puede influir en la postura del pie, lo que es consistente con los hallazgos de otros estudios que han demostrado una asociación entre la obesidad y un mayor riesgo de desarrollar pie plano en la infancia.

El estudio llevado a cabo por Jiménez-Ormeño et al [139]. utilizó medidas antropométricas obtenidas mediante un escáner 3D en una muestra de 1032 niños y niñas de 6 a 12 años de edad. En este estudio, se encontraron diferencias significativas en la altura del arco plantar, que es la distancia desde el punto más prominente del arco plantar hasta el plano del suelo, entre los niños con obesidad y los niños con normopeso. Los autores concluyeron que el exceso de peso tiene un impacto en la estructura del pie de los niños. Además, señalaron que los niños con sobrepeso y obesidad siguen un patrón de crecimiento diferente al de los niños con normopeso.

- 1.12.1.3. Foot Posture Index

Es interesante observar cómo la literatura científica que relacionaba el aplanamiento del pie en niños con el incremento de masa corporal se ha modificado en los últimos tiempos. Este cambio ha ocurrido especialmente con la introducción y la utilización del FPI [140].

El estudio realizado por Evans et al. en 2011 analizó distintas mediciones antropométricas en 140 escolares de 17-10 años, de los cuales 31 tenían el PPI según el FPI. Se compararon el perímetro de cintura, el peso y el IMC entre los sujetos con PPI y pie neutro. Los hallazgos mostraron una asociación significativa pero débil e inversa entre la postura del pie y el peso, el perímetro de cintura y el IMC. Esto significa que los niños con más peso tenían los pies iguales o menos pronados que los niños con normopeso. Estos hallazgos contradicen lo que se había publicado en estudios previos, que sugerían una asociación directa entre el peso corporal y la pronación del pie, es decir, que los escolares con más peso tenían mayor tendencia a tener PPI o pies pronados.

El trabajo realizado por Evans y Karimi en 2015 [141] tuvo como objetivo evaluar la asociación entre el aumento del IMC, y la postura del pie usando el FPI en una población pediátrica, que incluía 728 niños y niñas de 3 a 15 años de edad. Los hallazgos de esta investigación tuvieron como resultado una asociación muy débil entre el IMC y el FPI, con un coeficiente de correlación (r) de -0,077. Esto indica que no se obtuvo una asociación significativa entre el IMC y la postura del pie en esta muestra de niños.

El estudio realizado por Gijón-Noguerón et al. [142] determinó la relación entre el IMC en su distinta clasificación y la postura del pie en una población de 1798 niños entre 6-12 años. La postura del pie fue catalogada utilizando el FPI, y se encontraron valores medios de FPI de 3,97 en los niños y 3,68 en las niñas. Los resultados mostraron que los niños con infra peso tuvieron un valor medio de FPI ligeramente mayor que en los otros grupos, con valores de $4,4 \pm 2,9$ en el pie izquierdo y $4,1 \pm 2,9$ en el pie derecho. Sin embargo, en las otras categorías de IMC, las medias que obtuvieron estuvieron más cerca de los valores normativos. Por ejemplo, en los niños con normopeso, el FPI fue de $3,8 \pm 2,9$ en el pie derecho y $3,9 \pm 2,9$ en el pie izquierdo. En cuanto a los niños con sobrepeso y obesidad, se observó que tenían valores de FPI menores que los niños con normopeso o bajo peso. Específicamente, en los niños con obesidad, el FPI fue de $3,2 \pm 2,9$ en el pie derecho y $3,1 \pm 2,9$ en el pie izquierdo, lo que indica un grado más bajo de pronación. No se encontraron diferencias significativas entre el valor o las categorías del IMC y el FPI en los diferentes grupos de edad. Por lo tanto, la conclusión del estudio fue que, en los niños de entre 6-12 años, el IMC no tiene un papel importante en la posición del pie.

El estudio realizado por Hawke et al. [143] utilizó el FPI para evaluar la posición del pie y luego asociarlo con el IMC. Este estudio fue llevado a cabo por un investigador experto y contó con una población de 30 niños de 7-15 años. Los resultados mostraron una correlación entre el FPI y el IMC de $r= 0,14$, con un valor de $p= 0,48$. Esto indica que no se encontró una asociación estadísticamente significativa entre el FPI y el IMC en esta población pediátrica.

- 1.12.1.4. Conclusión

Varios estudios demuestran que los niños con sobrepeso y obesos tienen pies más planos/ valgos, cuando se evalúan utilizando huellas. Sin embargo, al comparar la postura global del pie en lugar de una huella, otros autores han encontrado que esta relación no existe. Estos resultados son consistentes con las investigaciones que han utilizado el FPI para evaluar la posición del pie en niños, y que han encontrado una falta de correlación significativa entre el peso corporal y la pronación del pie. Esto sugiere que, a diferencia de las creencias históricas, el aumento de la masa corporal puede no ser un factor importante en la posición del pie en la infancia.

1.13. Hipermovilidad

La hipermovilidad articular generalizada (HAG), es una condición relativamente frecuente que se caracteriza por la capacidad de exceder el rango de movimiento normal en múltiples articulaciones. Esta condición puede ser congénita o adquirida y puede presentarse en aproximadamente el 2 al 57% de diferentes poblaciones, según diversos estudios[144].

Una de las razones importantes para la variabilidad en la prevalencia reportada de HAG es la diversidad en los métodos y criterios utilizados para su evaluación clínica. La clasificación e interpretación de la HAG puede variar según los diferentes métodos de evaluación clínica empleados [145].

Es importante destacar que muchas personas con HAG son asintomáticas, lo que dificulta estimar con precisión el número de personas afectadas por esta condición. Estos individuos pueden no estar registrados en el sistema de salud debido a la falta de síntomas que requieran atención médica [146].

Beighton Score (BS) es una herramienta utilizada para evaluar la laxitud articular o hipermovilidad en las articulaciones. Fue desarrollado por Rodney Grahame y se utiliza comúnmente en la evaluación del síndrome de hipermovilidad articular (también conocido como síndrome de Ehlers-Danlos tipo III o síndrome de Ehlers-Danlos hipermóvil).

BS se compone de una serie de cinco pruebas de flexibilidad, cada una de las cuales se califica como positiva o negativa según la presencia o ausencia de ciertos criterios. Se realiza en ambos miembros, excepto la última prueba. Los criterios evaluados incluyen:

1. Hiperextensión del dedo meñique más allá de 90 grados al dorso de la mano.
2. Hiperextensión del pulgar hacia el antebrazo.
3. Hiperextensión del codo más allá de 10 grados.
4. Flexión de la rodilla hacia atrás más allá de 10 grados.
5. Flexión del tronco hacia adelante con las palmas de las manos apoyadas en el suelo, manteniendo las rodillas extendidas.

Cada uno de estos criterios se califica como positivo si está presente, sumando un punto por cada criterio positivo. Por lo tanto, el puntaje máximo posible en el BS es de 9 puntos (5 puntos para las pruebas articulares individuales y 4 puntos para la prueba de flexión del tronco).

BS se utiliza como una herramienta de detección rápida para identificar la hipermovilidad articular en pacientes, especialmente en aquellos que pueden tener síntomas relacionados con la laxitud articular, como dolor crónico, lesiones recurrentes o problemas de estabilidad articular. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el BS por sí solo no es suficiente para diagnosticar el síndrome de hipermovilidad articular, y generalmente se utiliza en conjunto con otros criterios clínicos y pruebas diagnósticas.

Los factores que pueden influir en el BS incluyen la edad, el sexo, la etnicidad y la aptitud física. Varios estudios han señalado que estos factores pueden afectar la flexibilidad articular y, por lo tanto, el resultado del BS [144,145]. Para adultos, se usa el punto de corte en 5/9 [147]. Se considera que el punto de corte en niños es desde 6/9 hasta 4/9, depende del sexo y edad de los niños [148].

Se debate la precisión de BS para detectar HAG, dado que la puntuación se centra en las articulaciones del miembro superior y no abarca muchas grandes articulaciones del cuerpo, lo que hace que la identificación directa de la dificultad de HAG. La ausencia de evaluación de la cadera, el tobillo y el pie limita la BS para la evaluación de la hipermovilidad articular en los miembros inferiores.

Al usar la goniometría, obtenemos una herramienta válida para medir el rango articular en población infantil en edades comprendidas de 6 a 12 años [149]. En una investigación con 773 niños, de 4 a 12 años, la confiabilidad entre examinadores para BS alcanzó un buen valor de Kappa ponderado ($K_w = 0,81$) en el estudio piloto [150].

Ferrari et al. [151] desarrollaron y validaron un test de laxitud de las extremidades inferiores, conocido como Lower Limb Assessment Score (LLAS). Este sistema de evaluación proporciona un sistema de puntuación dicotómico donde la hipermovilidad de las extremidades inferiores se evalúa en detalle a través de rangos de movimiento de la cadera, rodilla, tobillo, retropié, mediopié y antepié. Se estableció un puntaje de corte validado de $\geq 7/12$ para detectar la hipermovilidad de los miembros inferiores en niños. Anexo 9.

En sujetos con HAG las lesiones de ligamentos y cápsulas, como torceduras, esguinces y subluxaciones, son comunes [152]. Sin embargo, la contradicción en los estudios que analizan estas lesiones en los miembros inferiores utilizando el BS ha llevado a considerar una prueba más específica para evaluar el pie y el tobillo [148].

El LLAS ha surgido como un instrumento válido para identificar la hipermovilidad articular en el miembro inferior. Sin embargo, al igual que ocurre con el BS, surgen dudas sobre si existe un predominio de la hipermovilidad en ciertas articulaciones sobre otras, específicamente en las articulaciones proximales versus distales.

Con respecto a las investigaciones que relacionen hipermovilidad con el tipo de pie es de destacar que los métodos para determinar y categorizar la postura del pie difieren mucho entre los estudios. Investigaciones donde los criterios de inclusión fueron arcos aplanados y la hiperlaxitud se midió con BS, observaron que los pies más planos se asociaban con mayor flexibilidad [153,154]. Sin embargo, Tsai et al. [155], utilizando el Staheli Plantar Arch Index como método de inclusión para pie plano, no encontraron relación con la hiperlaxitud. Se ha establecido la asociación entre la puntuación de BS y el FPI, encontrándose que los pies más planos/pronados ocurrían con una hipermovilidad articular más generalizada [143,156–159]. Hawke et al. [143] han sido los únicos que estudiaron el tipo de pie con la flexibilidad de las extremidades inferiores, utilizando LLAS, y no encontraron asociación.

2. JUSTIFICACIÓN

Es cierto que el uso de pruebas en la población pediátrica es crucial para una evaluación precisa en el diagnóstico y tratamiento de condiciones como el pie plano. Las revisiones sistemáticas, como las realizadas por Cochrane [49,64], son especialmente importantes para resumir la evidencia disponible y proporcionar orientación sobre las mejores prácticas clínicas.

La confirmación de la falta de evidencia y la heterogeneidad clínica y metodológica en estudios sobre el PPI resalta la necesidad de encontrar herramientas de medición fiables. Estas herramientas son fundamentales para establecer una base sólida en la investigación pediátrica, ya que pueden proporcionar datos consistentes y confiables que permitan a los profesionales de la salud tomar decisiones informadas sobre el diagnóstico y tratamiento.

Con respecto al PPFI, estudios previos han encontrado una correlación entre el FPI y el RCSP [73]. Esta correlación sugiere que medir un solo parámetro podría simplificar la detección clínica de los pies planos en niños. Son herramientas accesibles, simples y rápidas para identificar pies planos en un entorno clínico. Es especialmente útil cuando el médico o pediatra tiene poco tiempo y conocimientos específicos sobre los pies. Aunque observamos que no hubo un estudio cuantitativo para obtener un punto de corte a la hora de estudiar su prevalencia, son muchos los estudios que indican un punto de corte de 4º de RCSP, pero ninguno da justificación ante ello [160,161] En consecuencia, la intención fundamental en este campo fue obtener un punto de corte para el RCSP a través de la prueba FPI que valora la tridimensionalidad del pie.

Por otro lado, la HAG con el BS como herramienta de identificación internacionalmente aceptada [149], tiene poca especificidad en nuestro campo que son los miembros inferiores y menos aún en pie y tobillo.

La HAG está asociada comúnmente con lesiones de ligamentos y cápsulas en las articulaciones, como torceduras, esguinces y subluxaciones [148]. Sin embargo, la heterogeneidad en los hallazgos de los estudios que utilizan BS para analizar estas lesiones en los miembros inferiores ha generado incertidumbre. Con respecto a la hipermovilidad de miembros inferiores, LLAS se ha establecido como una herramienta específica. Sin embargo, surgen preguntas sobre si ciertas articulaciones tienen una prevalencia de hipermovilidad sobre otras, particularmente en términos de articulaciones proximales versus distales, similar a lo que ocurre con el BS. Estudios adicionales respaldan la idea de utilizar pruebas de hiperlaxitud articular específicas para las áreas relevantes del cuerpo [162,163]. Por ejemplo, Malek et al. [162] han propuesto la integración de elementos de la región del cuerpo en una versión revisada de BS. Por ello el propósito de este estudio consiste en desarrollar y validar una herramienta específica de pie y tobillo, la cual podamos comparar con variables morfofuncionales del pie validadas.

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS PRINCIPALES

Esta investigación se ha realizado con dos objetivos principales:

1. Determinar unos valores de normalidad para el RCSP en la población infantil, a través del FPI como *gold standard*.
2. Desarrollar y validar una prueba de hipermovilidad específica de pie y tobillo llamada Foot and Ankle Flexibility Index (FAFI).

3.2. OBJETIVOS SECUNDARIOS

Los objetivos secundarios de esta investigación fueron:

1. Comprobar la relación que tiene FAFI con pruebas de hipermovilidad como son BS y LLAS.
2. Relacionar FAFI con pruebas morfofuncionales de pie y tobillo y actividad física.
3. Relacionar FAFI con edad y sexo.
4. Obtener valores psicométricos de FAFI.
5. Calcular la asociación entre RCSP y obesidad.

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

4. EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD DE LAS EXTREMIDADES INFERIORES Y LA FUERZA DE LOS MÚSCULOS DEL TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA: PROTOCOLO PARA UN ESTUDIO TRANSVERSAL

4.1 INTRODUCCIÓN

El uso de pruebas en la población pediátrica es de gran importancia para la valoración en el diagnóstico y tratamiento. Las revisiones sistemáticas Cochrane [49,64] sobre pie plano han confirmado que la falta de evidencia y la heterogeneidad clínica y metodológica hacen que no existan conclusiones firmes sobre el diagnóstico y tratamiento en la población infantil. Por este motivo, muchos estudios buscan herramientas de medición fiables donde puedan encontrar una base estable en la investigación pediátrica.

Qué pruebas se deben utilizar en la población pediátrica para evaluar la función del pie y el tobillo es un tema controvertido, que muestra una falta de consenso sobre cómo se debe medir, definir o evaluar la función del pie y el tobillo [164]. Por lo tanto, se deben utilizar pruebas morfofuncionales de alta confiabilidad del pie y el tobillo [165–167] para establecer una asociación entre las variantes morfofuncionales [168], y otras variables, como el peso [141], laxitud [150,151], y actividad física [169].

Estudios observacionales anteriores sugirieron que ciertas lesiones específicas en las extremidades inferiores pueden corresponder a diferentes tipos de pies que son estructuralmente distinguibles. Un aumento significativo del riesgo de lesiones por estrés en los pies pronadores y supinadores, se asoció con los jugadores de fútbol jóvenes [170]. En virtud de ello, la valoración clínica de la alineación del pie se vuelve fundamental para el tratamiento de las lesiones y dolores a nivel del miembro inferior.

Redmond et al. [165] describieron una prueba que alcanzó el estatus como una herramienta de medición observacional para evaluar la postura del pie. El resultado fue un sistema de puntuación observacional de seis ítems, el Índice de Postura del Pie (FPI-6). Concluyeron que el FPI es una herramienta clínica validada que tiene en cuenta la tridimensionalidad de la postura del pie. Se ha utilizado en niños y tiene una alta fiabilidad [171].

Otras pruebas con alta confiabilidad en el miembro inferior, como la amplitud de movimiento [91,172], la fuerza del tobillo con dinamometría y las pruebas de hipermovilidad, como BS [150] la evaluación de la puntuación del miembro inferior (LLAS), tienen alta confiabilidad. confiabilidad [151].

Finalmente, en el ámbito deportivo, las pruebas de ejercicio físico se han desarrollado como un método sencillo y económico para evaluar la capacidad de ejercicio, que constituye la actividad diaria de los niños, favoreciendo la salud. Además, las pruebas de ejercicio submáximo proporcionan un medio seguro y práctico para evaluar el estado funcional [173].

Nuestra hipótesis: aunque la postura del pie se ha relacionado con la edad de los niños, se requiere mayor profundidad en las variables morfológico-funcionales de los miembros inferiores, como hipermovilidad, fuerza y rango articular del tobillo. Otro aspecto de esta investigación es investigar la relación entre la actividad física y variables morfológico-esqueléticas de los miembros inferiores.

Por tanto, el principal objetivo propuesto en el protocolo de estudio transversal es examinar la relación entre la hipermovilidad (LLAS y BS) y la fuerza de los músculos del tobillo en diferentes tipos de pies. El segundo objetivo es describir la relación entre las pruebas de actividad física en niños y compararlas con el tipo de pie y la fuerza de los músculos del tobillo.

4.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Aprobación ética

Este estudio se realizará de acuerdo con la Declaración de Helsinki y fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Católica San Antonio de Murcia CE112104 (Anexo 10).

Diseño del estudio

Se trata de un estudio observacional transversal en el que se seguirán los criterios de Fortalecimiento de Informes de Estudios Observacionales en Epidemiología (STROBE).

Participantes

En este estudio transversal participarán escolares de edades comprendidas entre 5 y 10 años. Las mediciones se realizarán durante 2022. Los participantes serán evaluados en el colegio San Francisco de Asís de Lorca, Murcia (España).

Los criterios de inclusión incluirán participantes que tengan entre 5 y 10 años y que no experimenten ningún dolor en el pie en el momento de la evaluación. Los participantes contarán con el consentimiento de los padres/tutores (Anexo 11). Los padres serán informados previamente sobre el estudio vía correo electrónico y mediante la firma del consentimiento para confirmar la participación de sus hijos. Se excluirán del estudio los participantes que presenten alguna de las siguientes condiciones: daño reciente de los miembros inferiores, alteraciones estructurales congénitas que afecten zonas distales de la articulación del tobillo, así como aquellos casos con pie plano patológico causado

por parálisis cerebral, tratamientos quirúrgicos. en el pie o extremidad inferior, afectaciones de carácter genético, neurológico o muscular.

Procedimiento

Los participantes y los padres recibirán información electrónica sobre la naturaleza del estudio. Se obtendrá el consentimiento informado por escrito de los padres de todos los niños y también se obtendrá el consentimiento de los niños. Se recopilarán datos antropométricos de todos los participantes antes de la prueba. A los niños se les asignará un número específico para mantener la confidencialidad.

Se realizarán pruebas de hipermovilidad, postura, fuerza y aptitud física durante la instrucción regular de educación física en cada escuela en el pabellón de deportes de la escuela. Los participantes llevarán calzado adecuado y ropa ligera (camisetas y pantalones cortos o faldas). Los niños serán evaluados individualmente por tres podólogos especializados en el campo pediátrico, cada uno de los cuales habrá sido capacitado en la administración de todos los protocolos de prueba. La recopilación de datos involucrará tres estaciones y tres examinadores:

- Se administrará antropometría, FPI, posición de reposo del calcáneo (RCSP), prueba de Lunge, escala de BS y puntuación de evaluación de las extremidades inferiores LLAS (Anexo 12).
- Se evaluará fuerza, tiempo para levantarse del suelo (TRF), prueba de 5 saltos (5JT) (Anexo 13).
- Se evaluará el tiempo para caminar 10 m (10MWT), el tiempo para correr 10 m (10MRT), la prueba de caminata de 6 minutos (6MWT) (Anexo 14).

Cada prueba será explicada y demostrada antes de comenzar la prueba. Cada elemento de la prueba se realizará tres veces y se promediarán las mediciones obtenidas. Los participantes recibirán estímulo y apoyo verbal estándar durante las pruebas. Cuando un niño comete un error durante una prueba, se repetirán las instrucciones y demostraciones y se le permitirá al niño hacer otro intento.

Según Landis y Koch [174], los coeficientes de ICC inferiores a 0,20 indicaron un ligero acuerdo, 0,20 a 0,40 indicaron una confiabilidad aceptable, 0,41 a 0,60 indicaron una confiabilidad moderada, 0,61 a 0,80 indicaron una confiabilidad sustancial y 0,81 a 1,00 indicaron una confiabilidad casi perfecta. En este protocolo se considerarán apropiados coeficientes $\geq 0,81$ para considerar válidos los resultados del estudio.

Antropometría

La altura y el peso se medirán con el niño vestido con ropa ligera y sin zapatos. La altura de cada sujeto se medirá con un portátil calibrado SECO 7710 m. La masa corporal se medirá con báscula digital Pegasus, con un margen de error de 0,05 Kg y con los sujetos

vistiendo la menor cantidad de ropa posible (camiseta y pantalón corto o falda) (Anexo 12).

Clasificación por Índice de Masa Corporal (IMC)

El IMC se calculará mediante la fórmula $IMC = \text{peso (kg)} / \text{altura (m}^2\text{)}$. A continuación, se clasificará a los sujetos según las líneas de corte relativas a sus valores percentiles, utilizando la clasificación propuesta por la Fundación F. Orbegozo en 2004 [175].

Foot Posture Index (FPI) and Rest Calcaneal Stance Position (RCSP)

La evaluación de la postura del pie se realizará midiendo el FPI con los sujetos descalzos, en posición relajada, para facilitar la inspección visual y manual. La confiabilidad entre examinadores para el FPI en la población pediátrica ha alcanzado un valor Kappa ponderado consistente ($K_w = 0,86$), en una muestra de niños de edades comprendidas entre 5 y 16 años [176] (Anexo 12).

El RCSP se evaluará según el método descrito por Root et al. [177]. Se medirá el ángulo entre la bisectriz del calcáneo y la línea perpendicular al suelo. La confiabilidad intraexaminador para RCSP en la población pediátrica alcanzó un buen valor de Kappa ponderado ($K_w = 0.61$ a 0.90) [178] (Anexo 12).

Test de Lunge

El rango de dorsiflexión del tobillo se determinará mediante la prueba de Lunge, que es una prueba de carga del rango de dorsiflexión del tobillo cuando la rodilla está flexionada. El participante se parará sobre una superficie horizontal sólida frente a una pared vertical. El pie de prueba se colocará perpendicular a la pared y el pie contralateral se colocará en una posición cómoda y estable. La prueba implicará que el participante empuje la rodilla lo más adelante posible sobre el pie mientras mantiene el talón en el suelo. El ángulo máximo de avance de la tibia con respecto a la vertical se registrará como una medida de la dorsiflexión del tobillo utilizando un inclinómetro digital (Smart Tool™) aplicado a la superficie anterior de la tibia (Figura 14). Los coeficientes de correlación intraclase intraexaminador fueron 0,98 y la confiabilidad entre examinadores alcanzó un valor excelente de Kappa ponderado ($K_w = 0.97$) [167] (Anexo 12).



Figura 14. Evaluación del rango de dorsiflexión del tobillo mediante la prueba de Lunge de tobillo. Elaboración propia.

Beighton Scale (BS)

BS [150,179] se calificará para la hiper movilidad articular en la muñeca, la articulación metacarpofalángica del quinto metacarpiano, la hiperextensión del codo, la hiperextensión de la rodilla (todas bilaterales y sin carga) y la columna lumbosacra [180]. La BS, cuando se utiliza goniometría, es un instrumento válido para medir la movilidad articular generalizada en niños en edad escolar de 6 a 12 años [180]. En un estudio con 773 niños, de 4 a 12 años, la confiabilidad entre examinadores para la prueba de BS alcanzó un buen valor de Kappa ponderado ($K_w = 0,81$) en el estudio piloto [150] (Anexo 12).

Lower Limb Assessment Score (LLAS)

LLAS [168] se evaluará para medir la hiper movilidad de las articulaciones de las extremidades inferiores. Cada miembro alcanzará una puntuación final de 12 puntos. Una puntuación de 7/12 indicará hiper movilidad articular. LLAS es confiable (la confiabilidad entre examinadores se evaluó como 0,84 (ICC) [151] (Anexo 12).

Fuerza de Tobillo

La fuerza muscular isométrica se cuantificará utilizando el dinamómetro manual de Lafayette Instrument Company, modelo 01160, Lafayette, IN, EE. UU. El dispositivo vendrá calibrado de fábrica, según los datos del fabricante, a una sensibilidad de 0,1 kg

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

y un rango de 0,0 a 199,9 kg. Cada niño se colocará en posición sentada (caderas flexionadas y rodillas extendidas) en una mesa de examen con la espalda apoyada, se medirá la inversión isométrica del pie y la fuerza muscular de eversión y la flexión plantar y dorsiflexión del tobillo. La posición sentada se utilizará para ver y comprender el procedimiento, tal como se utiliza en este protocolo estandarizado [181,182].

Para la inversión, el dinamómetro se colocará distal y medial a la base del primer metatarsiano; para la eversión, se colocará contra la base lateral del quinto metatarsiano; para la flexión plantar del tobillo, se colocará contra la parte plantar de la cabeza del metatarsiano; y para la dorsiflexión del tobillo, se colocará contra las cabezas de los metatarsianos proximal y dorsal (Figura 15).

Al comienzo de la prueba, la posición de referencia será con el tobillo y las articulaciones subastragalina neutras [183]. Se utilizará el método de prueba "make", en el que la mano del operador sostiene el dinamómetro estacionario mientras el niño ejerce una fuerza máxima contra él. Estudios anteriores confirman la mayor fiabilidad con la prueba "make" [184].

Se medirán tres contracciones consecutivas de 3 a 5 s para cada grupo de músculos en orden aleatorio. El promedio de tres contracciones es más fiable que el valor máximo [185]. Se realizarán repeticiones adicionales si el evaluador siente que el esfuerzo del niño está por debajo de sus capacidades o si el movimiento es incorrecto.

Burns et al, descubrieron que la confiabilidad test-retest del procedimiento era aceptable para todos los grupos de músculos. El coeficiente de correlación intraclase y el intervalo de confianza del 95% fueron excelentes ($ICC = 0,88$ a $0,95$, IC del 95% = $0,75$ a $0,98$) para todos los grupos de músculos evaluados. El error de medición fue pequeño para todas las variables ($SEM = 0,3$ a $0,7$ kg) [186] (Anexo 13).

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA



Figura 15. Evaluación de la fuerza del tobillo utilizando el dinamómetro: (a) evaluación de inversión, (b) evaluación de eversión, (c) evaluación de dorsiflexión, (d) evaluación de flexión plantar. Elaboración propia.

Pruebas simples de función motora cronometradas

Se explicarán y demostrarán a los niños las pruebas de función motora cronometradas. Todas las pruebas se realizarán con niños vestidos con ropa ligera y en un ambiente tranquilo a una temperatura inferior a 22-26 °C. Se utilizará estímulo verbal durante las pruebas [169].

Time to rise from the floor (TRF)

Se evaluará el tiempo en segundos que se tarda en levantarse desde una posición sentada en el suelo hasta una posición erguida sin ayuda [169] (Anexo 13).

Time to walk 10 meters (10MWT)

Se calculará el tiempo en segundos que tarda el niño en recorrer la distancia marcada de 10 metros. Se realizará sobre una superficie de 20 a 30 metros de longitud. Se presionará el cronómetro para decir "Vamos". El cronómetro se detendrá cuando ambos pies crucen la línea de meta [169] (Anexo 14).

Time to run 10 meters (10MRT)

Esto será lo mismo que para 10MWT, pero implicará que el niño corra lo más rápido posible. Al decir "Vamos" se iniciará el cronómetro. El cronómetro se detendrá cuando ambos pies crucen la línea de meta [169] (Anexo 14).

The 5 jump-test (5JT)

El 5JT se utilizará para evaluar la explosividad de las extremidades inferiores [187]. El 5JT requiere un espacio plano alargado de 15 metros. Según Chamari et al., consta de

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

5 zancadas consecutivas con la posición de los pies unida al inicio y al final de los saltos. Desde la posición inicial, el participante tendrá que saltar directamente hacia adelante con una pierna y tras las 4 primeras zancadas, es decir alternando el pie izquierdo y derecho 2 veces cada uno, realizará la última zancada y finalizará la prueba con ambos pies juntos. Se registrará la mejor actuación (mayor distancia) (Anexo 13).

6 Minute walking test (6MWT)

El 6MWT se realizará sobre una superficie plana en un pasillo cubierto de 30 metros de largo señalizado cada 2 metros, donde el niño caminará durante 6 minutos, pudiendo descansar mientras realiza la prueba. La prueba se realizará siguiendo las recomendaciones de la American Thoracic Society [188] (Anexo 14).

Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra se determinará mediante la aplicación del programa EPIDAT (<https://www.sergas.es/Saude-publica/EPIDAT?idioma=es>). El estudio estará diseñado para detectar cambios superiores a 0,8 (tamaño del efecto alto) con un error tipo I de 0,05 y un error tipo II de 0,2. Esto se basa en una recomendación previa de 15 participantes para estudios piloto para estimar la varianza de los resultados y permite una tasa de deserción prevista del 20% con una precisión de $\pm 5\%$ con un nivel de confianza del 95% [189] .

Gestión y análisis de datos

Los datos cuantitativos se evaluarán utilizando SPSS (IBM SPSS Statistics: V.24, EE. UU.). Los resultados obtenidos se reportarán como mediana y rango intercuartil, si la distribución de las variables no es normal, y como media y desviación estándar (DE), cuando sí existe distribución normal. La normalidad de las distribuciones se examinará mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la confiabilidad intraexaminador de los instrumentos de medición se calculará utilizando un modelo ICC de consistencia mixta bidireccional. El análisis bivariado se realizará con la prueba t de Student y la prueba no paramétrica de Wilcoxon. El nivel de significancia se fijará en $p < 0,05$.

5. DESARROLLO, VALIDACIÓN Y ANÁLISIS PSICOMÉTRICO DEL ÍNDICE DE FLEXIBILIDAD DE PIE Y TOBILLO (FAFI)

5.1. INTRODUCCIÓN

Se considera que existe hipermovilidad articular (HA) cuando la articulación excede el rango de límites normales dentro de su lapso fisiológico, debido al aumento de la elasticidad de los tejidos capsulares y ligamentosos [190]. El rango fisiológico de las articulaciones depende de la edad, el sexo y el origen étnico. Se ha demostrado que HA es inversamente proporcional a la edad; Los niños son más flexibles que los adolescentes y los adolescentes son más flexibles que los adultos [191]. El sexo femenino se considera más hipermóvil con una proporción de 2:1 o 3:1 en comparación con el sexo masculino [152]. En cuanto a la etnicidad, se ha demostrado que las poblaciones asiáticas y africanas tienen más hipermovilidad que las poblaciones caucásicas [192,193].

Este aumento en el rango de movimiento puede localizarse y afectar a una articulación, o puede afectar a múltiples áreas del cuerpo. El término hipermovilidad articular generalizada (HAG) se utiliza cuando están involucradas 5 o más articulaciones [194].

La identificación de HAG a través de BS tiene gran aceptación internacional. El BS consta de 5 pruebas con predominio en el miembro superior, y solo una prueba del miembro inferior, para extensión de rodilla [149]. Se considera que el punto de corte en niños es desde 6/9 hasta 4/9, depende del sexo y edad de los niños adultos [195]. Se debate la precisión de BS para detectar HAG, dado que la puntuación se centra en las articulaciones del miembro superior y no abarca muchas articulaciones importantes del cuerpo, lo que hace que la identificación de HAG cuestionable. La ausencia de evaluación de la cadera, el tobillo y el pie limita BS para la evaluación de la hipermovilidad articular en los miembros inferiores.

Ferrari et al. [151] validaron una prueba de laxitud de las extremidades inferiores, Lower Limb Assessment Score (LLAS). El LLAS proporciona un sistema de puntuación dicotómico en el que la hipermovilidad de las extremidades inferiores se evalúa en detalle con los rangos de movimiento de la cadera, la rodilla, el tobillo, el retropié, el mediopié y el antepié. Tiene una puntuación de corte validada de $\geq 7/12$ para detectar la hipermovilidad de las extremidades inferiores en niños [151].

Las lesiones de ligamentos y cápsulas, como torceduras, esguinces y subluxaciones, son comunes en pacientes con HAG [196]. La contradicción de los estudios que analizan estas lesiones de miembros inferiores mediante BS ha llevado a considerar una prueba más específica para evaluar el pie y el tobillo pediátricos [197]. El LLAS es una herramienta válida para identificar la hipermovilidad articular del miembro inferior, pero al igual que ocurre con la BS, genera dudas sobre si existe un predominio de la hipermovilidad en unas articulaciones más que en otras, es decir, proximal versus distal.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue separar los ítems de pie y tobillo del LLAS y obtener una nueva herramienta de identificación, a través de una versión abreviada del LLAS, específicamente para la hipermovilidad articular del pie y el tobillo, utilizando un sistema de puntuación dicotómico. Además de obtener valores psicométricos, se buscó el punto de corte y la validación de esta nueva herramienta.

5.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Aprobación ética

Este estudio se llevó a cabo en total conformidad con las disposiciones de la Declaración de Helsinki sobre principios éticos para la investigación médica con seres humanos y fue aprobado por el Comité de Ética. Fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Católica San Antonio de Murcia CE112104 (Anexo 10).

Participantes

En este estudio transversal participaron un total de 205 niños, con edades entre 5 y 10 años. Las mediciones se realizaron en 2022, entre enero y junio. Los participantes fueron evaluados en el colegio San Francisco de Asís de Lorca, Murcia (España).

Todos los participantes cumplen con los siguientes criterios de inclusión:

- edad entre 5 y 10 años
- no sentir ningún dolor en el pie en el momento de la evaluación.

Los criterios de exclusión fueron:

- alteraciones estructurales congénitas de la articulación del tobillo
- parálisis cerebral
- tratamientos quirúrgicos en el pie o extremidad inferior
- afecciones genéticas, neurológicas, inflamatorias o musculares.

Se obtuvo el consentimiento informado de los padres/tutores, previa explicación del estudio (Anexo 11).

Procedimiento

Antes de evaluar a los niños participantes, se recogieron datos demográficos relacionados con sexo, edad, peso y altura. Los niños vestían ropa deportiva cómoda, pantalones cortos y no llevaban zapatos. Se ordenó a los niños que estuvieran lo más relajados posible y todas las maniobras de amplitud articular se realizaron sin dolor. Para evaluar la confiabilidad de los datos, se contrató como examinadores a dos podólogos con 1 año de experiencia en un programa de detección de la marcha para niños. A estas sesiones asistirán todos los participantes, la primera, que se realizará mientras dure el LLAS [151] y BS [149] fueron evaluados de forma independiente y ciega por los dos examinadores. En la segunda sesión, otro experto en podología pediátrica con más de 15 años de experiencia clínica e investigador universitario en el campo de la marcha pediátrica midió la hipermovilidad del tobillo y del pie.

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

Los dos examinadores llevaron a cabo las pruebas con niveles de corte específicos:

- BS para hombres de 5 a 7 años $\geq 5/9$ y de 8 a 10 años $\geq 4/9$.
- BS para mujeres de 5 a 7 años $\geq 5/9$ y de 8 a 10 años $\geq 4/9$.
- LLAS $\geq 7/12$ para todos.

El nuevo test llamado Foot and Ankle Flexibility Index (FAFI) constaba de los últimos siete ítems del LLAS, que abordan el pie y el tobillo. La Figura 16 ilustra la versión de prueba, con la definición del ítem. El experimentado experto clínico evaluó a 196 niños en días distintos. A falta de un "estándar de oro" para la hipermovilidad de las extremidades inferiores, el LLAS se validó mediante la opinión de expertos. Este juicio clínico se basó en pruebas clínicas de la amplitud de movimiento del pie y el tobillo, sin utilizar el LLAS. Además, se evaluó a 25 niños para obtener confiabilidad intraevaluadores, y ambos examinadores evaluaron de forma independiente, y el mismo día, la confiabilidad entre evaluadores.

Figura 16. Definición de los 7 ítems FAFI testados.

FAFI	IZQUIERDA		DERECHA	
Dorsiflexión de tobillo. El paciente se encuentra en decúbito supino; la rodilla está flexionada a 45°; con una fuerza de moderada a fuerte se flexiona el tobillo. ¿El tobillo se flexiona más de 15 grados? Junto con el aumento del movimiento, puede haber abultamiento de la piel y la grasa subcutánea anterior al tobillo.	SI	NO	SI	NO
Prueba del cajón anterior del tobillo. El paciente se encuentra en decúbito supino; la rodilla está flexionada a 45°; el examinador agarra el talón a lo largo de las superficies plantar y posterior con una mano y aplica una fuerza estabilizadora contra la parte anterior de la tibia con la otra mano. Usando una fuerte fuerza anterior, ¿se pueden llevar el calcáneo y el astrágalo hacia adelante sobre la tibia? Cualquier movimiento hacia adelante que se sienta es un resultado positivo.	SI	NO	SI	NO
Inversión subastragalina. El paciente está en decúbito supino con los pies sobre el extremo de la camilla; el examinador sostiene la superficie posterior del talón y mueve el talón en inversión sin mover la pierna. ¿Se observa una inversión excesiva de la articulación subastragalina utilizando una fuerza mínima? La planta del pie o la visualización del cuello del astrágalo debe mostrar un movimiento de 45° hacia adentro, la cabeza lateral del astrágalo será muy prominente.	SI	NO	SI	NO
Inversión mediotarsiana. El paciente está en decúbito supino con los pies sobre el extremo de la camilla; la articulación mediotarsiana está aislada de la articulación subastragalina; el antepié se agarra de lateral a medial a lo largo de los	SI	NO	SI	NO

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

metatarsianos; sólo se aplica una fuerza mínima o moderada para invertir la articulación mediotarsiana. ¿La articulación mediotarsiana se invierte más de 45° de modo que la superficie plantar de las cabezas de los metatarsianos pueda llevarse 45° hacia adentro?				
Abducción/aducción mediotarsiana y dorsi/flexión plantar. El paciente está en decúbito supino con los pies sobre el extremo del sofá; el examinador agarra y estabiliza el retropié; el antepié se mueve en dirección de abducción/aducción y dorsi/flexión plantar.	SI	NO	SI	NO
Movimiento metatarsofalángico. El paciente está en decúbito supino con los pies sobre el extremo de la camilla; El hallux se flexiona dorsalmente utilizando una fuerza mínima – moderada.	SI	NO	SI	NO
Pronación excesiva de la articulación subastragalina (carga de peso). El paciente debe marchar en el lugar y detenerse cuando se le ordene; se pide al paciente que invierta el pie y mantenga la posición neutra cerca de la articulación subastragalina; Luego se le pide al paciente que relaje el pie; Se observa el movimiento. ¿El arco desciende y se aplanar completa, excesiva y fácilmente, con el astrágalo sobresaliendo medialmente? La pronación observada debe estar al final del rango de movimiento de la articulación subastragalina para que no sea posible una mayor pronación.	SI	NO	SI	NO

Para puntuar, cada miembro se calcula por separado dando una puntuación izquierda y una puntuación derecha. Cada Sí recibe una puntuación. Está disponible un total de 7 puntos. Imagen autorizada (Anexo 5).

Análisis estadístico

Todos los análisis estadísticos se realizaron con SPSS versión 29 [IBM SPSS Statistics SPSS Inc, 2022]. Se realizó un análisis exploratorio de datos que incluyó estadísticas descriptivas de edad, sexo e IMC. La consistencia interna se midió con la prueba de Cronbach (7 ítems) y se consideró satisfactoria a partir de 0,7 [198] se utilizó la correlación de Pearson para las correlaciones entre ítems y entre ítems totales.

La validez discriminante (es decir, la puntuación de corte para el FAFI) se calculó utilizando la curva característica operativa del receptor (ROC) [199], ofreciéndonos la sensibilidad y especificidad para cada nivel y el área bajo la curva (AUC). El punto de corte representa la discriminación más fuerte entre niños con y sin hipermovilidad articular del pie y el tobillo. La opinión clínica de un experto se utilizó como "estándar de

oro" para el análisis. Una vez obtenido el punto de corte se evaluaron los valores predictivos positivos y negativos. Se calcularon estadísticas Kappa con IC del 95% para verificar el nivel de acuerdo entre evaluadores e intraevaluadores para el FAFI [200]. Se utilizaron estadísticas de correlación intraclase para evaluar la confiabilidad. Según Landis y Koch [201], Los coeficientes ICC inferiores a 0,20 indicaron un ligero acuerdo, 0,20-0,40 indicaron una confiabilidad aceptable, 0,41-0,60 indicaron una confiabilidad moderada, 0,61-0,80 indicaron una confiabilidad sustancial y 0,81-1,00 indicaron una confiabilidad casi perfecta.

Se utilizó la correlación de Pearson para probar la relación entre la edad y el ANOVA de un factor para el sexo. Se utilizó una prueba t de muestras pareadas para comparar las puntuaciones FAFI entre los lados izquierdo y derecho. Finalmente, se evaluó un porcentaje de concordancia entre FAFI, BS y LLAS para comparar la validez convergente del FAFI en la identificación de la hipermovilidad de las articulaciones del pie y el tobillo. Se realizó una correlación de Pearson entre FAFI y LLAS y BS. Los valores de p inferiores a 0,05 se consideraron estadísticamente significativos.

5.3. RESULTADOS

Participantes

Se incluyó a un total de 196 niños en el análisis final, ya que 9 niños fueron excluidos por dolor durante la prueba. La edad promedio de los participantes fue de 7,6 (5-10) años; El 60,2% eran niñas y el 40,8% eran niños. El índice de masa corporal (IMC) medio fue de 17,8 kg/cm².

Análisis de fiabilidad

El alfa de Cronbach presentó un $\alpha = 0,803$, eliminando el 7º ítem (movimiento subastragalina excesivo) debido a la baja correlación entre ítems de $\alpha = 0,23$ (mala validez de contenido). Por lo tanto, el ítem 7 fue eliminado de la versión final del nuevo instrumento. Una vez eliminado el ítem no válido, se volvió a calcular el alfa de Cronbach, que fue de 0,82. Las correlaciones entre los seis ítems finales obtuvieron un valor medio de 0,59 (rango: 0,43-0,74), como se muestra en la Tabla 1. La matriz de correlación entre ítems se detalla en la Tabla 2.

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

Tabla 1 Puntajes descriptivos y confiabilidad de los ítems.

	Media (DE)	Correlación ítem- total corregida	Alfa Cronbach (Séptimo elemento eliminado)
Dorsiflexión de tobillo	0,62 (0,48)	0,437	0,831
Cajón anterior de tobillo	0,25 (0,43)	0,443	0,827
Inversión subastragalina	0,51 (0,5)	0,645	0,788
Inversión mediotarsiana	0,67 (0,47)	0,654	0,787
Ab/adduction y dorsi/plantarflexion mediotarsiana	0,58 (0,49)	0,746	0,766
Movimiento 1ª metatarsofalángica	0,53 (0,50)	0,656	0,786

DE: Desviación estandar

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

Tabla 2: Matriz de correlación entre ítems.

	Dorsiflexión de tobillo	Cajón anterior de tobillo	Inversión subastragalina	Inversión mediotarsiana	Ab/adduction y dorsiplantarflexion mediotarsiana	Movimiento 1ª metatarsofalángica
Dorsiflexión de tobillo	1					
	196					
Cajón anterior de tobillo	,252**	1				
	,000	196				
Inversión subastragalina	,291**	,471**	1			
	,000	,000	196			
Inversión mediotarsiana	,414**	,264**	,508**	1		
	,000	,000	,000	196		
Ab/adduction y dorsiplantarflexion mediotarsiana	,345**	,391**	,597**	,680**	1	
	,000	,000	,000	,000	196	
Movimiento 1ª metatarsofalángica	,370**	,313**	,542**	,516**	,661**	1
	,000	,000	,000	,000	,000	196
	196	196	196	196	196	1

** . La correlación es significativa al nivel de 0,01. (bilateral).

Identificación del punto de corte y valores predictivos

Para aclarar la identificación de casos con hipermovilidad articular de pie y tobillo mediante FAFI, se determinó un punto de corte. Todos los niños fueron evaluados por un médico examinador experto para determinar la presencia de hipermovilidad articular del pie y el tobillo (AUC 0,96, $p < 0,001$). El punto de la curva ROC más cercano a ambos ejes determinó la puntuación adecuada de sensibilidad y especificidad. La puntuación de discriminación en la curva ROC (4 puntos) mostró que FAFI puede identificar a niños con hipermovilidad articular del pie y el tobillo (Figura 17).

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

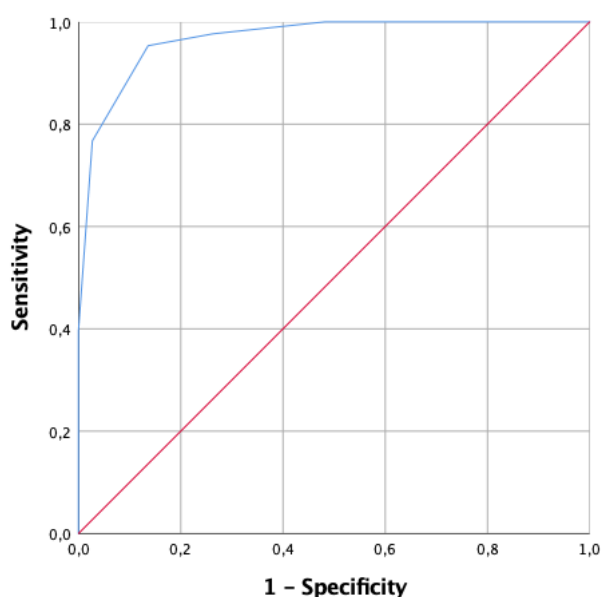


Figura 17: Curva ROC para el FAFI. Elaboración propia.

El análisis entre sexos no encontró diferencia en el punto de corte. El índice de Youden máximo relacionado fue 0,81 y el punto de corte fue 4, por lo que una puntuación $\geq 4/6$ indica hipermovilidad de la articulación del pie y el tobillo. (Tabla 3).

Tabla 3. Sensibilidad y especificidad para ítems del FAFI.

Punto de corte	Sensibilidad (%)	Especificidad (%)	PPV (%)	NPV (%)	Youden's index	AUC	Puntuación métrica
0	1	0	43,88%	100%	0,000	0,966	1,00
1	1	0,27	51,81%	100%	0,273	0,966	1,27
2	1	0,51	61,87%	100%	0,518	0,966	1,52
3	0,97	0,73	74,34%	97,59%	0,713	0,966	1,71
4	0,95	0,86	84,54%	95,96%	0,817	0,966	1,82
5	0,76	0,97	95,65%	84,25%	0,740	0,966	1,74
6	0,39	1	100%	67,9%	0,395	0,966	1,40

Valores predictivos positivos del VPP, valores predictivos negativos del VPN, área AUC bajo la curva.

Fiabilidad intraevaluador e interevaluador

Se encontró una excelente confiabilidad intraevaluador utilizando correlaciones intraclass (ICC2,1 = 0,96, IC del 95% = 0,91 a 0,98, $p < 0,001$), y también se observó una excelente confiabilidad entre evaluadores (ICC2,1 = 0,89, IC del 95% = 0,82 a 0,93, $p < 0,001$).

Efectos de la edad, el sexo y la lateralidad (izquierda versus derecha)

La correlación entre FAFI y edad fue significativa e inversa ($r = -0,25$; $p < 0,01$).

Con respecto al sexo se encontraron diferencias significativas, las niñas fueron más hipermoviles respecto a los niños, $F=8.59$ $p<0.005$.

En cuanto a la lateralidad, no hubo diferencias significativas entre las puntuaciones del lado izquierdo y derecho para FAFI.

Se encontró correlación entre sexo y diferentes grupos de edades con FAFI, mostrando diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,01$). Se mostró una mayor hipermovilidad en los grupos de mujeres más jóvenes. Por otro lado, se mostró menos hipermovilidad en los grupos masculinos de mayor edad (Figura 18).

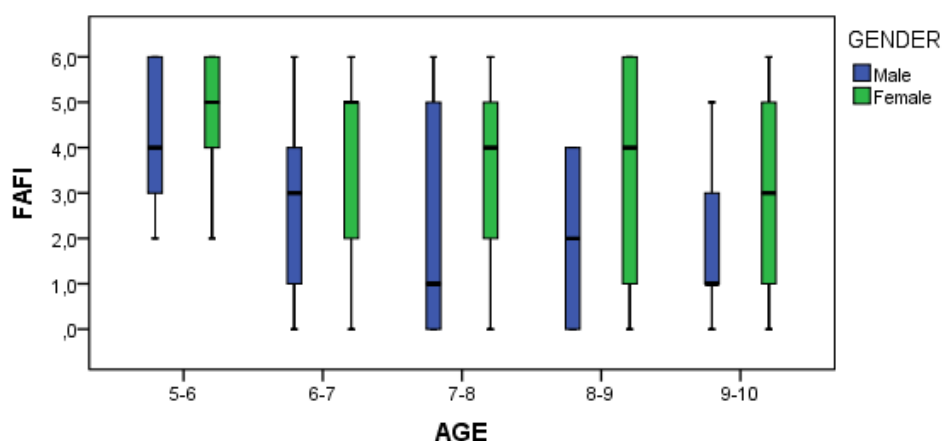


Figura 18. Relación FAFI con edad y sexo. Elaboración propia.

Concordancia porcentual y correlación entre las diferentes pruebas de hipermovilidad articular

Después de obtener una puntuación de corte de 4/6 para la identificación de la hipermovilidad de las articulaciones del pie y el tobillo, las puntuaciones FAFI se compararon y contrastaron tanto con LLAS $\geq 7/12$ como con la BS $\geq 5/9$.

Hubo una concordancia de casos entre FAFI y BS del 53%. En comparación con BS, el 47% de los casos con FAFI $\geq 4/6$ también se identificaron positivamente con BS. Además, el 19% de los casos con BS positivo tuvieron un resultado negativo en la prueba FAFI.

Hubo concordancia de casos entre FAFI y LLAS en 84%. En comparación con LLAS, se encontró que en el 73% de los casos en los que FAFI era $\geq 4/6$, LLAS también era positivo. Además, se encontró un 8% de casos de discordancia, con LLAS positivo, pero FAFI negativo.

Se encontró una correlación significativa entre la puntuación FAFI, LLAS y BS (Tabla 4).

Tabla 4. Correlación entre FAFI, BS y LLAS

		BS	LLAS
FAFI (n=196)	Correlación Pearson	de,437**	,923**
	Valor P	,000	,000

**.. La correlación es significativa al nivel de 0,01 (bilateral).

5.4 DISCUSIÓN

El objetivo principal de este estudio fue el desarrollo de una herramienta para identificar HA específica del pie y tobillo pediátricos, con confiabilidad y consistencia interna demostradas, un punto de corte definido y validez demostrada.

Consideramos que esta nueva herramienta específica es necesaria para obtener el HA de pie y tobillo, basándose en una forma corta del test LLAS, reduciéndolo a 6 ítems de pie y tobillo, al eliminar un ítem, por mala validez de contenido, obteniendo una buena consistencia interna (Anexo 15). El componente de movimiento subastragalina excesivo

fue el que se eliminó el elemento, posiblemente porque era el único elemento que se transportaba en carga relajada. El resto de los ítems del FAFI se midieron con movimientos pasivos, con el paciente en decúbito supino. Por el contrario, el componente de movimiento subastragalino se llevó a cabo evaluando la estabilidad pasiva de huesos y ligamentos y la estabilidad activa de músculos y tendones con el paciente de pie. Teorizamos que esta diferencia en el control motor de la estabilidad subastragalina podría haber generado valores no acordes con el resto de los ítems.

El punto de corte de la BS de 5/9 ha mostrado previamente una sensibilidad del 72 % y una especificidad del 78 % [202]. De manera similar, el punto de corte de LLAS ha mostrado previamente una sensibilidad del 68 % y una especificidad del 86 % [202]. El estudio actual ha determinado $\geq 4/6$ como el punto de corte óptimo de FAFI, con alta sensibilidad (85%) y especificidad (95%). Se investigó el punto de corte para cada sexo y ambos arrojaron un punto de corte de 4. El punto de corte actual se calculó en un grupo étnico europeo y se espera que pueda haber diferencias en otros participantes con grupo étnico diferente, que supuestamente son más hiperlaxos [152,192,203].

Investigación de confiabilidad previa [91], también ha proporcionado datos psicométricos y encontró una confiabilidad entre evaluadores de BS de 0,73 (0,42-0,88) y una confiabilidad entre evaluadores de LLAS de 0,78 (0,41-0,93), lo que indica una excelente confiabilidad entre evaluadores. el mismo estudio [91] obtuvieron valores de confiabilidad intraevaluador para BS (ICC = 0,96-0,98) y LLAS (ICC = 0,90-0,98). En nuestro estudio obtuvimos valores iguales o superiores en la fiabilidad tanto inter como intraobservador.

Esta investigación encontró similitudes con otros estudios cuando se comparó la hipermovilidad con el sexo, la edad y las diferencias entre las extremidades izquierdas y derechas. Encontramos diferencias significativas en cuanto al sexo, siendo las chicas más flexibles que los chicos a nivel de pie y tobillo. Estos resultados concuerdan con estudios previos en comparación con LLAS [204] y BS [149,205,206]. Al comparar los lados izquierdo y derecho no se encontraron diferencias, al igual que en un estudio anterior [204]. El presente estudio encontró que la hipermovilidad articular del pie y tobillo era inversamente proporcional a la edad ($r = -0,23$; $p < 0,01$), esto puede deberse a la relación entre la pérdida de flexibilidad en los tejidos y el envejecimiento de las articulaciones y la disminución de la actividad física [148]. Del mismo modo, otros estudios han encontrado la misma relación en miembros inferiores., [204] y HAG [205–207].

Es poco probable que BS, en la que se examina únicamente el alcance de la rodilla en las extremidades inferiores y signos predominantemente en las extremidades superiores, siempre indique HA de pie y tobillo. En nuestro estudio, en la mitad de los casos en los que FAFI fue positivo, BS no identificó HA. Es importante comprender que para las lesiones de pie y tobillo, BS no debe ser una prueba primaria, como lo respalda un metaanálisis reciente [197], donde se utilizó HAG como variable de HA para la relación con lesiones de miembros inferiores. Investigaciones adicionales también sugieren el uso de pruebas HA ubicadas pertinentes al área del cuerpo [162,163]. Malek

et al. [162] asimismo, han considerado integrar elementos de la región del cuerpo en BS revisada.

En la literatura, LLAS ha sido poco investigado como identificador de HA de miembros inferiores [89,203-205]. Normalmente la prueba elegida para las investigaciones ha sido BS, incluso cuando se han investigado miembros inferiores. Es de gran importancia relacionar las variables de la marcha con pruebas específicas de miembros inferiores. El mismo principio se aplica al evaluar las variables del pie y el tobillo, donde es importante utilizar la prueba más aplicable, es decir, FAFI. En nuestro estudio, en uno de los cuatro casos en los que FAFI fue positivo, LLAS no identificó HA. Los médicos deben tener cuidado al utilizar la puntuación LLAS como herramienta que sólo evalúa la hipermovilidad articular del pie y el tobillo. Dada la distribución de los elementos anatómicos, LLAS debe utilizarse cuando se estudia la hipermovilidad articular general de los miembros inferiores.

En cuanto a HA, la especificidad se relaciona con la capacidad de distinguir con precisión a las personas que no tienen hipermovilidad. Ni BS ni el LLAS parecen suficientemente específicos para diferenciar la hipermovilidad que se localiza en el pie y el tobillo. De ahí la importancia de incorporar el nuevo FAFI, una herramienta demostrablemente fiable y válida, para la identificación de la hipermovilidad de las articulaciones del pie y el tobillo, con un punto de corte, para futuras investigaciones sobre el pie y el tobillo.

Además, los médicos deben valorar la hipermovilidad articular como una condición tanto local como sistémica, y la superposición con la hipotonía [208]. Se ha sugerido que los niños con hipotonía, presentan hiperlaxitud articular en la edad adulta [209]. Clínicamente se observa hipotonía, que se indica mediante la prueba de tracción para sentarse, la postura de rana sentada, la flacidez de la suspensión vertical y el signo de la bufanda. Ninguna prueba ha sido validada para el diagnóstico de hipotonía [209].

Una limitación de este estudio es que solo se incluyeron participantes caucásicos y europeos, dado que se reporta una mayor flexibilidad en las poblaciones asiáticas y africanas [192,193]. Por lo tanto, el punto de corte solo es aplicable para este grupo étnico de la población pediátrica.

Investigaciones futuras que utilicen FAFI deberían considerar tanto un rango de edad más amplio como etnias más diversas.

Nuestra investigación futura comparará FAFI con el índice de postura del pie validado, para el estudio de la hipermovilidad articular del pie y el tobillo y el desarrollo de la postura del pie.

5.5 CONCLUSIONES

Los hallazgos de este estudio demuestran que el nuevo FAFI es un instrumento que tiene buena confiabilidad, sensibilidad y especificidad entre evaluadores para la identificación de la hipermovilidad de las articulaciones del pie y el tobillo en niños.

FAFI debe usarse para evaluar la hipermovilidad articular en el pie y el tobillo para futuras investigaciones, descartando BS, a menos que se use en tándem.

Al investigar la hipermovilidad articular, la prioridad de FAFI se centrará en pie-tobillo, más específicamente que en LLAS.

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

6.LA RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE POSTURA DEL PIE (FPI-6), LAS PRUEBAS VALIDADAS DE PIE Y TOBILLO Y LA HIPERMOVILIDAD: UN ESTUDIO TRANSVERSAL

6.1. INTRODUCCIÓN

El pie plano pediátrico es la afección más frecuente en las clínicas de ortopedia pediátrica [154,210], citado como el 90% de los motivos de consulta [211]. La preocupación de los padres se relaciona con las posibilidades futuras de repercusiones discapacitantes a medida que los niños crecen en su vida adulta [212]. Esta preocupación continúa a pesar de que se ha demostrado que la prevalencia del pie plano disminuye con la edad, es decir, el pie plano entre 2 y 6 años es del 37-59,7%, el pie plano entre 8 y 13 años del 4-19,1% [213–215].

El PPFI se identifica con un arco longitudinal medial normal cuando no se soporta peso, y un arco aplanado cuando se soporta peso, a menudo acompañado de valgo del retropié y supinación del antepié [140]. Está bien documentado que el pie plano es complejo e involucra múltiples articulaciones del pie y del tobillo en todos los planos cardinales del cuerpo. Por lo tanto, las herramientas validadas, como el FPI, que evalúa la morfología del pie en tres dimensiones, son valiosas [92]. El FPI se obtiene de la suma de seis puntuaciones de criterios (-2 a +2) para un valor total escalado de -12 puntos (altamente supinado) a +12 puntos (muy pronado) [90].

Estudios anteriores han concluido que los huesos y los tejidos conectivos (ligamentos, tendones, cápsulas articulares) son los más importantes para mantener el arco medial del pie, con un control neuromuscular simultáneo [216–218]. Sin embargo, también hay evidencia que indica que ni los músculos intrínsecos ni los extrínsecos mantienen el arco del pie [219]. Además, en el estudio de Wenger y Leach [220], la morfología del arco se atribuyó a la tensión de soporte de peso en los tejidos blandos. BS es una prueba de hipermovilidad articular generalizada, considerada "positiva" con puntuaciones de cinco o más en una escala de nueve ítems [180]. Tanto Lin et al [153] como El et al [154] han demostrado una correlación positiva entre la laxitud de las articulaciones y el PPFI, y los niños más flexibles están predispuestos a tener pies más planos. Sin embargo, Tsai v et al [155] no encontró una correlación entre las puntuaciones más altas de BS y las más planas, pero utilizó las huellas en lugar de la postura de los pies para las evaluaciones.

BS no incluye ningún ítem de pie o tobillo, proporcionando poca especificidad sobre la relación entre el pie plano flexible con la hipermovilidad del pie y del tobillo. Este

problema, junto con la falta de consenso para medir la función del pie y el tobillo, continúa limitando los estudios de buena calidad [164].

El nuevo Índice de Flexibilidad de Pie y Tobillo (FAFI) permite evaluar la hipermovilidad del pie y el tobillo, con más especificidad para la flexibilidad del pie y el tobillo [221].

Pruebas adicionales, como, Lunge Test [167], Resting Calcaneal Stance Position (RCSP) [177], y 6 Minute Walk Time (6MWT) [188] también muestran buena confiabilidad.

Nuestra hipótesis es que los niños con puntuaciones más altas en el FPI tendrán un FAFI más alto. Por lo tanto, dada la ausencia en la literatura actual de la relación entre FAFI con pruebas validadas y/o altamente confiables, el objetivo de este estudio fue comparar FAFI con pruebas de pie y tobillo demostrablemente confiables (prueba de Lunge, RCSP, 6MWT).

6.2. MATERIALES AND MÉTODOS

Aprobación ética

Este estudio cumplió íntegramente con la Declaración de Helsinki sobre principios éticos para la investigación médica en seres humanos y fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Católica San Antonio de Murcia [CE112104] (Anexo 10)

Participantes

En este estudio transversal participaron un total de 205 niños de edades comprendidas entre 5 y 10 años. Todas las medidas se desarrollaron entre enero y junio de 2022. Los participantes fueron evaluados en el colegio San Francisco de Asís de Lorca, Murcia (España). Los criterios de inclusión fueron: edad de 5 a 10 años, sin dolor en el pie al momento de la evaluación. Se obtuvo el consentimiento informado de los padres o tutores después de una explicación detallada del propósito y procedimiento del estudio. Los criterios de exclusión fueron: presencia de anomalías congénitas del pie o tobillo, parálisis cerebral, cirugía del pie o de las extremidades inferiores, enfermedades genéticas, neurológicas o musculares.

Procedimiento

Previo a la evaluación de los niños participantes, se obtuvieron datos demográficos de género, edad, peso y altura.

Los niños iban descalzos y vestían ropa deportiva cómoda. Se ordenó a los niños que se relajaran mientras se realizaban mediciones de movilidad articular sin dolor. Dos investigadores pediátricos realizaron todas las medidas en ambos pies de cada niño.

La posición del pie se evaluó mediante el FPI. Se evaluaron los seis criterios FPI (palpación de la cabeza del astrágalo, curvatura supramaleolar e inframaleolar, plano

frontal de la posición del calcáneo, prominencia talonavicular, congruencia del arco medial, abducción/aducción del antepié) y se calificaron en una escala de -2, -1, 0, 1, 2 y luego se suma para obtener la puntuación total (-12, más supinado, a +12, más pronado) para cada pie. La confiabilidad interexaminadores para el FPI en población pediátrica ha alcanzado un valor Kappa ponderado consistente ($K_w = 0,86$), en una muestra de niños de 5 a 16 años [176].

La flexibilidad del pie y del tobillo se evaluó con el FAFI, que ha sido validado en niños. Se utilizó un punto de corte de 4/6 para la positividad de hipermovilidad. Esta prueba tiene una excelente confiabilidad intraevaluador ($ICC = 0,96$) e interevaluador ($ICC = 0,89$).

El RCSP fue evaluado de manera estándar [177], utilizando la bisectriz del calcáneo y la perpendicular del suelo. La confiabilidad intraevaluador para RCSP en la población pediátrica ha mostrado Kappa ponderado ($K_w = 0.61$ a 0.90) [178].

La prueba de Lunge se utilizó para evaluar el rango de movimiento de dorsiflexión del tobillo. El ángulo máximo de avance de la tibia con respecto a la vertical se midió utilizando un inclinómetro digital (Smart Tool™) en contacto con la superficie anterior de la tibia. Un estudio anterior demostró una excelente confiabilidad entre examinadores. ($K_w=0.97$) [167].

6MWT es una prueba funcional fiable y válida para evaluar la tolerancia y la resistencia al ejercicio. La 6MWT se realizó según el protocolo estandarizado [188]. Esta prueba está validada en niños sanos y tiene un coeficiente intraclass (IC 95%) de 0.94 (0.89-0.96) [222].

Análisis estadístico

Todos los análisis estadísticos se realizaron con SPSS versión 29 [IBM SPSS Statistics SPSS Inc, 2022]. Se realizó un análisis exploratorio de datos que incluyó estadísticos descriptivos de edad, sexo e IMC.

La normalidad de la distribución de los datos (Kolmogorov-Smirnov) y la homogeneidad (Levene) en ambas muestras, dirigieron la estadística descriptiva a caracterizar la muestra. Se utilizó una prueba t de muestras pareadas para comparar las puntuaciones FAFI entre los lados izquierdo y derecho.

Se realizó un análisis descriptivo y de frecuencia de las variables y se determinaron las medias y la desviación estándar. Las relaciones entre variables continuas se exploraron con el coeficiente de correlación de Pearson para datos continuos distribuidos normalmente.

Finalmente, se obtuvo un modelo de regresión lineal para evaluar los predictores de hipermovilidad de pie y tobillo, según los componentes de edad, posición del calcáneo, prueba de Lunge, tipo de pie y actividad física. El nivel de significancia se fijó en $p<0,05$.

6.3. RESULTADOS

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

Se incluyó a un total de 196 niños en el análisis final, ya que 9 niños fueron excluidos por dolor durante la prueba. La edad promedio de los participantes fue de 7,6 (5 a 10) años; El 60,2% eran niñas y el 40,8% eran niños. El índice de masa corporal (IMC) medio fue de 17,8 kg/cm².

En cuanto a la lateralidad, no hubo diferencias significativas entre las puntuaciones del lado izquierdo y derecho para FAFI.

La Tabla 5 muestra estadísticas descriptivas de hipermovilidad de pie y tobillo, postura del pie, rango de dorsiflexión del tobillo y actividad física.

Tabla 5. Estadística descriptiva de la muestra de estudio.

N=196	Media	DE
FAFI	3,15	2,11
FPI	3,80	2,77
Lunge	50,32	6,59
RCSP	4,42	2,54
6MWT	463,39	55,52

DE: Desviación estándar

Se realizaron análisis bivariados para determinar las relaciones entre los componentes de hipermovilidad y postura del pie, rango de dorsiflexión del tobillo, actividad física y edad. Destaca la correlación RCSP/FAFI de 0,334 ($p < 0,001$) (Tabla 6).

Tabla 6. Matriz de correlación entre ítems de las variables del estudio.

N=196		EDAD	FPI	Lunge	RCSP	6MWT
FAFI	Correlación de Pearson	0,254**	0,252**	0,253**	0,334**	-0,240**
	Valor p	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001

El análisis post hoc arrojó una potencia de 0,95 para este modelo de cinco predictores. La regresión lineal multivariable del componente de laxitud según FAFI presentó un valor de R² de 24,9%. No hubo colinealidad en el modelo (factor de inflación de varianza máxima (VIF) de 1,65 y tolerancia mínima de 0,6) y los residuos fueron independientes

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

(Durbin-Watson, 1,92), utilizando los parámetros edad, prueba de Lunge, RCSP, FPI y 6MWT (Tabla 7).

[Dada la equivalencia de lateralidad, se utiliza el lado derecho para el análisis]

Tabla 7. Modelo de regresión multivariado para la medición de la hipermovilidad mediante FAFI.

	B	SE	b	p	95% CI	
					Lower	Upper
FPI	0,061	0,066	0,075	0,358	-0,069	0,191
Lunge	0,074	0,023	0,215	0,002	0,027	0,120
RCSP	0,260	0,072	0,292	0,000	0,118	0,403
6MWT	-0,007	0,003	-0,170	0,009	-0,012	-0,002
Edad	-0,231	0,109	-0,148	0,036	-0,446	-0,015

6.4. DISCUSIÓN

El principal objetivo de este estudio fue comparar la herramienta de hipermovilidad de pie y tobillo (FAFI) recientemente validada con la edad, y también con pruebas validadas y/o altamente confiables, a saber, FPI, RCSP, prueba de Lunge y 6MWT.

Este estudio coincidió con varias investigaciones previas al encontrar una relación entre la edad y la hipermovilidad. Los estudios donde se utilizó BS como medida de hipermovilidad encontraron que existía una correlación inversa con la edad [206,223,224], también tuvo los mismos resultados en comparación con la prueba LLAS [168], por lo que se confirma que a medida que el niño crece disminuye la hipermovilidad articular general de los miembros inferiores.

Encontramos una relación inversamente proporcional entre la edad y el FAFI ($r = -0,254$; $p < 0,01$), de modo que una mayor edad se asocia con una menor hipermovilidad del pie y el tobillo.

El PPI es común en los niños y una preocupación común para los padres. Muchos estudios ilustran que un arco plano es común en los niños al nacer, y que un arco normal se desarrolla durante la primera década de la vida [225]. El PPI es multifactorial, con factores asociados que incluyen tobillo equino y talón valgo [226] o hipermovilidad [153].

Es de destacar que los métodos para determinar y categorizar la postura del pie difieren mucho entre los estudios. Investigaciones donde los criterios de inclusión fueron arcos aplanados y la hiperlaxitud se midió con BS. Observaron que los pies más planos se asociaban con mayor hipermovilidad [153,154]. Sin embargo, Tsai et al [155], utilizando

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

el SAI como método de inclusión para pie plano, no encontró relación con la hiperlaxitud. Se ha establecido la asociación entre BS y el FPI, encontrándose que los pies más planos/pronados ocurrían con una hipermovilidad articular más generalizada [143,156–159]. Hawke et al[143] ha sido el único que relaciona el tipo de pie con la hipermovilidad de los miembros inferiores, mediante LLAS, y no encontró asociación.

Esta investigación difiere de estudios anteriores al utilizar el FPI validado para evaluar la postura del pie en lugar de la subjetividad del tipo de arco o la expansión indistinta del tejido blando con SAI. El FPI da importancia a la tridimensionalidad del pie, frente a las medidas basadas en la huella.

De igual forma, la especificidad del test FAFI es diferente a BS, el cual tiene predominio en miembro superior y ausencia de elementos del miembro inferior por debajo de la rodilla. Nuestros resultados encontraron relación entre pies más pronados y mayor hipermovilidad de pies y tobillos ($r = 0,252$; $p < 0,00$). También encontramos una asociación entre la hipermovilidad del pie y el tobillo con RCSP, donde los pies más valgos mostraron mayor flexibilidad ($r = 0,334$; $p < 0,00$).

Nuestros resultados muestran una relación entre la hipermovilidad del pie y del tobillo y la prueba de Lunge ($r=0,253$; $p < 0,00$). Esto contrasta con Hawke et al [143] donde la prueba de Lunge se asoció con LLAS ($r=0,42$; $p < 0,02$) y BS ($r=0,34$; $p < 0,03$). Dado que LLAS tiene un predominio de signos de pie y tobillo versus rodilla y cadera, utilizamos el punto de corte 7 de 12 puntuación LLAS, y se encontró una fuerte relación entre FAFI y LLAS ($r=0,923$; $p < 0,01$).

El 6MWT ha surgido como una prueba submáxima común en entornos clínicos, simple y fácil de usar, donde se requieren habilidades mínimas de coordinación. La 6MWT se ha estudiado en diversas patologías infantiles como las enfermedades respiratorias crónicas [227], parálisis cerebral [228], pie equino [229] enfermedades neuromusculares como la distrofia muscular de Charcot-Marie-Tooth y Duchenne [230] para la evaluación de la alteración de la marcha. Nuestros resultados mostraron una relación entre la hipermovilidad y el 6MWT. Los niños con mayor hipermovilidad en las articulaciones del pie y del tobillo caminaron menos distancias.

Este estudio tiene puntos fuertes, FAFI es una herramienta validada en niños y, por lo tanto, se utiliza con preferencia a otras pruebas de hipermovilidad para el pie y el tobillo. En este estudio hemos podido comprobar la relación que tiene la flexibilidad con el tipo de pie, y planteamos la hipótesis de que, normalmente, la reducción del PPI, se debe a una reducción de la hipermovilidad articular del pie y del tobillo.

El estudio también tiene limitaciones, al ser transversal y, por tanto, inadecuado para hacer suposiciones sobre correlaciones causales entre los factores analizados. La muestra de conveniencia incluyó predominantemente a niños caucásicos, todos asintomáticos y de edades comprendidas entre 5 y 10 años.

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

Nuestra investigación futura comparará FAFI con la fuerza en inversión, eversión, flexión dorsal y flexión plantar del tobillo para relacionar la fuerza del tobillo y la hipermovilidad.

6.5. CONCLUSIÓN

Los hallazgos de este estudio sugieren que los niños con mayor hipermovilidad de pies y tobillos tienen una postura de pie más pronada según el FPI, un mayor rango de dorsiflexión del tobillo usando FAFI y una menor capacidad física para caminar. La posible relación entre la postura del pie y la flexibilidad requiere más investigación para fortalecer esta teoría.

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

7.LA POSICIÓN DE REPOSO DEL CALCÁNEO (RCSP): UN PERRO VIEJO, CON NUEVOS TRUCOS

7.1. INTRODUCCIÓN

El tema del pie plano en niños es un tema debatido desde hace mucho tiempo, con incertidumbre y confusión respecto a los pies considerados normales o anormales, cuándo tratarlos o simplemente observarlos, cuál es la mejor manera de tratarlos sin cirugía y cuándo y cómo intervenir quirúrgicamente [81,231,232]. Al analizar a un niño con PPI, la principal diferenciación acordada es entre las formas fisiológica y patológica. A pesar de esto, no existe una definición universalmente aceptada de PPI en niños, aunque las características consistentes incluyen un talón en valgo y un arco longitudinal medial aplanado del pie [49].

En esencia, existen dos tipos de PPI: flexibles y rígidos. Se espera que los niños tengan un pie plano flexible, pero es una preocupación común para los padres. Se caracteriza por la reducción del arco medial con carga de peso [233]. Se ha demostrado que la mayoría de los bebés desarrollan un arco normal en los años preescolares [48]. En los bebés, muchos huesos del pie se están osificando, los ligamentos son muy flexibles, el tejido graso reside a través del arco del pie sin carga de peso y el control de los músculos aún está en proceso de neuromaduración [234,235]. Los pies planos rígidos son poco comunes y afectan a menos del 1% de la población [112]. Los pies planos rígidos se caracterizan por tener un arco medial del pie bajo/plano inmutable tanto en estados con y sin carga de peso [233].

Los PPFI suelen ser fisiológicos e indoloros [236]. Los pies plano en niños ocurre y puede ser sintomática de manera variable, con potencial para problemas a largo plazo, como disfunción del tendón tibial posterior y dolor en las extremidades inferiores [237]. Estos casos también pueden estar asociados con anomalías del pie, como juanetes y dedos en martillo [238].

Por lo tanto, si bien la mayoría de las PPFI indican una fisiología normal, es importante identificar la minoría de casos patológicos, de modo que se pueda implementar una intervención para evitar más dolor y limitaciones funcionales [232]. Generalmente, las medidas conservadoras preceden a los abordajes quirúrgicos, siendo los pilares las OP y el calzado. En los pies plano poco frecuentes que no se tratan de forma conservadora, se consideran las intervenciones quirúrgicas, como suele ser el caso del pie plano rígido [49,64].

La evaluación del pie PPI puede implicar varios métodos, como rayos X, medidas estáticas de la posición del pie y análisis de la huella [239]. Como ocurre con todas las

medidas útiles, las utilizadas para evaluar el pie plano deben ser consistentes y válidas para la caracterización desde una posición estándar del pie.

La diversidad de enfoques de prueba ha dado lugar a una amplia variación en la incidencia informada del PPI, que oscila entre el 0,6 y el 77,9% [121]. Una revisión sistemática que abordó las mediciones del PPI [239], informó que la mayor parte de la información que influye en los médicos para evaluar y tratar el pie plano se basa en medidas no fundamentadas. Por el contrario, el FPI es demostrablemente confiable y válido como herramienta establecida para evaluar la posición del pie [92]. El FPI se desarrolló hace más de 20 años; esta herramienta identifica la morfología en los 3 ejes cardinales del pie ya que su definición justifica el PPI, diferenciándose de pruebas como los índices de huella [90]. El uso del FPI permite a los médicos realizar un seguimiento de los cambios desde el inicio a medida que los niños crecen o a medida que avanza una presentación. El FPI es una medida integral de 6 ítems, que evalúa la tridimensionalidad del pie mediante palpación y observación. El FPI permite una clasificación fácil y no invasiva en cinco categorías de posturas del pie, que van desde muy supinado hasta muy pronado (conocido como pie plano) [90]. Gijon-Nogueron et al [92] recopiló datos normativos pediátricos a gran escala y encontró que una puntuación total del FPI $\geq +7$ se considera pie plano [240].

El ángulo de posición de reposo del calcáneo (RCSP) es una medida clínica única, de un solo plano, que continúa en uso generalizado, para evaluar la faceta del talón en valgo del pie plano [95] han correlacionado FPI con RCSP para simplificar la detección clínica del PPI utilizando una única medida.

Existe una mayor conciencia por parte de una variedad de profesionales médicos y de la comunidad sobre la salud en general y la importancia de caminar [232], y las preocupaciones pediátricas sobre los pies presentes para muchos profesionales médicos y de salud. Como concepto, RCSP es una medida accesible de detección para el PPI, simple y rápida de aplicar en el entorno clínico, cuando el médico o pediatra tiene poco tiempo y conocimientos no específicos sobre los pies.

Los objetivos de este estudio fueron establecer si el RCSP puede alinearse con el FPI validado en la detección clínica del PPI; relacionar los puntos de corte del RCSP con el peso corporal; y aprovechar una medida clínica simple, no invasiva y de bajo costo para que la utilicen una variedad de profesionales médicos y de salud para detectar el PPI, cuando no están especializados en pies ni en la marcha pediátrica.

7.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Aprobación ética

Este estudio se llevó a cabo respetando plenamente los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki sobre la investigación médica con participantes humanos. Además, recibió la aprobación del Comité de Ética, concretamente del Comité de Ética de la Universidad Católica San Antonio de Murcia bajo la referencia CE112104 (Anexo

3). Se obtuvo la aprobación ética de los padres de los niños que firmaron un consentimiento informado (Anexo 11).

Participantes

En este estudio transversal, participaron en la investigación un total de 205 niños, de edades comprendidas entre 5 y 10 años. Las mediciones se produjeron durante 2022, concretamente de enero a junio en el Colegio San Francisco de Asís de Lorca, Murcia (España).

Los criterios de inclusión fueron niños de 5 a 10 años, que no experimentaran dolor en el pie durante la evaluación y permiso informado de los padres o tutores. Los criterios de exclusión fueron pie plano rígido, anomalías estructurales congénitas del pie o del tobillo, parálisis cerebral, cirugía del pie o de la extremidad inferior y enfermedades genéticas, neurológicas o musculares.

Procedimiento

Se recogieron datos demográficos, entre ellos: sexo, edad, peso y altura. Los niños vestían ropa deportiva cómoda, concretamente pantalones cortos, y estaban descalzos durante las mediciones. Se pidió a los niños que se relajaran y se realizaron todas las mediciones de la movilidad articular sin causar ninguna molestia ni dolor.

El índice de masa corporal (IMC) se calculó a partir de la altura y el peso de los participantes ($IMC = \text{peso (kg)} / \text{altura(m)}^2$). Dados los participantes españoles, la clasificación del IMC según Orbegozo [241] se utilizó para agrupar a los participantes según el IMC y la edad. Esta categorización establece cuatro rangos diferentes de la siguiente manera: bajo peso, IMC por debajo del percentil 3 ($P < 3$); peso normal, el IMC está entre los percentiles 3 y 90 ($P: 3-90$); sobrepeso, el IMC se encuentra entre los percentiles 90 y 97 ($P: 90-97$); y obesidad, percentil superior al 97 ($P > 97$).

La tabla 8 muestra los niños clasificados por grupo de IMC y por edad.

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

Tabla 8. Estadística descriptiva de la muestra del estudio

			FPI (puntos)			RCSP (ángulo)		
Edad	n		Media (DE)		Valor P	Media (SD)		Valor P
	Masculino	Femenino	Masculino	Femenino		Masculino	Femenino	
5	14	17	4,5 (2,5)	3,2 (3,2)	.220	4,4 (2,4)	4,3 (2,6)	,11
6	25	23	4 (3)	3,9 (2,8)	.922	5,8 (1,8)	3,8 (2,1)	,758
7	16	18	5,3 (2,6)	4,1 (3,2)	.268	4,4 (2,7)	4,1 (3,1)	,514
8	8	25	3 (2,6)	2,8 (2,5)	.879	4,6 (2,3)	4 (3)	,126
9	12	33	3,4(3,5)	4,4 (2,4)	.273	4 (2,1)	5 (2,5)	,279
10	3	2	4 (3,6)	6 (1,4)	.361	3,6 (2,3)	4 (0)	,668
Total	78	118	4,1 (2,9)	3,8 (2,8)	.205	4,4 (2,4)	4,3 (2,6)	,181

Foot Posture Index FPI, Rest Calcaneal Stance Position RCSP.

Dos investigadores experimentados realizaron todas las mediciones en ambos pies de cada niño.

La posición del pie se midió con el FPI, con los participantes descalzos, de pie relajados y los examinadores mediante observación visual y manipulación manual. Se evaluaron los seis criterios (palpación de la cabeza del astrágalo, curvatura supramaleolar e inframaleolar, posición del calcáneo en el plano frontal, prominencia talonavicular, congruencia del arco medial y abducción/aducción del antepié). Cada criterio se escaló de + 2 (pronación) a - 2 (supinación), donde 0 representa una posición del punto medio. Las puntuaciones de los criterios se sumaron a una puntuación total, que clasificó las categorías de postura del pie, desde muy supinado hasta muy pronado[90].

Se ha demostrado que la confiabilidad interobservador del FPI en niños de 5 a 16 años es muy alta, con un coeficiente Kappa ponderado consistente de 0,86 [176], además de una excelente confiabilidad intraobservador (ICC = 0,93 - 0,94) [172].

El RCSP se evaluó utilizando el método estándar [177]. Se tomaron medidas de ambos pies de cada participante. En cada proceso, el participante estaba acostado boca abajo con el tobillo flexionado a 90°, de modo que el talón estuviera alineado perpendicularmente con la pierna en el plano sagital. A continuación, se seccionó la cara posterior del calcáneo de ambos pies con un marcador fino. El ángulo de la línea de

bisección del calcáneo y la perpendicular al suelo se midió en grados. La confiabilidad intraobservador para el RCSP en la población pediátrica mostró un buen valor kappa ponderado ($Kw = 0,61$ y $0,90$) [178].

Análisis estadístico

Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando SPSS versión 29 (IBM SPSS Statistics SPSS Inc., 2022). Se realizó un análisis exploratorio de los datos, que abarcó estadísticas descriptivas para FPI, RCSP, edad, sexo e IMC. Normalidad de la distribución de los datos (Kolmogorov –Smirnov) y homogeneidad de datos (Levene) encontraron que los datos de la muestra no estaban distribuidos normalmente, dirigiendo la estadística descriptiva a caracterizar el FPI y el RCSP. En consecuencia, se determinó el coeficiente de correlación de Spearman para las variables continuas y se utilizó la prueba de chi-cuadrado. Se utiliza para variables cualitativas para preservar la independencia de los datos [242], basándose en la fuerte correlación entre las puntuaciones del FPI para el pie izquierdo y derecho en estudios anteriores [92], el análisis estadístico abordó el pie izquierdo, elegido al azar [243].

Se utilizó una prueba t de muestras pareadas para comparar el FPI y el RCSP entre los lados izquierdo y derecho.

Se utilizó la técnica de la curva ROC para determinar qué tan efectivo es el RCSP para diferenciar entre grupos. Esta técnica reveló la capacidad de RCSP para detectar correctamente casos positivos y negativos en varios niveles, además de evaluar el rendimiento general utilizando el área bajo la curva (AUC) [199]. El punto de corte representa la discriminación más fuerte entre niños con PPI y pies rectos. Se utilizó una puntuación $FPI \geq + 7$ como "estándar de oro" para el análisis. El nivel de significación estadística se fijó en $p < 0,05$.

El análisis de confiabilidad se evaluó calculando las correlaciones intraclase (ICC) para RCSP. Se calculó el ICC en ensayos de medidas repetidas del mismo sujeto para cada uno de los dos examinadores (intraevaluadores) en 25 niños y entre los dos examinadores (interevaluadores) en 25 niños.

7.3. RESULTADOS

En el análisis final se consideraron un total de 196 niños, de los cuales nueve fueron excluidos debido al dolor durante el examen. La edad promedio de los participantes fue de 7,6 años (rango, 5 a 10 años); El 60,2% eran niñas y el 40,8% eran niños. El índice de masa corporal (IMC) promedio fue de $17,8 \text{ kg/cm}^2$, sin diferencias estadísticamente significativas por sexo ($p = 0,40$) o edad ($p = 0,01$).

En cuanto a la lateralidad, no hubo diferencias significativas entre los lados izquierdo y derecho ni para el FPI ni para el RCSP.

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

En general, los valores del FPI fueron ligeramente superiores en los niños en comparación con las niñas: 4,1 (2,9) frente a 3,8 (2,8) ($p = 0,205$). El RCSP fue ligeramente mayor en los niños que en las niñas: 4,4 (2,2) grados frente a 4,3 (2,6) grados ($p = 0,181$). Las estadísticas descriptivas del FPI y RCSP se presentan en la Tabla 8.

Se realizaron análisis bivariados para determinar las relaciones entre el FPI y el RCSP, en ambos pies. La correlación entre FPI y RCSP fue significativa ($R = 0,63$; $p < 0,01$).

Identificación del punto de corte y valores predictivos

La detección de PPFI mediante RCSP, utilizó un punto de corte determinado. Todos los niños fueron evaluados por examinadores expertos para el FPI (AUC 0,81, $p < 0,001$). El punto de la curva ROC más cercano a ambos ejes determina la puntuación adecuada de sensibilidad y especificidad. La puntuación de discriminación en la curva ROC (6 puntos/grados) muestra que el modelo se puede utilizar para identificar PPI a través de RCSP (Figura 19). El análisis por género no encontró diferencias en el punto de corte. El índice de Youden máximo relacionado fue 0,48 y el punto de corte fue 6, una puntuación ≥ 6 detectó PPFI mediante el RCSP (Tabla 9).

El análisis por género no encontró diferencias en el punto de corte. El índice de Youden máximo relacionado fue 0,48 y el punto de corte fue 6, una puntuación ≥ 6 detectó PPFI mediante el RCSP (Tabla 10).

Tabla 9: Sensibilidad y especificidad para RCSP

Punto de corte	Sensibilidad (%)	Especificidad (%)	PPV (%)	NPV (%)	Youden's index	AUC	Puntuación métrica
6	67,57%	80,5%	44,64%	91,43%	0,481	0,818	1,48
7	54,05%	91,82%	60,61%	89,57%	0,459	0,818	1,46

Valores predictivos positivos del VPP, valores predictivos negativos del VPN, área AUC bajo la curva.

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

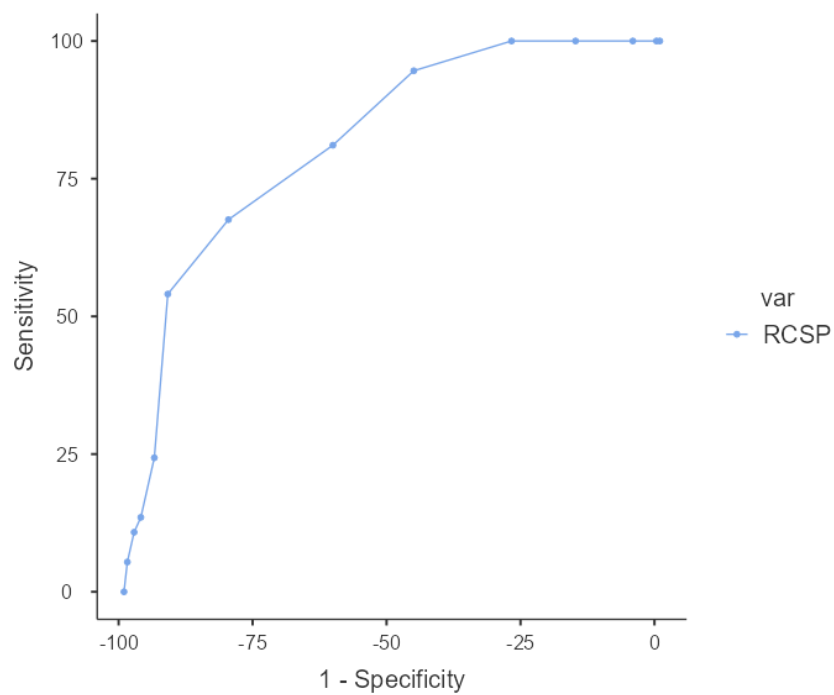


Figura 19. Curva ROC para el RCSP. Curva ROC: combinada. Elaboración propia.

RCSP: Rest Calcaneal Stance Position

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

Tabla 10. Relación entre variables individuales y la aparición de pie plano identificado mediante los métodos de diagnóstico FPI o RCSP

Variable	FPI	RCSP
Edad		
5 (n = 31)	(25,8%)	(41,9%)
6 (n = 48)	(16,7%)	(25%)
7 (n = 34)	(23,5%)	(29,4%)
8 (n = 33)	(24,2%)	(19,2%)
9 (n = 45)	(15,6%)	(20%)
10 (n = 5)	(20%)	(0%)
Total (n=196)	(18,9%)	(29,6%)
Sex		
Masculino (n = 116)	(20,5%)	(29,5%)
Femenino (n = 92)	(17,8%)	(28%)
IMC		
Infrapeso ($P_{<3}$) (n=0)	(0%)	(0%)
Normal (P_{3-90}) (n=145)	(19,3%)	(18%)
Sobrepeso (P_{90-97}) (n=19)	(15,8%)	(31,6%)
Obesidad ($P_{>97}$) (n=32)	(28,1%)	

Foot Posture Index FPI, Rest Calcaneal Stance Position RCSP.

Nuestros resultados para el IMC y el índice cintura-cadera (ICC) encontraron una mayoría de participantes con peso normal (74%), divididos en pies rectos (71,7%) y PPFI (28,3%). El porcentaje de sobrepeso fue del 9,7%, que se subdividió en pies rectos (68,4%) y PPFI (31,6%). Los estudiantes obesos fueron el 16,3%, divididos en pies rectos (65,6%) y PPFI (34,4%).

En general, no hubo diferencias significativas en la prevalencia de PPFI entre aquellos con diferentes clasificaciones de peso ($\chi^2 = 50,8$; $p = 0,776$). Sin embargo, los participantes de 8 años sí arrojaron diferencias significativas entre los grupos ($\chi^2 = 10,43$; $p = 0,005$) (Tabla 11).

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

Tabla 11. Relación entre el IMC y la postura del pie.

Age			percentil			Total
			Normal n (%)	Sobrepeso n (%)	Obesidad n (%)	
5.00	RCSP	Normal	14 (77,8)	3 (16,7)	1 (5,6)	18
		PPI	11 (84,6)	0 (0)	2 (15,4)	13
	Total		25 (80,6)	3 (9,7)	3 (9,7)	31
6.00	RCSP	Normal	28 (77,8)	2 (5,6)	6 (16,7)	36
		PPI	9 (75)	1 (8,3)	2 (16,7)	12
	Total		37 (77,1)	3 (6,3)	8 (16,7)	48
7.00	RCSP	Normal	18 (75)	1 (8,3)	5 (16,7)	24
		PPI	8 (80)	1 (10)	1 (10)	10
	Total		26 (76,5)	2 (5,9)	6 (17,6)	34
8.00	RCSP	Normal	22 (81,5)	3 (11,1)	2 (7,4)	27
		PPI	1 (16,7)	2 (33,3)	3 (50)	6
	Total		23 (69,7)	5 (15,2)	5 (15,2)	33
9.00	RCSP	Normal	20 (71,4)	4 (14,3)	4 (14,3)	28
		PPI	12 (70,6)	2 (11,8)	3 (17,6)	17
	Total		32 (71,1)	6 (13,3)	7 (15,6)	45
10.00	RCSP	Normal	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0
		PPI	2 (40)	0 (0)	3 (60)	5
	Total		2 (40)	0 (0)	3 (60)	5

Se encontró una buena confiabilidad intraevaluador para el RCSP; ICC (ICC = 0,81–0,87) y confiabilidad entre evaluadores (ICC = 0,74).

Foot Posture Index FPI, Rest Calcaneal Stance Position RCSP.

7.4. DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio fue determinar la relación entre FPI y RCSP, en un esfuerzo por proporcionar un cribado sencillo del PPFI, utilizando una herramienta accesible, rápida y de bajo costo para personas sin experiencia en las complejidades de los pies pediátricos.

El PPI continúa generando debate con poco consenso sobre la evaluación y las consecuencias de esta presentación clínica común [240]. Dada esta disensión y confusión, es esencial que la evaluación clínica del PPI sea consistente y utilice medidas validadas. Es fundamental adoptar un enfoque basado en evidencia, lo que puede resultar problemático dada la escasez de certeza científica de muchos métodos de evaluación [239].

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

Una revisión sistemática sobre el diagnóstico del PPFI [239], analizó 20 medidas de la postura del pie, incluidas radiografías simples, índices de huella, medidas estáticas y presión plantar. De estos, sólo el índice de Chippaux-Smirak, el SAI y el FPI tuvieron una validez moderada, con una alta confiabilidad intra e interobservador. Por lo tanto, el FPI es relevante tanto para los investigadores como para los médicos para ayudar a comprender mejor el PPI.

Estudios más recientes [92,94] han utilizado el FPI para determinar datos normativos para la postura del pie pediátrico, en niños de 3 a 15 años. Este conjunto de datos a gran escala indicó que una puntuación FPI de + 6 se considera un punto de corte superior normal del pie pediátrico [240].

Se ha encontrado una alta correlación para RCSP y los ángulos de valgo del talón medidos a partir de radiografías [244]. Junto con la ausencia de radiación, RCSP puede convertirse en una herramienta accesible, segura y confiable para evaluar el valgo del talón como un componente del PPFI. El uso de RCSP en lugar de FPI proporciona un mecanismo de detección de PPFI más simple, como se propuso recientemente [95]. Investigaciones anteriores en niños de 8 a 13 años demostraron una relación moderada entre RCSP y FPI, con un kappa entre 0,70 y 0,71 [95]. Por el contrario, nuestros datos arrojaron una relación similar, aunque menor ($r = 0,63$; $p < 0,01$), en niños de 5 a 10 años.

Esta investigación se distingue de estudios anteriores al utilizar el FPI validado para evaluar la postura del pie, en lugar de confiar en la subjetividad del tipo de arco o en la expansión indistinta del tejido blando capturada por los índices de huella de Staheli o Chippaux-Smirak. El FPI prioriza la tridimensionalidad del pie, frente a la huella.

El FPI, que está validado en niños según el tipo de pie, se utilizó como punto de corte "estándar de oro" para la detección del PPFI, utilizando el RCSP. El presente estudio determinó una puntuación RCSP de 6 (grados) como el punto de corte óptimo con una sensibilidad moderada (67%) y una especificidad alta (85%). El valor de corte se analizó por género y se mantuvo el valor de 6. Por lo tanto, se aplica el mismo valor de corte en ambos sexos y en ambos pies. Estudios anteriores han utilizado 4 (grados) como punto de corte para el RCSP en niños [95,160,161], sin evaluar la validez discriminante de esta prueba. Nuestro estudio, tras calcular la curva ROC, discernió 6 (grados) como el punto de corte óptimo para la clasificación del PPFI en niños. Esto tiene una aplicación inmediata para futuras investigaciones, así como para uso en salud pública.

La heterogeneidad en la detección del PPFI crea confusión sobre la prevalencia. Se ha calculado una prevalencia del 27% en el uso de huellas para el diagnóstico del PPFI entre los 6 y los 10 años de edad [245]. Al emplear el FPI, [95] se encontró una prevalencia del 26 al 29% entre los 8 y 13 años (utilizando el FPI + 6 para la inclusión) y una prevalencia del 23 al 24% del RCSP (punto de corte de 4) [95]. Nuestro estudio encontró una menor prevalencia de PPFI con FPI (18,9%) y una mayor prevalencia con RCSP (29,6%). En particular, el punto de corte de nuestro estudio para RCSP (6 grados)

se obtuvo evaluando la especificidad y sensibilidad de la prueba y utilizando el FPI como "estándar de oro".

En nuestro estudio, relacionamos el IMC con el FPI y con el RCSP y encontramos que la masa corporal no parece ejercer una influencia significativa sobre la postura estática del pie. Durante muchos años, la relación entre la obesidad y la PPI representó un desafío debido a la heterogeneidad de las herramientas de clasificación de la PPI [136,245]. Varios estudios han informado que el sobrepeso y la obesidad afectan la estructura del pie en los niños, como el ancho de la parte media del pie [138], y la supuesta relación con el PPI. Sin embargo, al comparar la postura del pie utilizando el FPI, en lugar de una huella limitada, los autores no encontraron una relación clara entre el IMC y la postura del pie [142].

La principal limitación de este estudio es la edad de los participantes, ya que solo se incluyeron niños de entre 5 y 10 años, omitiendo aquellos de hasta 14 años cuando el desarrollo óseo del pie es completo. Otra limitación fue el origen étnico de los participantes (en su mayoría caucásicos); por lo tanto, no podemos extrapolar estos hallazgos a poblaciones de otras etnias. Además, hubo un pequeño número de participantes de 10 años.

Se considera importante realizar investigaciones en el resto de edades para comparar el punto de corte. Por otro lado, también deberían realizarse estudios en otro tipo de poblaciones.

La implicación clínica que surge de este estudio es que muchos médicos que enfrentan problemas del PPFI pueden utilizar el RCSP como una buena herramienta de detección, que es fácil de usar, rápida, de bajo costo y confiable. Sabiendo que el RCSP es un sustituto razonable del FPI, se aprovecha esta sencilla herramienta para uso en salud pública, como parte del triaje pediátrico básico de las extremidades inferiores, utilizando el 3Q [246].

La atención indebida al PPI, que suelen ser flexibles e indoloras, puede causar preocupaciones innecesarias, dar lugar a un tratamiento injustificado y desperdiciar recursos sanitarios [239].

7.5. CONCLUSION

Habiendo obtenido el punto de corte RCSP de 6 (grados), con una sensibilidad del 67% y una especificidad del 85%, utilizando el FPI como 'estándar de oro', hemos identificado un nuevo uso importante para una herramienta antigua, para facilitar el cribado del PPFI. El RCSP es especialmente útil para profesionales de la salud que no están especializados en pies o marcha pediátrica.

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

8.LIMITACIONES Y PROSPECTIVA

8.1 LIMITACIONES DE LA TESIS DOCTORAL

La principal limitación de esta tesis doctoral es la edad de los participantes, ya que solo se incluyeron niños de entre 5 y 10 años, omitiendo aquellos de hasta 14 años cuando el desarrollo óseo del pie es completo. Otra limitación fue el origen étnico de los participantes (en su mayoría caucásicos); por lo tanto, no podemos extrapolar estos hallazgos a poblaciones de otras etnias. Además, hubo un pequeño número de participantes de 10 años. Por lo tanto, el punto de corte solo es aplicable para este grupo étnico y este rango de edad de la población pediátrica.

El estudio también tiene limitaciones, al ser transversal y, por tanto, inadecuado para hacer suposiciones sobre correlaciones causales entre los factores analizados.

8.2 PROSPECTIVA DE LA TESIS DOCTORAL

Se considera importante realizar investigaciones en el resto de edades para comparar el punto de corte. Por otro lado, también deberían realizarse estudios en otro tipo de poblaciones.

Realizar estudios cohorte que sigan a individuos desde la infancia hasta la adolescencia sería una excelente manera de comprender la evolución de la hipermovilidad de pie y tobillo. Estos estudios longitudinales permitirían observar cómo cambian los valores de FAFI a lo largo del tiempo y cómo se relacionan con variable morfofuncionales de pie y tobillo.

Otra investigación futura podría enfocarse en comparar FAFI con la fuerza en inversión, en eversión, en flexión dorsal y en flexión plantar del tobillo, para relacionar la fuerza del tobillo y la hipermovilidad.

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

9.CONCLUSIONES

1 Establecer unos valores de normalidad para el RCSP en la población infantil, a través del FPI como *gold standard*.

Con respecto al RCSP, habiendo obtenido el punto de corte en 6 (grados), con una sensibilidad del 67% y una especificidad del 85%, utilizando el FPI como *gold standard*, se ha identificado un nuevo uso importante para una herramienta antigua, para facilitar el cribado del PPFI. El RCSP es especialmente útil para profesionales de la salud que no están especializados en pies o marcha pediátrica.

2 Desarrollar y validar una prueba de hipermovilidad específica de pie y tobillo llamada Foot and Ankle Flexibility Index (FAFI).

Se creo una nueva herramienta específica para evaluar la hipermovilidad articular en el pie y el tobillo llamada FAFI, basándose en una short-form de LLAS, reduciéndolo a 6 ítems de pie y tobillo, al eliminar un ítem, por mala validez de contenido, obteniendo una buena consistencia interna.

A continuación, se determinó con $\geq 4/6$ como el punto de corte óptimo de FAFI, con alta sensibilidad (85%) y especificidad (95%). Se investigó el punto de corte para cada sexo y ambos arrojaron un punto de corte de 4.

3 Comprobar la relación que tiene FAFI con pruebas de hipermovilidad como son BS y LLAS.

Hubo una concordancia de casos entre FAFI y BS del 53%. En comparación con BS, el 47% de los casos con FAFI $\geq 4/6$ también se identificaron positivamente con BS. Además, el 19% de los casos con BS positivo tuvieron un resultado negativo en la prueba FAFI.

Hubo concordancia de casos entre FAFI y LLAS en 84%. En comparación con LLAS, se encontró que en el 73% de los casos en los que FAFI era $\geq 4/6$, LLAS también era positivo. Además, se encontró un 8% de casos de discordancia, con LLAS positivo pero FAFI negativo.

4 Relacionar FAFI con pruebas morfofuncionales de pie y tobillo y actividad física.

Los hallazgos de este estudio sugieren que los niños con mayor hipermovilidad de pies y tobillos tienen una postura de pie más pronada según el FPI, un mayor rango de dorsiflexión del tobillo usando FAFI y una menor capacidad física para caminar.

5 Relacionar FAFI con edad y sexo.

La correlación entre FAFI y edad fue significativa e inversa ($r = -0,25$; $p < 0,01$). Con respecto al sexo se encontraron diferencias significativas, las niñas fueron más hipermoviles respecto a los niños, $F=8.59$ $p<0.005$.

6 Obtener valores psicométricos de FAFI.

Se encontró una excelente confiabilidad intraevaluador utilizando correlaciones intraclass ($ICC_{2,1} = 0,96$, IC del 95% = 0,91 a 0,98, $p < 0,001$), y también se observó una excelente confiabilidad entre evaluadores ($ICC_{2,1} = 0,89$, IC del 95% = 0,82 a 0,93, $p < 0,001$).

7 Calcular la relación entre RCSP y obesidad.

Se ha relacionado el IMC con el FPI y con el RCSP y se ha encontrado que la masa corporal no parece ejercer una influencia significativa sobre la postura estática del pie.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Martínez-Frías, M.L. Actualización de conocimientos sobre formación de los gametos. Procesos de meiosis y fecundación. *Med. Fam. Semer.* **2010**, 36, 216–220, doi:10.1016/J.SEMERG.2009.12.013.
2. O’Rahilly, R.; Müller, F. Developmental stages in human embryos: revised and new measurements. *Cells. Tissues. Organs* **2010**, 192, 73–84, doi:10.1159/000289817.
3. Yamada, S.; Hill, M.; Takakuwa, T.; Yamada, S.; Hill, M.; Takakuwa, T. Human Embryology. *New Discov. Embryol.* **2015**, doi:10.5772/61453.
4. Kelikian, A.S.; Sarrafian, S.K. Sarrafian’s anatomy of the foot and ankle: descriptive, topographic, functional.
5. Tachdjian, M.O. The child’s foot. **1985**, 737.
6. Shepherd, R.B. Physiotherapy in paediatrics. **1995**, 420.
7. Bareither, D. Prenatal development of the foot and ankle. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* **1995**, 85, 753–764, doi:10.7547/87507315-85-12-753.
8. Reyes Fierro, A. Secuencia morfogénica de los miembros en el embrión humano: el sistema epitelio-mesenquimal. **2016**.
9. Sadler, T.W. Embriología Médica. Lagman. **2015**, 11, 422.
10. Moore, K.L.; Persaud, T.V.N. Embriología clínica: el desarrollo del ser humano. **2004**.
11. Hamilton, W.; Boyd, J.D.; Mossman, H.W. Human embryology: prenatal development of form and function. **1945**.
12. Moore, K.L.; Persaud, T.V.N.; Torchia, M.G. Embriología clínica. **2016**.
13. Straus, W.L.. J. Growth of the Human Foot and Its Evolutionary Significance 19, 93–134, No.
14. Niklasson, A.; Albertsson-Wikland, K. Continuous growth reference from 24th week of gestation to 24 months by gender. *BMC Pediatr.* **2008**, 8, 1–14, doi:10.1186/1471-2431-8-8/FIGURES/4.
15. Gray, D.J.; Gardner, E.; O’Rahilly, R. The prenatal development of the skeleton and joints of the human hand. *Am. J. Anat.* **1957**, 101, 169–223, doi:10.1002/AJA.1001010202.
16. Bardeen, C.R.; Lewis, W.H. I. external forx. *Russell J. Bertrand Russell Arch.* **1901**.
17. Anderson, M.; Blais, M.; Green, W.T. Growth of the normal foot during childhood and adolescence; length of the foot and interrelations of foot, stature, and lower extremity as seen in serial records of children between 1-18 years of age. *Am. J. Phys. Anthropol.* **1956**, 14, 287–308, doi:10.1002/AJPA.1330140221.
18. Bosch, K.; Gerß, J.; Rosenbaum, D. Development of healthy children’s feet--nine-year results of a longitudinal investigation of plantar loading patterns. *Gait Posture* **2010**, 32, 564–571, doi:10.1016/J.GAITPOST.2010.08.003.
19. Bertsch, C.; Unger, H.; Winkelmann, W.; Rosenbaum, D. Evaluation of early walking patterns from plantar pressure distribution measurements. First year results of 42 children. *Gait Posture* **2004**, 19, 235–242, doi:10.1016/S0966-6362(03)00064-X.
20. Reverte Coma, J.M. Antropología forense: restos óseos e identificación. *Semin. sobre la diligencia inspección Ocul. identificación y levantamiento del cadáver*, 1991, ISBN 84-7787-225-2, págs. 147-158 **1991**, 147–158.
21. Ximena Ortega, F. Displasia del desarrollo de la cadera. *Rev. Médica Clínica Las Condes* **2013**, 24, 37–43, doi:10.1016/S0716-8640(13)70127-5.
22. Cusick, B.D. Progressive casting and splinting for lower extremity deformities in children with neuromotor dysfunction. **1990**, 410.

23. Davids, J.; Benfanti, P.; Blackhurst, D.; Allen, B. Assessment of femoral anteversion in children with cerebral palsy: accuracy of the trochanteric prominence angle test. *J. Pediatr. Orthop.* **2002**, *22*, 173–178, doi:10.1097/00004694-200203000-00007.
24. Hsieh, H.C.; Wang, T.M.; Kuo, K.N.; Huang, S.C.; Wu, K.W. Guided Growth Improves Coxa Valga and Hip Subluxation in Children with Cerebral Palsy. *Clin. Orthop. Relat. Res.* **2019**, *477*, 2568–2576, doi:10.1097/CORR.0000000000000903.
25. Cristián Padilla, C.; Cristián Quezada, J.; Nelson Flores, N.; Yorky Melipillán, A.; Tamara Ramírez, P. Lesiones y variantes normales de la rodilla pediátrica. *Rev. Chil. Radiol.* **2016**, *22*, 133–139, doi:10.1016/J.RCHIRA.2016.08.003.
26. Heath, C.H.; Staheli, L.T. Normal limits of knee angle in white children- genu varum and genu valgum. *J. Pediatr. Orthop.* **1993**, *13*, 259–262.
27. The Pocket Podiatry Guide: Paediatrics. *Pocket Pod. Guid. Paediatr.* **2010**, doi:10.1016/C2009-0-38159-3.
28. Beeson, P. Frontal plane configuration of the knee in children. *Foot* **1999**, *9*, 18–26, doi:10.1054/FOOT.1998.0487.
29. Urrutia, E.E. Volumen 3, Número 2 Abr. **2007**.
30. Kristiansen, L.P.; Gunderson, R.B.; Steen, H.; Reikerås, O. The normal development of tibial torsion. *Skeletal Radiol.* **2001**, *30*, 519–522, doi:10.1007/S002560100388/METRICS.
31. Caffey's Pediatric Diagnostic Imaging, 11th ed. 2-Vol. Set. *AJNR Am. J. Neuroradiol.* **2008**, *29*, e63, doi:10.3174/AJNR.A1024.
32. Ishikawa, S.N. Conditions of the calcaneus in skeletally immature patients. *Foot Ankle Clin.* **2005**, *10*, 503–513, doi:10.1016/J.FCL.2005.03.001.
33. Robledo Acinas, M.; Sánchez Sánchez, J. Estimación de edad en niños. Estudio radiológico del tobillo. *Gac. Int. Ciencias Forenses* **2013**, *Nº7*, 41–45.
34. Pelaz Esteban, M.; Gallardo Agromayor, E.; Gómez Dermit, V.; Landeras Álvaro, R.; Villaespesa Díaz Gallego, C.P. Radiología 0-ESCAFOIDES TARSIANO: VALORACIÓN RADIOLÓGICA DEL RN AL ADULTO. **2016**, *58*, 1206.
35. Gómez-martín, B. Revista española de podología. **2023**.
36. Infante García, M. del M.; Franch Manrique, M.; Albiol Ferrer, J.M. Cronología de osificación del pie: Radiogoniometría. *El Peu, ISSN 0212-7709, Vol. 24, Nº. 3 (julio-septiembre), 2004, págs. 148-158* **2004**, *24*, 148–158.
37. Scheuer, L.; Black, S.; Scheuer, L.; Black, S. CHAPTER ELEVEN – The Lower Limb. *Dev. Juv. Osteol.* **2000**, 374–467.
38. Manter, J.T. Movements of the subtalar and transverse tarsal joints. *Anat. Rec.* **1941**, *80*, 397–410, doi:10.1002/AR.1090800402.
39. Lehman, W.B. Drennan's The Child's Foot and Ankle. *JAMA* **2010**, *304*, 1617, doi:10.1001/JAMA.2010.1471.
40. Nester, C.J.; Findlow, A.H. Clinical and Experimental Models of the Midtarsal Joint: Proposed Terms of Reference and Associated Terminology. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* **2006**, *96*, 24–31, doi:10.7547/0960024.
41. Cusick, B.D. Progressive casting and splinting for lower extremity deformities in children with neuromotor dysfunction. **1990**, 410.
42. Valmassy, R.L. Clinical biomechanics of the lower extremities. **1996**, 510.
43. Ho, C.S.; Lin, C.J.; Chou, Y.L.; Su, F.C.; Lin, S.C. Foot progression angle and ankle joint complex in preschool children. *Clin. Biomech. (Bristol, Avon)* **2000**, *15*, 271–277, doi:10.1016/S0268-0033(99)00068-6.
44. Hallemans, A.; Dhanis, L.; De Clercq, D.; Aerts, P. Changes in mechanical control of movement during the first 5 months of independent walking: a longitudinal study. *J. Mot. Behav.* **2007**, *39*, 227–238, doi:10.3200/JMBR.39.3.227-240.

45. Payne, V.G. Human Motor Development : A Lifespan Approach. *Hum. Mot. Dev.* **2017**, doi:10.4324/9781315213040.
46. Collado Vázquez, S. Desarrollo de la marcha. *Biociencias* **2005**, 3, 202.
47. Wall, E.J. Practical primary pediatric orthopedics. *Nurs. Clin. North Am.* **2000**, 35, 95–113, doi:10.1016/S0029-6465(22)02445-8.
48. Volpon, J.B. Footprint analysis during the growth period. *J. Pediatr. Orthop.* **1994**, 14, 83–85, doi:10.1097/01241398-199401000-00017.
49. Rome, K.; Ashford, R.L.; Evans, A. Non-surgical interventions for paediatric pes planus. *Cochrane Database Syst. Rev.* **2010**, doi:10.1002/14651858.cd006311.pub2.
50. Krul, M.; van der Wouden, J.C.; Schellevis, F.G.; van Suijlekom-Smit, L.W.A.; Koes, B.W. Foot problems in children presented to the family physician: a comparison between 1987 and 2001. *Fam. Pract.* **2009**, 26, 174–179, doi:10.1093/FAMPRA/CMP018.
51. Kothari, A.; Stebbins, J.; Zavatsky, A.B.; Theologis, T. Health-related quality of life in children with flexible flatfeet: a cross-sectional study. *J. Child. Orthop.* **2014**, 8, 489, doi:10.1007/S11832-014-0621-0.
52. Kosashvili, Y.; Fridman, T.; Backstein, D.; Safir, O.; Ziv, Y.B. The correlation between pes planus and anterior knee or intermittent low back pain. *Foot ankle Int.* **2008**, 29, 910–913, doi:10.3113/FAI.2008.0910.
53. Garrow, A.P.; Silman, A.J.; Macfarlane, G.J. The cheshire foot pain and disability survey: A population survey assessing prevalence and associations. *Pain* **2004**, 110, 378–384, doi:10.1016/j.pain.2004.04.019.
54. Nguyen, U.S.D.T.; Hillstrom, H.J.; Li, W.; Dufour, A.B.; Kiel, D.P.; Procter-Gray, E.; Gagnon, M.M.; Hannan, M.T. Factors Associated with Hallux Valgus in a Population-Based Study of Older Women and Men: the MOBILIZE Boston Study. *Osteoarthritis Cartilage* **2010**, 18, 41, doi:10.1016/J.JOCA.2009.07.008.
55. Huson, A. Joints and movements of the foot: Terminology and concepts. *Acta Morphol. Neerl. Scand.* **1987**, 25, 117–130.
56. Green, D.R.; Carol, A. Planal dominance. *J. Am. Podiatry Assoc.* **1984**, 74, 98–103, doi:10.7547/87507315-74-2-98.
57. Mosca, V.S. Flexible flatfoot in children and adolescents. *J. Child. Orthop.* **2010**, 4, 107, doi:10.1007/S11832-010-0239-9.
58. Borrelli, A.H. PLANAR DOMINANCE: A Major Determinant in Flatfoot Stabilization. *Clin. Podiatr. Med. Surg.* **1999**, 16, 407–421, doi:10.1016/S0891-8422(23)01074-1.
59. Harris, E.J. The natural history and pathophysiology of flexible flatfoot. *Clin. Podiatr. Med. Surg.* **2010**, 27, 1–23, doi:10.1016/J.CPM.2009.09.002.
60. Nemeth, B. The diagnosis and management of common childhood orthopedic disorders. *Curr. Probl. Pediatr. Adolesc. Health Care* **2011**, 41, 2–28, doi:10.1016/J.CPPEDS.2010.10.004.
61. Mickle, K.J.; Steele, J.R.; Munro, B.J. The feet of overweight and obese young children: are they flat or fat? *Obesity (Silver Spring)*. **2006**, 14, 1949–1953, doi:10.1038/OBY.2006.227.
62. Napolitano, C.; Walsh, S.; Mahoney, L. Factores de riesgo que pueden modificar negativamente la historia natural del pie pronador pediátrico. *Clínicas en Podol.* **2000**.
63. Harris, E.J.; Vanore, J. V.; Thomas, J.L.; Kravitz, S.R.; Mendelson, S.A.; Mendicino, R.W.; Silvani, S.H.; Gassen, S.C. Diagnosis and treatment of pediatric flatfoot. *J. Foot Ankle Surg.* **2004**, 43, 341–373, doi:10.1053/j.jfas.2004.09.013.
64. Evans, A.M.; Rome, K.; Carroll, M.; Hawke, F. Foot orthoses for treating paediatric flat feet. *Cochrane Database Syst. Rev.* **2022**, 2022,

- doi:10.1002/14651858.CD006311.PUB3.
65. Rodriguez, N.; Choung, D.J.; Dobbs, M.B. Rigid pediatric pes planovalgus: conservative and surgical treatment options. *Clin. Podiatr. Med. Surg.* **2010**, *27*, 79–92, doi:10.1016/J.CPM.2009.08.004.
 66. Luhmann, S.J.; Rich, M.M.; Schoenecker, P.L. Painful idiopathic rigid flatfoot in children and adolescents. *Foot ankle Int.* **2000**, *21*, 59–66, doi:10.1177/107110070002100111.
 67. Yan, G. Sen; Yang, Z.; Lu, M.; Zhang, J.L.; Zhu, Z.H.; Guo, Y. Relationship between symptoms and weight-bearing radiographic parameters of idiopathic flexible flatfoot in children. *Chin. Med. J. (Engl)*. **2013**, *126*, 2029–2033, doi:10.3760/CMA.J.ISSN.0366-6999.20130485.
 68. Salinas-Torres, V.M.; Salinas-Torres, R.A.; Carranza-García, L.E.; Herrera-Orozco, J.; Tristán-Rodríguez, J.L. Prevalence and Clinical Factors Associated With Pes Planus Among Children and Adults: A Population-Based Synthesis and Systematic Review. *J. Foot Ankle Surg.* **2023**, *62*, 899–903, doi:10.1053/j.jfas.2023.05.007.
 69. Gould, N.; Moreland, M.; Alvarez, R.; Trevino, S.; Fenwick, J. Development of the Child's Arch. <http://dx.doi.org/10.1177/107110078900900506> **1989**, *9*, 241–245, doi:10.1177/107110078900900506.
 70. Gómez-Aracena, J.; Fernández-Crehuet Antonio García-Rodríguez, J.; Martín-Jiménez, F.; Carnero-Varo, M. Pies planos flexibles en niños: ¿un problema real? **1999**, doi:10.1542/peds.103.6.e84.
 71. Pfeiffer, M.; Kotz, R.; Ledl, T.; Hauser, G.; Sluga, M. Prevalence of flat foot in preschool-aged children. *Pediatrics* **2006**, *118*, 634–639, doi:10.1542/PEDS.2005-2126.
 72. Uden, H.; Scharfbillig, R.; Causby, R. The typically developing paediatric foot: how flat should it be? A systematic review. *J. Foot Ankle Res.* **2017**, *10*, doi:10.1186/S13047-017-0218-1.
 73. Cho, Y.; Park, J.W.; Nam, K. The relationship between foot posture index and resting calcaneal stance position in elementary school students. *Gait Posture* **2019**, *74*, 142–147, doi:10.1016/J.GAITPOST.2019.09.003.
 74. Evans, A.M.; Nicholson, H.; Zakarias, N. The paediatric flat foot proforma (p-FFP): improved and abridged following a reproducibility study. *J. Foot Ankle Res.* **2009**, *2*, 25, doi:10.1186/1757-1146-2-25.
 75. Cavanagh, P.R.; Rodgers, M.M. The arch index: a useful measure from footprints. *J. Biomech.* **1987**, *20*, 547–551, doi:10.1016/0021-9290(87)90255-7.
 76. Gilmour, J.C.; Burns, Y. The measurement of the medial longitudinal arch in children. *Foot ankle Int.* **2001**, *22*, 493–498, doi:10.1177/107110070102200607.
 77. Hawes, M.R.; Nachbauer, W.; Sovak, D.; Nigg, B.M. Footprint parameters as a measure of arch height. *Foot Ankle* **1992**, *13*, 22–26, doi:10.1177/107110079201300104.
 78. Kanatli, U.; Yetkin, H.; Cila, E. Footprint and radiographic analysis of the feet. *J. Pediatr. Orthop.* **2001**, *21*, 225–228, doi:10.1097/01241398-200103000-00018.
 79. Forriol, F.; Pascual, J. Footprint Analysis Between Three and Seventeen Years of Age. *Foot Ankle Int.* **1990**, *11*, 101–104, doi:10.1177/107110079001100208.
 80. Mickle, K.J.; Steele, J.R.; Munro, B.J. Is the foot structure of preschool children moderated by gender? *J. Pediatr. Orthop.* **2008**, *28*, 593–596, doi:10.1097/BPO.0B013E318173F782.
 81. Labovitz, J.M. The algorithmic approach to pediatric flexible pes planovalgus. *Clin. Podiatr. Med. Surg.* **2006**, *23*, 57–76, doi:10.1016/j.cpm.2005.10.001.
 82. Yeagerman, S.E.; Cross, M.B.; Positano, R.; Doyle, S.M. Evaluation and treatment of symptomatic pes planus. *Curr. Opin. Pediatr.* **2011**, *23*, 60–67,

- doi:10.1097/MOP.0B013E32834230B2.
83. Angin, S.; Crofts, G.; Mickle, K.J.; Nester, C.J. Ultrasound evaluation of foot muscles and plantar fascia in pes planus. *Gait Posture* **2014**, *40*, 48–52, doi:10.1016/J.GAITPOST.2014.02.008.
 84. Shin, Y.; Ahn, S.Y.; Bok, S.K. Relationships Between Relative Ankle Muscle Ratios, Severity of Symptoms, and Radiologic Parameters in Adolescent Patients With Symptomatic Flexible Flat Feet. *Ann. Rehabil. Med.* **2021**, *45*, 123, doi:10.5535/ARM.20174.
 85. Redmond, A.C.; Crosbie, J.; Ouvrier, R.A. Development and validation of a novel rating system for scoring standing foot posture: the Foot Posture Index. *Clin. Biomech. (Bristol, Avon)* **2006**, *21*, 89–98, doi:10.1016/J.CLINBIOMECH.2005.08.002.
 86. Evans, A.M.; Copper, A.W.; Scharfbillig, R.W.; Scutter, S.D.; Williams, M.T. Reliability of the foot posture index and traditional measures of foot position. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* **2003**, *93*, 203–213, doi:10.7547/87507315-93-3-203.
 87. Scharfbillig, R.; Evans, A.M.; Copper, A.W.; Williams, M.; Scutter, S.; Iasiello, H.; Redmond, A. Criterion validation of four criteria of the foot posture index. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* **2004**, *94*, 31–38, doi:10.7547/87507315-94-1-31.
 88. Thomson, C.E. An investigation into the reliability of the valgus index and its validity as a clinical measurement. *Foot* **1994**, *4*, 191–197, doi:10.1016/0958-2592(94)90051-5.
 89. Keenan, A.M.; Redmond, A.C.; Horton, M.; Conaghan, P.G.; Tennant, A. The Foot Posture Index: Rasch analysis of a novel, foot-specific outcome measure. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **2007**, *88*, 88–93, doi:10.1016/J.APMR.2006.10.005.
 90. Redmond, A.C.; Crane, Y.Z.; Menz, H.B. Normative values for the Foot Posture Index. *J. Foot Ankle Res.* **2008**, *1*, doi:10.1186/1757-1146-1-6.
 91. Evans, A.M.; Rome, K.; Peet, L. The foot posture index, ankle lunge test, Beighton scale and the lower limb assessment score in healthy children: A reliability study. *J. Foot Ankle Res.* **2012**, *5*, 1, doi:10.1186/1757-1146-5-1.
 92. Gijon-Nogueron, G.; Montes-Alguacil, J.; Alfageme-Garcia, P.; Cervera-Marin, J.A.; Morales-Asencio, J.M.; Martinez-Nova, A. Establishing normative foot posture index values for the paediatric population: A cross-sectional study. *J. Foot Ankle Res.* **2016**, *9*, 1, doi:10.1186/s13047-016-0156-3.
 93. Martínez-Nova, A.; Gijón-Noguerón, G.; Alfageme-García, P.; Montes-Alguacil, J.; Evans, A.M. Foot posture development in children aged 5 to 11 years: A three-year prospective study. *Gait Posture* **2018**, *62*, 280–284, doi:10.1016/J.GAITPOST.2018.03.032.
 94. Gijon-Nogueron, G.; Martinez-Nova, A.; Alfageme-Garcia, P.; Montes-Alguacil, J.; Evans, A.M. International normative data for paediatric foot posture assessment: a cross-sectional investigation. *BMJ Open* **2019**, *9*, doi:10.1136/BMJOPEN-2018-023341.
 95. Cho, Y.; Park, J.W.; Nam, K. The relationship between foot posture index and resting calcaneal stance position in elementary school students. *Gait Posture* **2019**, *74*, 142–147, doi:10.1016/J.GAITPOST.2019.09.003.
 96. Cowan, D.N.; Jones, B.H.; Robinson, J.R. Foot morphologic characteristics and risk of exercise-related injury. *Arch. Fam. Med.* **1993**, *2*, 773–777, doi:10.1001/ARCHFAMI.2.7.773.
 97. Saltzman, C.L.; Nawoczenski, D.A.; Talbot, K.D. Measurement of the medial longitudinal arch. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **1995**, *76*, 45–49, doi:10.1016/S0003-9993(95)80041-7.
 98. Mall, N.A.; Hardaker, W.M.; Nunley, J.A.; Queen, R.M. The reliability and reproducibility of foot type measurements using a mirrored foot photo box and

- digital photography compared to caliper measurements. *J. Biomech.* **2007**, 40, 1171–1176, doi:10.1016/j.jbiomech.2006.04.021.
99. Gilmour, J.C.; Burns, Y. The measurement of the medial longitudinal arch in children. *Foot ankle Int.* **2001**, 22, 493–498, doi:10.1177/107110070102200607.
 100. Sobel, E.; Levitz, S.J.; Caselli, M.A.; Tran, M.; Lepore, F.; Lilja, E.; Sinaie, M.; Wain, E. Reevaluation of the relaxed calcaneal stance position. Reliability and normal values in children and adults. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* **1999**, 89, 258–264, doi:10.7547/87507315-89-5-258.
 101. Banwell, H.A.; Paris, M.E.; Mackintosh, S.; Williams, C.M. Paediatric flexible flat foot: how are we measuring it and are we getting it right? A systematic review. *J. Foot Ankle Res.* **2018**, 11, doi:10.1186/S13047-018-0264-3.
 102. Evans, A.M. The flat-footed child -- to treat or not to treat: what is the clinician to do? *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* **2008**, 98, 386–393, doi:10.7547/0980386.
 103. Evans, A.M.; Nicholson, H.; Zakarias, N. The paediatric flat foot proforma (p-FFP): Improved and abridged following a reproducibility study. *J. Foot Ankle Res.* **2009**, 2, 1–8, doi:10.1186/1757-1146-2-25/FIGURES/3.
 104. Cranage, S.; Banwell, H.; Williams, C.M. Gait and Lower Limb Observation of Paediatrics (GALLOP): development of a consensus based paediatric podiatry and physiotherapy standardised recording proforma. *J. Foot Ankle Res.* **2016**, 9, doi:10.1186/S13047-016-0139-4.
 105. Cappello, T.; Song, K.M. Determining treatment of flatfeet in children. *Curr. Opin. Pediatr.* **1998**, 10, 77–81, doi:10.1097/00008480-199802000-00016.
 106. Connors, J.F.; Wernick, E.; Lowy, L.J.; Falcone, J.; Volpe, R.G. Guidelines for evaluation and management of five common podopediatric conditions. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* **1998**, 88, 206–222, doi:10.7547/87507315-88-5-206.
 107. Klaue, K. Planovalgus and cavovarus deformity of the hind foot. A functional approach to management. *J. Bone Joint Surg. Br.* **1997**, 79, 892–895, doi:10.1302/0301-620X.79B6.7195.
 108. Halabchi, F.; Mazaheri, R.; Mirshahi, M.; Abbasian, L. Pediatric Flexible Flatfoot; Clinical Aspects and Algorithmic Approach. *Iran. J. Pediatr.* **2013**, 23, 247.
 109. Whitford, D.; Esterman, A. A randomized controlled trial of two types of in-shoe orthoses in children with flexible excess pronation of the feet. *Foot ankle Int.* **2007**, 28, 715–723, doi:10.3113/FAI.2007.0715.
 110. Powell, M.; Seid, M.; Szer, I.S. Efficacy of custom foot orthotics in improving pain and functional status in children with juvenile idiopathic arthritis: a randomized trial. *J. Rheumatol.* **2005**, 32.
 111. Wegener, C.; Hunt, A.E.; Vanwanseele, B.; Burns, J.; Smith, R.M. Effect of children's shoes on gait: a systematic review and meta-analysis. *J. Foot Ankle Res.* **2011**, 4, doi:10.1186/1757-1146-4-3.
 112. Pfeiffer, M.; Kotz, R.; Ledl, T.; Hauser, G.; Sluga, M. Prevalence of Flat Foot in Preschool-Aged Children. *Pediatrics* **2006**, 118, 634–639, doi:10.1542/PEDS.2005-2126.
 113. Evans, A.; Menz, H.; ... J.B.-... J. of C.; 2015, undefined Foot care and people with intellectual disability. *search.ebscohost.com* A Evans, H Menz, J Bourke, N Nikopoulos, J Ferrari, M Wilkinson, S Morrison, J Burn. *J. Child Heal. Hum. Dev.* **2015**•*search.ebscohost.com*.
 114. Evans, A.M.; Rome, K. A cochrane review of the evidence for non-surgical interventions for flexible pediatric flat feet. *Eur. J. Phys. Rehabil. Med.* **2011**, 47, 69–89.
 115. Böhler, A. [Insole management of pediatric flatfoot]. *Orthopade* **1986**, 15, 205–211.
 116. Kuhn, D.R.; Shibley, N.J.; Austin, W.M.; Yochum, T.R. Radiographic evaluation of

- weight-bearing orthotics and their effect on flexible pes planus. *J. Manipulative Physiol. Ther.* **1999**, 22, 221–226, doi:10.1016/S0161-4754(99)70048-5.
117. Sinha, S.; Song, H.R. yon.; Kim, H.J. u.; Park, M.S. i.; Yoon, Y.C. hoo.; Song, S.H. eo. Medial arch orthosis for paediatric flatfoot. *J. Orthop. Surg. (Hong Kong)* **2013**, 21, 37–43, doi:10.1177/230949901302100111.
 118. Dars, S.; Uden, H.; Banwell, H.A.; Kumar, S. The effectiveness of non-surgical intervention (Foot Orthoses) for paediatric flexible pes planus: A systematic review: Update. *PLoS One* **2018**, 13, doi:10.1371/JOURNAL.PONE.0193060.
 119. Dars, S.; Uden, H.; Kumar, S.; Banwell, H.A. When, why and how foot orthoses (FOs) should be prescribed for children with flexible pes planus: A Delphi survey of podiatrists. *PeerJ* **2018**, 2018, e4667, doi:10.7717/PEERJ.4667/SUPP-5.
 120. Roye Jr, D.P.; Raimondo, R.A. Surgical Treatment Of The Child's and Adolescent's Flexible Flatfoot. *Clin. Podiatr. Med. Surg.* **2000**, 17, 515–530, doi:10.1016/S0891-8422(23)01143-6.
 121. Halabchi, F.; Mazaheri, R.; Mirshahi, M.; Abbasian, L. Pediatric Flexible Flatfoot; Clinical Aspects and Algorithmic Approach. *Iran. J. Pediatr.* **2013**, 23, 247.
 122. Blitz, N.M.; Stabile, R.J.; Giorgini, R.J.; DiDomenico, L.A. Flexible pediatric and adolescent pes planovalgus: conservative and surgical treatment options. *Clin. Podiatr. Med. Surg.* **2010**, 27, 59–77, doi:10.1016/J.CPM.2009.09.001.
 123. Velez, Z.; Giorgini, R.; Velez, Z. Combined technique for surgical correction of pediatric severe flexible flatfoot. *J. Foot Ankle Surg.* **1995**, 34, 183–194, doi:10.1016/S1067-2516(09)80043-4.
 124. Staheli, L.T. Planovalgus foot deformity. Current status. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* **1999**, 89, 94–99, doi:10.7547/87507315-89-2-94.
 125. Turriago, C.A.; Arbeláez, M.F.; Becerra, L.C. Response to Dr. Belthur's letter to the editor on the article: "Talonavicular joint arthrodesis for the treatment of pes planus valgus in older children and adolescents with cerebral palsy." *J. Child. Orthop.* **2009**, 3, 501–502, doi:10.1007/S11832-009-0213-6.
 126. Metcalfe, S.A.; Bowling, F.L.; Reeves, N.D. Subtalar joint arthroereisis in the management of pediatric flexible flatfoot: a critical review of the literature. *Foot ankle Int.* **2011**, 32, 1127–1139, doi:10.3113/FAI.2011.1127.
 127. Vescio, A.; Testa, G.; Caldaci, A.; Sapienza, M.; Pavone, V. Catania flatfoot score: A diagnostic-therapeutic evaluation tool in children. *World J. Orthop.* **2023**, 14, 755–762, doi:10.5312/WJO.V14.I10.755.
 128. OMS Proyectos de recomendaciones para la prevención y el tratamiento de la obesidad a lo largo del curso de la vida, incluidas las posibles metas. *Doc. debate la OMS* **2018**, 22.
 129. Almendro-Delia, M.; García-Aranda, V.L.; Hidalgo-Urbano, R. Obesidad infantojuvenil. Un terreno abonado para la confusión. *Rev. Española Cardiol.* **2011**, 64, 541–542, doi:10.1016/J.RECESP.2011.02.011.
 130. Ogden, C.L.; Carroll, M.D.; Kit, B.K.; Flegal, K.M. Prevalence of childhood and adult obesity in the United States, 2011-2012. *JAMA* **2014**, 311, 806–814, doi:10.1001/JAMA.2014.732.
 131. Neef, M.; Weise, S.; Adler, M.; Sergeev, E.; Dittrich, K.; Körner, A.; Kiess, W. Health impact in children and adolescents. *Best Pract. Res. Clin. Endocrinol. Metab.* **2013**, 27, 229–238, doi:10.1016/J.BEEM.2013.02.007.
 132. Carrascosa, A.; Fernández, J.M.; Fernández, C.; Ferrández, A.; López-Siguero, J.P.; Sánchez, E.; Sobradillo, B.; Yeste, Y.D. Spanish growth studies 2008. New anthropometric standards. *Endocrinol. Nutr.* **2008**, 55, 484–506, doi:10.1016/S1575-0922(08)75845-5.
 133. Sánchez-Cruz, J.J.; Jiménez-Moleón, J.J.; Fernández-Quesada, F.; Sánchez, M.J. Prevalencia de obesidad infantil y juvenil en España en 2012. *Rev. Española*

- Cardiol.* **2013**, 66, 371–376, doi:10.1016/J.RECESP.2012.10.016.
134. Chang, J.H.; Wang, S.H.; Kuo, C.L.; Shen, H.C.; Hong, Y.W.; Lin, L.C. Prevalence of flexible flatfoot in Taiwanese school-aged children in relation to obesity, gender, and age. *Eur. J. Pediatr.* **2010**, 169, 447–452, doi:10.1007/S00431-009-1050-9.
 135. Daneshmandi, H.; Rahnema, N.; Mehdizadeh, R. Relationship between obesity and flatfoot in high-school boys and girls. *Int. J. Sport. Sci. Eng.* **2009**, 03, 43–049.
 136. Dowling, A.M.; Steele, J.R.; Baur, L.A. Does obesity influence foot structure and plantar pressure patterns in prepubescent children? *Int. J. Obes.* 2001 256 **2001**, 25, 845–852, doi:10.1038/sj.ijo.0801598.
 137. Chen, J.P.; Chung, M.J.; Wang, M.J. Flatfoot prevalence and foot dimensions of 5- to 13-year-old children in Taiwan. *Foot ankle Int.* **2009**, 30, 326–332, doi:10.3113/FAI.2009.0326.
 138. Escalona-Marfil, C.; Prats-Puig, A.; Ortas-Deunosajut, X.; Font-Lladó, R.; Ruiz-Tarrazo, X.; Evans, A.M. Children's foot parameters and basic anthropometry — do arch height and midfoot width change? *Eur. J. Pediatr.* **2023**, 182, 777, doi:10.1007/S00431-022-04715-1.
 139. Jiménez-Ormeño, E.; Aguado, X.; Delgado-Abellán, L.; Mecerreyes, L.; Alegre, L.M. Foot morphology in normal-weight, overweight, and obese schoolchildren. *Eur. J. Pediatr.* **2013**, 172, 645–652, doi:10.1007/S00431-013-1944-4.
 140. Evans, A.M. The paediatric flat foot and general anthropometry in 140 Australian school children aged 7 - 10 years. *J. Foot Ankle Res.* **2011**, 4, doi:10.1186/1757-1146-4-12.
 141. Evans, A.M.; Karimi, L. The relationship between paediatric foot posture and body mass index: do heavier children really have flatter feet? *J. Foot Ankle Res.* **2015**, 8, doi:10.1186/S13047-015-0101-X.
 142. Gijon-Nogueron, G.; Montes-Alguacil, J.; Martinez-Nova, A.; Alfageme-Garcia, P.; Cervera-Marin, J.A.; Morales-Asencio, J.M. Overweight, obesity and foot posture in children: A cross-sectional study. *J. Paediatr. Child Health* **2017**, 53, 33–37, doi:10.1111/JPC.13314.
 143. Hawke, F.; Rome, K.; Evans, A.M. The relationship between foot posture, body mass, age and ankle, lower-limb and whole-body flexibility in healthy children aged 7 to 15 years. *J. Foot Ankle Res.* **2016**, 9, doi:10.1186/S13047-016-0144-7.
 144. Remvig, L.; Jensen, D. V.; Ward, R.C. Epidemiology of general joint hypermobility and basis for the proposed criteria for benign joint hypermobility syndrome: review of the literature. *J. Rheumatol.* **2007**, 34, 804–9.
 145. Remvig, L.; Jensen, D.; Ward, R.C. Are diagnostic criteria for general joint hypermobility and benign joint hypermobility syndrome based on reproducible and valid tests? A review of the literature. *J. Rheumatol.* **2007**.
 146. Murray, K.J. Hypermobility disorders in children and adolescents. *Best Pract. Res. Clin. Rheumatol.* **2006**, 20, 329–351, doi:10.1016/J.BERH.2005.12.003.
 147. Grahame, R.; Bird, H.A.; Child, A.; Dolan, A.L.; Edwards-Fowler, A.; Ferrell, W.; Gurley-Green, S.; Keer, R.; Mansi, E.; Murray, K.J.; et al. The revised (Brighton 1998) criteria for the diagnosis of benign joint hypermobility syndrome (BJHS). *J. Rheumatol.* **2000**, 27, 1777–1779.
 148. Singh, H.; McKay, M.; Baldwin, J.; Nicholson, L.; Chan, C.; Burns, J.; Hiller, C.E. Brighton scores and cut-offs across the lifespan: cross-sectional study of an Australian population. *Rheumatology* **2017**, 56, 1857–1864, doi:10.1093/RHEUMATOLOGY/KEX043.
 149. Smits-Engelsman, B.; Klerks, M.; Kirby, A. Brighton score: a valid measure for generalized hypermobility in children. *J. Pediatr.* **2011**, 158, 119-123.e4, doi:10.1016/J.JPEDI.2010.07.021.

150. Van der Giessen, L.J.; Liekens, D.; Rutgers, K.J.M.; Hartman, A.; Mulder, P.G.H.; Oranje, A.P. Validation of Beighton Score and prevalence of connective tissue signs in 773 Dutch children. *J. Rheumatol.* **2001**, *28*, 2726–2730.
151. Ferrari, J.; Parslow, C.; Lim, E.; Hayward, A. Joint hypermobility: The use of a new assessment tool to measure lower limb hypermobility. *Clin. Exp. Rheumatol.* **2005**, *23*, 413–420.
152. Adib, N.; Davies, K.; Grahame, R.; Woo, P.; Murray, K.J. Joint hypermobility syndrome in childhood. A not so benign multisystem disorder? *Rheumatology (Oxford)*. **2005**, *44*, 744–750, doi:10.1093/RHEUMATOLOGY/KEH557.
153. Lin, C.J.; Lai, K.A.; Kuan, T.S.; Chou, Y.L. Correlating factors and clinical significance of flexible flatfoot in preschool children. *J. Pediatr. Orthop.* **2001**, *21*, 378–382, doi:10.1097/01241398-200105000-00022.
154. El, O.; Akcali, O.; Kosay, C.; Kaner, B.; Arslan, Y.; Sagol, E.; Soylev, S.; Iyidogan, D.; Cinar, N.; Peker, O. Flexible flatfoot and related factors in primary school children: a report of a screening study. *Rheumatol. Int.* **2006**, *26*, 1050–1053, doi:10.1007/S00296-006-0128-1.
155. Tsai, C.C.; Chih, Y.C.; Shih, C.L.; Chen, S.J.; Shen, P.C.; Tien, Y.C. Joint hypermobility and preschool-age flexible flatfoot. *Med. (United States)* **2022**, *101*, 1–5, doi:10.1097/MD.00000000000029608.
156. Alahmari, K.A.; Kakaraparthi, V.N.; Reddy, R.S.; Samuel, P.S.; Tedla, J.S.; Rengaramanujam, K.; Ahmad, I.; Sangadala, D.R.; Mukherjee, D. Foot Posture Index Reference Values among Young Adults in Saudi Arabia and Their Association with Anthropometric Determinants, Balance, Functional Mobility, and Hypermobility. *Biomed Res. Int.* **2021**, *2021*, doi:10.1155/2021/8844356.
157. Solway, S.; Brooks, D.; Lacasse, Y.; Thomas, S. A qualitative systematic overview of the measurement properties of functional walk tests used in the cardiorespiratory domain. *Chest* **2001**, *119*, 256–270.
158. Kim, M.H.; Cha, S.; Choi, J.E.; Jeon, M.; Choi, J.Y.; Yang, S.S. Relation of Flatfoot Severity with Flexibility and Isometric Strength of the Foot and Trunk Extensors in Children. *Child. (Basel, Switzerland)* **2022**, *10*, doi:10.3390/CHILDREN10010019.
159. Žukauskas, S.; Barauskas, V.; Degliūtė-Muller, R.; Čekanauskas, E. Really Asymptomatic? Health-Related Quality of Life and Objective Clinical Foot Characteristics among 5-10-Year-Old Children with a Flexible FlatFoot. *J. Clin. Med.* **2023**, *12*, doi:10.3390/JCM12093331.
160. Cho, D.J.; Ahn, S.Y.; Bok, S.K. Effect of Foot Orthoses in Children With Symptomatic Flexible Flatfoot Based on Ultrasonography of the Ankle Invertor and Evertor Muscles. *Ann. Rehabil. Med.* **2021**, *45*, 459–470, doi:10.5535/ARM.21137.
161. Ahn, S.Y.; Bok, S.K.; Kim, B.O.; Park, I.S. The effects of talus control foot orthoses in children with flexible flatfoot. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* **2017**, *107*, 46–53, doi:10.7547/15-045.
162. Malek, S.; Reinhold, E.J.; Pearce, G.S. The Beighton Score as a measure of generalised joint hypermobility. *Rheumatol. Int.* **2021**, *41*, 1707–1716, doi:10.1007/s00296-021-04832-4.
163. Whitehead, N.A.; Mohammed, K.D.; Fulcher, M.L. Does the Beighton Score Correlate With Specific Measures of Shoulder Joint Laxity? *Orthop. J. Sport. Med.* **2018**, *6*, doi:10.1177/2325967118770633.
164. Banwell, H.A.; Paris, M.E.; Mackintosh, S.; Williams, C.M. Paediatric flexible flat foot: how are we measuring it and are we getting it right? A systematic review. *J. Foot Ankle Res.* **2018**, *11*, doi:10.1186/S13047-018-0264-3.
165. Redmond, A.C.; Crosbie, J.; Ouvrier, R.A. Development and validation of a novel rating system for scoring standing foot posture: The Foot Posture Index. *Clin.*

- Biomech.* **2006**, 21, 89–98, doi:10.1016/j.clinbiomech.2005.08.002.
166. Macfarlane, T.S.; Larson, C.A.; Stiller, C. Lower extremity muscle strength in 6- to 8-year-old children using hand-held dynamometry. *Pediatr. Phys. Ther.* **2008**, 20, 128–136, doi:10.1097/PEP.0b013e318172432d.
 167. Bennell, K.; Talbot, R.; Wajswelner, H.; Techovanich, W.; Kelly, D. Intra-rater and inter-rater reliability of a weight-bearing lunge measure of ankle dorsiflexion. *Aust. J. Physiother.* **1998**, 44, 175–180, doi:10.1016/S0004-9514(14)60377-9.
 168. Hawke, F.; Rome, K.; Evans, A.M. The relationship between foot posture, body mass, age and ankle, lower-limb and whole-body flexibility in healthy children aged 7 to 15years. *J. Foot Ankle Res.* **2016**, 9, 10–14, doi:10.1186/s13047-016-0144-7.
 169. Pereira, A.C.; Ribeiro, M.G.; De Queiroz Campos Araújo, A.P. Timed motor function tests capacity in healthy children. *Arch. Dis. Child.* **2016**, 101, 147–151, doi:10.1136/archdischild-2014-307396.
 170. Williams, D.S.; McClay, I.S.; Hamill, J. Arch structure and injury patterns in runners. *Clin. Biomech.* **2001**, 16, 341–347, doi:10.1016/S0268-0033(01)00005-5.
 171. Gijon-Nogueron, G.; Marchena-Rodriguez, A.; Montes-Alguacil, J.; Evans, A.M. Evaluation of the paediatric foot using footprints and foot posture index: A cross-sectional study. *J. Paediatr. Child Health* **2020**, 56, 201–206, doi:10.1111/JPC.14558.
 172. Evans, A.M.; Rome, K.; Peet, L. The foot posture index, ankle lunge test, Beighton scale and the lower limb assessment score in healthy children: a reliability study. *J. Foot Ankle Res.* **2012**, 5, 1, doi:10.1186/1757-1146-5-1.
 173. Farhat, F.; Hsairi, I.; Baiti, H.; Cairney, J.; Mchirgui, R.; Masmoudi, K.; Padulo, J.; Triki, C.; Moalla, W. Assessment of physical fitness and exercise tolerance in children with developmental coordination disorder. *Res. Dev. Disabil.* **2015**, 45–46, 210–219, doi:10.1016/j.ridd.2015.07.023.
 174. Landis, J.R.; Koch, G.G. Landis and Koch 1977 agreement of categorical data. *Biometrics* **1977**, 33, 159–174.
 175. Faustino Orbegoza Eizaguirre Bilbao, F. *CURVAS Y TABLAS DE CRECIMIENTO (Estudios Longitudinal y Transversal)*;
 176. Morrison, S.C.; Ferrari, J. Inter-rater reliability of the Foot Posture Index (FPI-6) in the assessment of the paediatric foot. *J. Foot Ankle Res.* **2009**, 2, 1–5, doi:10.1186/1757-1146-2-26.
 177. Root, M.I. Biomechanical examination of the foot. *J. Am. Podiatry Assoc.* **1973**, 63, 28–29, doi:10.7547/87507315-63-1-28.
 178. Sobel, E.; Levitz, S.J.; Caselli, M.A.; Tran, M.; Lepore, F.; Lilja, E.; Sinaie, M.; Wain, E. Reevaluation of the relaxed calcaneal stance position. Reliability and normal values in children and adults. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* **1999**, 89, 258–264, doi:10.7547/87507315-89-5-258.
 179. Juul-Kristensen, B.; Røgind, H.; Jensen, D. V.; Remvig, L. Inter-examiner reproducibility of tests and criteria for generalized joint hypermobility and benign joint hypermobility syndrome. *Rheumatology* **2007**, 46, 1835–1841, doi:10.1093/rheumatology/kem290.
 180. Smits-Engelsman, B.; Klerks, M.; Kirby, A. Beighton score: A valid measure for generalized hypermobility in children. *J. Pediatr.* **2011**, 158, 119-123.e4, doi:10.1016/j.jpeds.2010.07.021.
 181. Eek, M.N.; Kroksmark, A.K.; Beckung, E. Isometric Muscle Torque in Children 5 to 15 Years of Age: Normative Data. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **2006**, 87, 1091–1099, doi:10.1016/j.apmr.2006.05.012.
 182. Gajdosik, C.G. Ability of very young children to produce reliable isometric force

- measurements. In *Proceedings of the Pediatric Physical Therapy*; 2005; Vol. 17, pp. 251–257.
183. Kendall, F.P.; McCreary, E.K.; Provance, P.G.; Rodgers, M.M.; Romani, W.A. *Muscles: Testing and Function with Posture and Pain*, 5e 2005.
 184. Stratford, P.W.; Balsor, B.E. A comparison of make and break tests using a hand-held dynamometer and the Kin-Com. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **1994**, *19*, 28–32, doi:10.2519/jospt.1994.19.1.28.
 185. Hyde, S.A.; Goddard, C.M.; Scott, O.M. The myometer: The development of a clinical tool. *Physiotherapy* **1983**, *69*, 424–427.
 186. Burns, J.; Redmond, A.; Ouvrier, R.; Crosbie, J. Quantification of muscle strength and imbalance in neurogenic pes cavus, compared to health controls, using hand-held dynamometry. *Foot Ankle Int.* **2005**, *26*, 540–544, doi:10.1177/107110070502600708.
 187. Chamari, K.; Chaouachi, A.; Hambli, M.; Kaouech, F.; Wisloff, U.; Castagna, C. The five-jump test for distance as a field test to assess lower limb explosive power in soccer players. *J. Strength Cond. Res.* **2008**, *22*, 944–950, doi:10.1519/JSC.0b013e31816a57c6.
 188. American Thoracic Society ATS Statement: Guidelines for the Six-Minute Walk Test. THIS OFFICIAL STATEMENT OF THE AMERICAN THORACIC SOCIETY WAS APPROVED BY THE ATS BOARD OF DIRECTORS MARCH 2002., doi:10.1164/rccm.166/1/111.
 189. Browne, R.H. On the use of a pilot sample for sample size determination. *Stat. Med.* **1995**, *14*, 1933–1940, doi:10.1002/SIM.4780141709.
 190. Castori, M.; Tinkle, B.; Levy, H.; Grahame, R.; Malfait, F.; Hakim, A. A framework for the classification of joint hypermobility and related conditions. *Am. J. Med. Genet. C. Semin. Med. Genet.* **2017**, *175*, 148–157, doi:10.1002/AJMG.C.31539.
 191. Remvig, L.; Jensen, D.; Ward, R.C. Epidemiology of general joint hypermobility and basis for the proposed criteria for benign joint hypermobility syndrome: review of the literature. *J. Rheumatol.* **2007**.
 192. Beighton, P.; Solomon, L.; Soskolne, C.L. Articular mobility in an African population. *Ann. Rheum. Dis.* **1973**, *32*, 413, doi:10.1136/ARD.32.5.413.
 193. Russek, L.N. Hypermobility Syndrome. *Phys. Ther.* **1999**, *79*, 591–599, doi:10.1093/PTJ/79.6.591.
 194. Kirk, J.A.; Ansell, B.M.; Bywaters, E.G. The hypermobility syndrome. Musculoskeletal complaints associated with generalized joint hypermobility. *Ann. Rheum. Dis.* **1967**, *26*, 419–425, doi:10.1136/ARD.26.5.419.
 195. Singh, H.; McKay, M.; Baldwin, J.; Nicholson, L.; Chan, C.; Burns, J.; Hiller, C.E. Beighton scores and cut-offs across the lifespan: cross-sectional study of an Australian population. *Rheumatology* **2017**, *56*, 1857–1864, doi:10.1093/RHEUMATOLOGY/KEX043.
 196. Adib, N.; Davies, K.; Grahame, R.; Woo, P.; Murray, K.J. Joint hypermobility syndrome in childhood. A not so benign multisystem disorder? *Rheumatology (Oxford)*. **2005**, *44*, 744–750, doi:10.1093/RHEUMATOLOGY/KEH557.
 197. Pacey, V.; Nicholson, L.L.; Adams, R.D.; Munn, J.; Munns, C.F. Winner of the 2009 systematic review competition: Generalized joint hypermobility and risk of lower limb joint injury during sport: A systematic review with meta-analysis. *Am. J. Sports Med.* **2010**, *38*, 1487–1497, doi:10.1177/0363546510364838.
 198. Litwin, M. How to Measure Survey Reliability and Validity. *How to Meas. Surv. Reliab. Validity* **2014**, doi:10.4135/9781483348957.
 199. Hanley, J.A.; McNeil, B.J. The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology* **1982**, *143*, 29–36, doi:10.1148/RADIOLOGY.143.1.7063747.

200. Sánchez-Gómez, R.; Romero-Morales, C.; Gómez-Carrión, Á.; De-La-cruz-torres, B.; Zaragoza-García, I.; Anttila, P.; Kantola, M.; Ortuño-Soriano, I. Effects of novel inverted rocker orthoses for first metatarsophalangeal joint on gastrocnemius muscle electromyographic activity during running: A cross-sectional pilot study. *Sensors (Switzerland)* **2020**, *20*, 1–12, doi:10.3390/s20113205.
201. Landis, J.R.; Koch, G.G. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics* **1977**, *33*, 159, doi:10.2307/2529310.
202. Glans, M.; Humble, M.B.; Elwin, M.; Bejerot, S. Self-rated joint hypermobility: The five-part questionnaire evaluated in a Swedish non-clinical adult population. *BMC Musculoskelet. Disord.* **2020**, *21*, 1–8, doi:10.1186/S12891-020-3067-1/TABLES/4.
203. Beighton, P.; Grahame, R.; Bird, H. Hypermobility of joints. *Hypermobility of Joints* **2013**, 9781848820852, 1–204, doi:10.1007/978-1-84882-085-2.
204. Meyer, K.J.; Chan, C.; Hopper, L.; Nicholson, L.L. Identifying lower limb specific and generalised joint hypermobility in adults: Validation of the lower limb assessment score. *BMC Musculoskelet. Disord.* **2017**, *18*, 1–9, doi:10.1186/s12891-017-1875-8.
205. Jansson, A.; Saartok, T.; Werner, S.; Renström, P. General joint laxity in 1845 Swedish school children of different ages: age- and gender-specific distributions. *Acta Paediatr.* **2004**, *93*, 1202–1206, doi:10.1080/08035250410023971.
206. Remvig, L.; Jensen, D. V.; Ward, R.C. Epidemiology of general joint hypermobility and basis for the proposed criteria for benign joint hypermobility syndrome: review of the literature. *J. Rheumatol.* **2007**, *34*.
207. Seçkin, Ü.; Tur, B.S.; Yilmaz, Ö.; Yağci, I.; Bodur, H.; Arasil, T. The prevalence of joint hypermobility among high school students. *Rheumatol. Int.* **2005**, *25*, 260–263, doi:10.1007/s00296-003-0434-9.
208. Engelbert, R.H.H.; Juul-Kristensen, B.; Pacey, V.; de Wandele, I.; Smeenk, S.; Woinarosky, N.; Sabo, S.; Scheper, M.C.; Russek, L.; Simmonds, J. V. The evidence-based rationale for physical therapy treatment of children, adolescents, and adults diagnosed with joint hypermobility syndrome/hypermobile Ehlers Danlos syndrome. *Am. J. Med. Genet. Part C Semin. Med. Genet.* **2017**, *175*, 158–167, doi:10.1002/ajmg.c.31545.
209. De Santos-Moreno, M.G.; Velandrino-Nicolás, A.P.; Gómez-Conesa, A. Hypotonia: Is It a Clear Term and an Objective Diagnosis? An Exploratory Systematic Review. *Pediatr. Neurol.* **2023**, *138*, 107–117, doi:10.1016/j.pediatrneurol.2022.11.001.
210. Staheli, L.T. Evaluation of planovalgus foot deformities with special reference to the natural history. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* **1987**, *77*, 2–6, doi:10.7547/87507315-77-1-2.
211. Fabry, G. Clinical practice. Static, axial, and rotational deformities of the lower extremities in children. *Eur. J. Pediatr.* **2010**, *169*, 529–534, doi:10.1007/S00431-009-1122-X.
212. Harris, E.J.; Vanore, J. V.; Thomas, J.L.; Kravitz, S.R.; Mendelson, S.A.; Mendicino, R.W.; Silvani, S.H.; Gassen, S.C. Diagnosis and treatment of pediatric flatfoot. *J. Foot Ankle Surg.* **2004**, *43*, 341–373, doi:10.1053/j.jfas.2004.09.013.
213. Sadeghi-Demneh, E.; Melvin, J.M.A.; Mickle, K. Prevalence of pathological flatfoot in school-age children. *Foot (Edinb).* **2018**, *37*, 38–44, doi:10.1016/J.FOOT.2018.05.002.
214. Pfeiffer, M.; Kotz, R.; Ledl, T.; Hauser, G.; Sluga, M. Prevalence of flat foot in preschool-aged children. *Pediatrics* **2006**, *118*, 634–639, doi:10.1542/PEDS.2005-2126.
215. Aenumulapalli, A.; Kulkarni, M.M.; Gandotra, A.R. Prevalence of Flexible Flat Foot

- in Adults: A Cross-sectional Study. *J. Clin. Diagn. Res.* **2017**, *11*, AC17–AC20, doi:10.7860/JCDR/2017/26566.10059.
216. Bent, M.A.; Stork, N.C.; Nemeth, B.A. The diagnosis and management of common childhood orthopedic disorders: An update. *Curr. Probl. Pediatr. Adolesc. Health Care* **2020**, *50*, doi:10.1016/J.CPPEDS.2020.100884.
 217. Hicks, J.H. The mechanics of the foot: I. The joints. *J. Anat.* **1953**, *87*, 345.
 218. Hicks, J.H. The mechanics of the foot: II. The plantar aponeurosis and the arch. *J. Anat.* **1954**, *88*, 25.
 219. Gray, E.G.; Basmajian, J. V. Electromyography and cinematography of leg and foot ("normal" and flat) during walking. *Anat. Rec.* **1968**, *161*, 1–15, doi:10.1002/ar.1091610101.
 220. Wenger, D.R.; Leach, J. Foot deformities in infants and children. *Pediatr. Clin. North Am.* **1986**, *33*, 1411–1427, doi:10.1016/S0031-3955(16)36151-X.
 221. Martinez-Sebastian, C.; Gijon-Nogueron, G.; Ramos-Petersen, L.; Morales-Asencio, J.M.; Molina-Garcia, C.; Evans, A.M. Development, validation, and psychometric analysis of Foot and Ankle Flexibility Index (FAFI). *J. Tissue Viability* **2024**, doi:10.1016/J.JTV.2024.05.010.
 222. Li, A.M.; Yin, J.; Yu, C.C.W.; Tsang, T.; So, H.K.; Wong, E.; Chan, D.; Hon, E.K.L.; Sung, R. The six-minute walk test in healthy children: Reliability and validity. *Eur. Respir. J.* **2005**, *25*, 1057–1060, doi:10.1183/09031936.05.00134904.
 223. Beighton, P.; Grahame, R.; Bird, H. Hypermobility of joints. *Hypermobility of Joints* **2013**, 9781848820852, 1–204, doi:10.1007/978-1-84882-085-2/COVER.
 224. Larsson, L.G.; Baum, J.; Mudholkar, G.S.; Srivastava, D.K. Hypermobility: prevalence and features in a Swedish population. *Br. J. Rheumatol.* **1993**, *32*, 116–119, doi:10.1093/RHEUMATOLOGY/32.2.116.
 225. Cappello, T.; Song, K.M. Determining treatment of flatfeet in children. *Curr. Opin. Pediatr.* **1998**, *10*, 77–81, doi:10.1097/00008480-199802000-00016.
 226. Napolitano, C.; Walsh, S.; Mahoney, L.; McCrea, J. Risk factors that may adversely modify the natural history of the pediatric pronated foot. *Clin. Podiatr. Med. Surg.* **2000**, *17*, 397–417.
 227. Barboza de Andrade, L.; ARG Silva, D.; Salgado, T.L.; Figueroa, J.N.; Lucena-Silva, N.; Britto, M.C. Comparison of six-minute walk test in children with moderate/severe asthma with reference values for healthy children. *J Pediatr (Rio J)* **2014**, *90*, 250–257, doi:10.1016/j.jpmed.2013.08.006.
 228. Pasini Neto, H.; Grecco, L.A.C.; Christovão, T.C.; Braun, L.A.; Giannasi, L.C.; Salgado, A.S.I.; De Moura, R.C.F.; De Carvalho, P.D.T.C.; Corrêa, J.C.; Sampaio, L.M.; et al. Effect of posture-control insoles on function in children with cerebral palsy: randomized controlled clinical trial. *BMC Musculoskelet. Disord.* **2012**, *13*, doi:10.1186/1471-2474-13-193.
 229. Lohle-Akkersdijk, J.J.; Rameckers, E.A.A.; Andriesse, H.; De Reus, I.; Van Erve, R.H.G.P. Walking capacity of children with clubfeet in primary school: something to worry about? *J. Pediatr. Orthop. B* **2015**, *24*, 18–23, doi:10.1097/BPB.0000000000000112.
 230. Kennedy, R.A.; Carroll, K.; McGinley, J.L.; Paterson, K.L. Walking and weakness in children: a narrative review of gait and functional ambulation in paediatric neuromuscular disease. *J. Foot Ankle Res.* **2020**, *13*, doi:10.1186/S13047-020-0378-2.
 231. D'Amico, J.C. Letter to the Editor. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* **2009**, *99*, 267–268, doi:10.7547/0980267.
 232. Evans, A.M.; Nicholson, H.; Zakarias, N. The paediatric flat foot proforma (p-FFP): Improved and abridged following a reproducibility study. *J. Foot Ankle Res.* **2009**, *2*, 13–20, doi:10.1186/1757-1146-2-25.

233. Michaudet, C.; Edenfield, K.M.; Nicolette, G.W.; Carek, P.J. Foot and Ankle Conditions: Pes Planus. *FP Essent.* **2018**, 465, 18–23.
234. Uden, H.; Scharfbillig, R.; Causby, R. The typically developing paediatric foot: how flat should it be? A systematic review. *J. Foot Ankle Res.* **2017**, 10, doi:10.1186/S13047-017-0218-1.
235. Riddiford-Harland, D.L.; Steele, J.R.; Baur, L.A. Are the feet of obese children fat or flat? Revisiting the debate. *Int. J. Obes.* 2011 351 **2010**, 35, 115–120, doi:10.1038/ijo.2010.119.
236. Harris, E.J.; Vanore, J. V.; Thomas, J.L.; Kravitz, S.R.; Mendelson, S.A.; Mendicino, R.W.; Silvani, S.H.; Gassen, S.C. Diagnosis and treatment of pediatric flatfoot. *J. Foot Ankle Surg.* **2004**, 43, 341–373, doi:10.1053/j.jfas.2004.09.013.
237. Walczak, M.; Napiontek, M. [Flexible flatfoot in children--a controversial subject]. *Chir. Narzadow Ruchu Ortop. Pol.* **2003**, 68, 261–267.
238. Kothari, A.; Dixon, P.C.; Stebbins, J.; Zavatsky, A.B.; Theologis, T. The relationship between quality of life and foot function in children with flexible flatfeet. *Gait Posture* **2015**, 41, 786–790, doi:10.1016/J.GAITPOST.2015.02.012.
239. Banwell, H.A.; Paris, M.E.; Mackintosh, S.; Williams, C.M. Paediatric flexible flat foot: How are we measuring it and are we getting it right? A systematic review. *J. Foot Ankle Res.* **2018**, 11, 1–13, doi:10.1186/s13047-018-0264-3.
240. Morrison, S.C.; McClymont, J.; Price, C.; Nester, C. Time to revise our dialogue: how flat is the paediatric flatfoot? *J. Foot Ankle Res.* **2017**, 10, doi:10.1186/S13047-017-0233-2.
241. Sobradillo, B.; Aguirre, A.; Uresti, U.; Bilbao, A.; Fernández-Ramos, C.; Lizarraga, A.; Lorenzo, H.; Madariaga, L.; Rica, I.; Ruíz, I.; et al. *Curvas y tablas de crecimiento. Estudios longitudinal y transversal. Bilbao: Fundación Faustino Orbeagoiz Eizaguirre*; 2004; ISBN 8460799670.
242. Menz, H.B. Analysis of paired data in physical therapy research: time to stop double-dipping? *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **2005**, 35, 477–478, doi:10.2519/JOSPT.2005.0108.
243. Menz, H.B. Two feet, or one person? Problems associated with statistical analysis of paired data in foot and ankle medicine. *Foot* **2004**, 14, 2–5, doi:10.1016/S0958-2592(03)00047-6.
244. Lamm, B.M.; Mendicino, R.W.; Catanzariti, A.R.; Hillstrom, H.J. Static rearfoot alignment: a comparison of clinical and radiographic measures. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* **2005**, 95, 26–33, doi:10.7547/0950026.
245. Pourghasem, M.; Kamali, N.; Farsi, M.; Soltanpour, N. Prevalence of flatfoot among school students and its relationship with BMI. *Acta Orthop. Traumatol. Turc.* **2016**, 50, 554–557, doi:10.1016/j.aott.2016.03.002.
246. Evans, A.M. Mitigating clinician and community concerns about children's flatfeet, intoeing gait, knock knees or bow legs. *J. Paediatr. Child Health* **2017**, 53, 1050–1053, doi:10.1111/JPC.13761.

11. ANEXOS

Anexo 1. Permiso.

PI

Permissions IntechOpen <permissions@intechopen.com>
Para: Carlos Martinez

Responder

Responder a todos

Reenviar

Vie 17/05/2024 13:16

Parte del contenido de este mensaje se ha bloqueado porque el remitente no está en la lista de remitentes seguros.

Remitente de confianza

Mostrar contenido bloqueado

Este mensaje está en Inglés

Traducir a Español

No traducir nunca de Inglés

Dear Carlos, Thank you for your email.

The chapter that you linked is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. This means that for you to use said figure you will need to attribute original authors.

Kind regards,
Josipa

--
Publishing Ethics and Legal Affairs
+44 20 8089 5701 | permissions@intechopen.com 
Rijeka: Prolaz Marije Krucifikse Kozulić 2, 51000 Rijeka, Croatia
London: 10 Lower Thames Street, London, EC3R 6AF, UK
INTECHOPEN LIMITED, Registered in England and Wales No. 11086078

 **We are IntechOpen, the world's leading publisher of Open Access books**
Built by scientists, for scientists

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

Anexo 2. Permiso.



The Algorithmic Approach to Pediatric Flexible Pes Planovalgus

Author: Jonathan M. Labovitz

Publication: Clinics in Podiatric Medicine and Surgery

Publisher: Elsevier

Date: January 2006

Copyright © 2006 Elsevier Inc. All rights reserved.

Review Order

Please review the order details and the associated [terms and conditions](#).

No royalties will be charged for this reuse request although you are required to obtain a license and comply with the license terms and conditions. To obtain the license, click the Accept button below.

☒ Licensed Content

Licensed Content Publisher	Elsevier
Licensed Content Publication	Clinics in Podiatric Medicine and Surgery
Licensed Content Title	The Algorithmic Approach to Pediatric Flexible Pes Planovalgus
Licensed Content Author	Jonathan M. Labovitz
Licensed Content Date	January 2006
Licensed Content Volume	23
Licensed Content Issue	1
Licensed Content Pages	20

☐ Order Details

Type of Use	reuse in a thesis/dissertation
Portion	figures/tables/illustrations
Number of figures/tables/illustrations	4
Format	electronic
Are you the author of this Elsevier article?	No
Will you be translating?	No

☐ About Your Work

Title of new work	EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA
-------------------	--

☐ Additional Data

Order reference number	2
Portions	image 2, 3, 4 and 5

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

Anexo 3. Permiso.



Diagnóstico y tratamiento del pie plano pediátrico.

Autor: Edwin J. Harris, John V. Vanore, James L. Thomas, Steven R. Kravitz, Stephen A. Mendelson, Robert W. Mendicino, Stephen H. Silvani, Susan Couture Gassen
Publicación: La revista de cirugía de pie y tobillo
Editor: Elsevier
Fecha: Noviembre-diciembre de 2004

Copyright © 2004 Colegio Americano de Cirujanos de Pie y Tobillo. Publicado por Elsevier Ltd. en nombre del Colegio Americano de Cirujanos de Pie y Tobillo. Todos los derechos reservados.

Pedido completado

Gracias por su orden.
Este Acuerdo entre el Dr. Carlos Sebastián ("Usted") y Elsevier ("Elsevier") consta de los detalles de su licencia y los términos y condiciones proporcionados por Elsevier y Copyright Clearance Center.

Su correo electrónico de confirmación contendrá su número de pedido para referencia futura.

Número de licencia 5784821199954
Fecha de licencia 09 de mayo de 2024

[Detalles imprimibles](#)

Contenido con licencia		Detalles del pedido	
Editor de contenido con licencia	Elsevier	Tipo de uso	reutilización en una tesis/disertación
Publicación de contenido con licencia	La revista de cirugía de pie y tobillo	Parte	figuras/tablas/ilustraciones
Título del contenido con licencia	Diagnóstico y tratamiento del pie plano pediátrico.	Número de figuras/tablas/ilustraciones	2
Autor de contenido con licencia	Edwin J. Harris, John V. Vanore, James L. Thomas, Steven R. Kravitz, Stephen A. Mendelson, Robert W. Mendicino, Stephen H. Silvani, Susan Couture Gassen	Formato	electrónico
		¿Es usted el autor de este artículo de Elsevier?	No
		¿Estará traduciendo?	No

Anexo 4. Permiso.

NS

Noelle A. Soliman <nsoliman@apma.org>

Para: Carlos Martinez

Dear Mr Martinez,

Permission is granted to use the image from the paper mentioned below in your thesis.

Kind regards,
Noelle

Noelle Soliman Abouzeid, MS

(She/Her/Hers)

Managing Editor, JAPMA

American Podiatric Medical Association

Advancing Foot and Ankle Medicine and Surgery

Journal of the American Podiatric Medical Association

www.apma.org

www.japmaonline.org

11400 Rockville Pike, Suite 220

Rockville, MD 20852

Phone: 301-581-9236

Email: nsoliman@apma.org

Hours: 8 a.m.–4 p.m. ET

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

Anexo 5. Permiso.

 Open Research Support <orsupport@springernature.com>
Para: carlos_mar_seb@hotmail.com

Responder Responder a todos Reenviar 

Jun 02/05/2024 21:43

Dear Dr. Martinez,

Thank you for contacting Springer Nature.

Reproduction of figures or tables from any open access article is permitted free of charge and without formal written permission from the publisher or the copyright holder, provided that the figure/table is original and following are included in the acknowledgement section:

- The Copyright license the material is published.
- The publisher's name is duly identified as the original publisher.
- The proper attribution of authorship and the correct citation details are given.

For the complete reuse information please visit: <https://footankleres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13047-016-0139-4#rightslink>

Should you have any other concerns on how to reuse a figure, you may contact journalpermissions@springernature.com.

If you have any questions, please do not hesitate to contact us quoting your Ticket ID [#8835090].

With kind regards,
--
Jhanette Servando
Global Open Research Support Specialist
Publishing Support

Springer Nature Group
[//www.springernature.com]www.springernature.com

--
Visit [Springer Nature Support](#) for answers to our most frequently asked questions.
If you would like to contact Open Research Support via chat, please visit [BMC Support Portal](#).

Anexo 6. GALLOP.

GALLOP ^{1 of 2}

Name _____ Date of Birth ____/____/____ Gender: Male/Female

Postnatal History (Complete or circle)

Gestation: _____ weeks	Birth weight: _____ grams	APGAR 1 min _____ 5min _____
Vaginal birth: Spontaneous/Induced	Instrumentation at birth Forceps/Ventouse	Caesarean: Emergency/Planned Reason: _____
Breech: Yes/No Complications _____ _____	Other health professionals involved at birth or in first 14 days: _____	

Age of skill acquisition (record in months)

Sitting: _____	Crawling: _____	Crawl type: _____
Walking: _____	Running: _____	Jumping: _____

History:

Medical/Family _____ _____	Previous treatment: _____ _____	Previous Pain: _____ _____
Footwear: _____ _____	Sport: _____ _____	Sensory concerns: _____ _____
Weight: _____ kg	Height: _____ cm	BMI: _____

Observation of ability to perform the following appropriate to age (Circle)

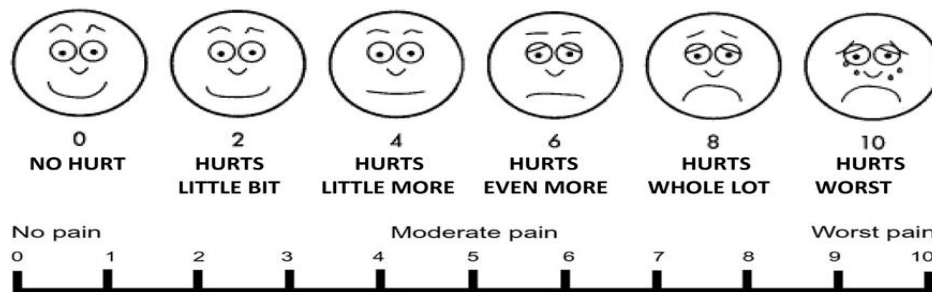
Squatting: Yes/No/NA	Running: Yes/No/NA	Jumping: Yes/No/N/A
Skipping: Yes/No/NA	Hopping: Yes/No/NA	Single Leg Stance Left: Yes/No/N/A Right: Yes/No/N/A
Ability to go up/down stairs: Yes/No/NA	Observation of functional tasks: _____	Quality of body movement: _____

Other Observations

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

GALLOP 2 of 2

Pain



Biomechanical Assessments:

	Left	Right		Left	Right
Hip: Internal ROM			Hip External ROM		
Modified Thomas Test			Hip abduction		
Popliteal angle			Foot thigh angle		
Ankle WBL/NWB Straight			Ankle WBL/NWB Bent		
Foot Posture Index-6			Beighton score ____/9		

Inter-condylar distance: _____ cm	<i>Limb Length Discrepancy*:</i> Left=Right	Other observations of rotation, limb length: _____
Inter-malleoli distance: _____ cm	Left>Right _____ cm Left<Right _____ cm	_____

Neurology:

	Left	Right		Left	Right
Patella Reflex (0-4)			Achilles Reflex (0-4)		
Plantar Reflex (Up/down)			Ankle Catch (Yes/No)		
Ankle Clonus (Yes/No)			Gower's Sign		
Dorsiflexion strength (0-5)			Plantarflexion Strength (0-5)		
Inversion strength (0-5)			Eversion strength (0-5)		
Observation of muscle tone or neurological signs:					

Gait*

	Left	Right		Left	Right
Head and neck position			Trunk/torso		
Arm swing			Hip		
Knee			Heel contact		
Midstance			Toe-off		
Angle of gait			Base of gait		
Other gait comments:					

GALLOP (Addendum)

Tips for completion of free text questions instructions for podiatrists and physiotherapists:

Ankle range of motion

The weightbearing lunge (WBL) should be performed if the child is able to put their heel to the ground due to age specific normative values and higher reliability than the non weight bearing test (NWB)

Observation of functional tasks:

Is the child able to perform activities appropriate to their age such as: throwing a ball, catching a ball, kicking a ball, animal walks, sport specific activities

Quality of movement:

Does the child perform tasks symmetrically or with smooth movement? Is their movement clumsy, jerky or asymmetrical?

Other observations of rotation, limb length*:

Presence of metatarsus adductus graded by severity and flexibility, uneven creases behind the knees or buttocks.

Gait Observations*

Head and neck position: Tilt or lean

Trunk or torso position: Lordosis, kyphosis, tilt or lean

Arm swing: symmetry, guard position, flapping/flailing

Hip: rotation, frontal plane motion, flexion, hip drop or raise

Knee position: patella position, flexion, extension, hyperextension

Heel contact: initial contact, motion, timing, lift or rear foot position

Mid-stance: midfoot position

Toe – off: forefoot position, propulsion, symmetry, duration

Foot progression angle: Appropriate for age, too many toes

Base of gait: Narrow, scissor, wide

Other gait comments: Trendelenberg, limp, circumduction, abductory twist

*** Indicate items without paediatric age-specific normative values or low reliability therefore clinicians should use and interpret with caution**

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

Anexo 7. Permiso.



info@brieflands.com
Para: 'Carlos Martinez'

Responder Responder a todos Reenviar  ...
Vie 03/05/2024 13:50

Dear Carlos,

I hope this email finds you well. I am writing to respond to your request regarding the use of an image from the paper "Pediatric Flexible Flatfoot: Clinical Aspects and Algorithmic Approach," published in our journal.

Thank you for your interest in incorporating our image into your thesis. We are pleased to grant you permission to use the mentioned image for your non-profit academic pursuits.

Should you require any further assistance or clarification, please do not hesitate to reach out.

Kind Regards,

Head of Ethics Committee,
[Brieflands](#)

Anexo 8. Permiso.



Carlos Martínez Sebastian.
Málaga
carlos_mar_seb@hotmail.com

Bilbao, a 16 de mayo de 2024

Muy Sr. mí:

Por medio de la presente procedo a dar respuesta a su petición realizada por e.mail y de forma expresa, en nombre de esta Fundación, procedo a CONCEDER autorización para incluir su tesis "*Evaluación de la relación entre la hipermovilidad con el movimiento y postura de pie-tobillo en la población pediátrica*" la publicación de la imagen de las Curvas del IMC de 0 a 18 años pertenecientes a los Estudios de Crecimiento y Desarrollo, propiedad de esta Fundación, con las siguientes condiciones:

El material será utilizado única y exclusivamente en la forma y para los fines de la solicitud,

Siempre será utilizada sin ánimo de lucro,

La publicación deberá incluir en la lista de créditos la oportuna referencia a la Fundación Faustino Orbegoiz Eizaguirre.

Y, en su caso, si fuera posible, el solicitante facilitará a la Fundación un ejemplar de su tesis, en el soporte de su elección

Agradeciendo su atención.

14834311RJOSE ANTONIO IBÁÑEZ DE GARAYO (R: G48074512)
Firmado digitalmente por 14834311RJOSE ANTONIO IBÁÑEZ DE GARAYO (R: G48074512)
Fecha: 2024.05.16 11:26:19 +02'00'
José Antonio Ibañez de Garay Prados.
Presidente.

ANEXO 9. LLAS.

The Lower Limb Assessment Score

	LEFT		RIGHT	
HIP FLEXION The patient lies supine; the examiner flexes one hip fully; the other leg must stay fully extended on the couch. Does the mid-anterior area of the thigh drop easily onto the stomach/chest with a loose feel to the movement, using a minimum to moderate application of force?	YES	NO	YES	NO
HIP ABDUCTION The patient lies supine, with hip and knees flexed; the knees are dropped outwards and down to the couch, the soles of the feet remain together. With the examiner's hand against the lateral femoral condyle, can the knees come down to the couch sufficiently to let the back of the examiner's hand touch the couch?	YES	NO	YES	NO
KNEE HYPEREXTENSION The patient lies supine; the knees are relaxed and straight, with minimal force, keeping the femoral condyles on the couch, can the heel be lifted at least 3cm off the couch (greater than 2 finger widths)?	YES	NO	YES	NO
KNEE ANTERIOR DRAWER TEST The patient is supine; the hips and knees (90°) are flexed; the examiner gently sits on the foot to stabilise it; moderate pressure is placed against the femoral condyles as the tibia is pulled forwards. Is there a definite, obvious forward movement of the tibia against the femur? Palpable "clunking" of the joint surfaces moving against each is indicative of a positive draw sign.	YES	NO	YES	NO
KNEE ROTATION The patient lies supine; the examiner flexes the hip and knee to 90° and palpates the tibial tubercle; holding the malleoli and ankle firmly, the tibia is rotated medially and laterally on the femur. Normal movement is 1cm medially and laterally. Does the tubercle move easily beyond 1cm in any direction or greater than 2cm overall? With increased internal movement the head of the fibula/lateral condyle of the tibia may also be seen to move.	YES	NO	YES	NO
ANKLE JOINT DORSIFLEXION The patient lies supine; the knee is flexed to 45°; with moderate to strong force the ankle is dorsiflexed. Does the ankle flex more than 15 degrees? Along with the increased movement there may be bulging of the skin and subcutaneous fat anterior to the ankle.	YES	NO	YES	NO
ANKLE ANTERIOR DRAW TEST The patient lies supine; the knee is flexed to 45°; the examiner grasps the heel along the plantar and posterior surfaces with one hand and applies a stabilising force against the anterior of the tibia with the other hand. Using a strong anterior force, can the calcaneum and talus be brought forwards on the tibia?	YES	NO	YES	NO

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

Any forward movement felt is a positive result.				
SUBTALAR JOINT INVERSION The patient is supine with their feet over the end of the couch; the examiner holds the posterior surface of the heel and moves the heel into inversion without moving the leg. Is excessive inversion of the subtalar joint seen using minimal force? The sole of the foot or visualisation of the neck of the talus should show movement of 45° inwards, the lateral head of the talus will be very prominent.	YES	NO	YES	NO
MIDTARSAL JOINT INVERSION The patient is supine with their feet over the end of the couch; the midtarsal joint is isolated from the subtalar joint; the forefoot is grasped from lateral to medial along the metatarsals; only minimal-moderate force is applied to invert the midtarsal joint. Does the midtarsal joint invert beyond 45° so that the plantar surface of the metatarsal heads can be brought inwards by 45 degrees?	YES	NO	YES	NO
MIDTARSAL JOINT AB/ADDUCTION AND DORSI/PLANTARFLEXION The patient is supine with their feet over the end of the couch; the examiner grasps and stabilises the rearfoot; the forefoot is moved in the direction of ab/adduction and dorsi/plantarflexion. Normal movement should be 1cm in each direction. With minimal force, does the forefoot move easily, almost “wobbling”, in an increased amount? Excessive movement in either of the two planes is a positive result.	YES	NO	YES	NO
METATARSOPHALANGEAL MOVEMENT The patient is supine with their feet over the end of the couch; the hallux is dorsiflexed using minimal-moderate force. Does the hallux dorsiflex easily beyond 90° relative to the metatarsal?	YES	NO	YES	NO
EXCESSIVE SUBTALAR MOVEMENT The patient is to march on the spot and stop on command; the patient is asked to invert their foot and hold the position close to subtalar joint neutral; the patient is then asked to relax their foot; the movement is observed. Does the arch lower and flatten fully, excessively and easily, with the talus bulging medially? The pronation noted should be at the end of range of the subtalar joint motion so that no further pronation is possible.	YES	NO	YES	NO
To score, each limb is calculated separately giving a left score and right score. Each YES is given one mark. A total score of 12 marks is available for each limb, with a score out of 24. The mark is then averaged for a total score out of 12	Total: score out of 12			

ANEXO 10. APROBACIÓN COMITÉ ÉTICO.



COMITÉ DE ÉTICA DE LA UCAM

DATOS DEL PROYECTO

Título:	“Análisis de las variables morfoesqueléticas en niños de 5 a 10 años en comparación con los niveles de actividad física”	
Investigador Principal	Nombre	Correo-e
Dra.	Laura Ramos Petersen	lrpetersen@ucam.edu

INFORME DEL COMITÉ

Fecha	26/11/2021	Código	CE112104
--------------	-------------------	---------------	-----------------

Tipo de Experimentación

Investigación experimental clínica con seres humanos	
Investigación experimental no clínica con seres humanos	
Utilización de tejidos humanos procedentes de pacientes, personas sanas, tejidos embrionarios o fetales	
Utilización de tejidos humanos, tejidos embrionarios o fetales procedentes de bancos de muestras o tejidos	
Investigación observacional, psicológica o comportamental en humanos	
Uso de datos personales, información genética, etc.	X
Experimentación animal	
Utilización de agentes biológicos de riesgo para la salud humana, animal o las plantas	
Uso de organismos modificados genéticamente (OMGs)	

Comentarios Respecto al Tipo de Experimentación

Nada Obsta

Comentarios Respecto a la Metodología de Experimentación

Nada Obsta



Universidad Católica San Antonio. Vicerrectorado de Investigación. Salida n° 7951 26/11/2021 17:38:37

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA



COMITÉ DE ÉTICA DE LA UCAM

Sugerencias al Investigador

A la vista de la solicitud de informe adjunto por el Investigador y de las recomendaciones anteriormente expuestas el dictamen del Comité es:

Emitir Informe Favorable	X
Emitir Informe Desfavorable	
Emitir Informe Favorable condicionado a Subsanción	

MOTIVACIÓN

Incrementará conocimientos en su área

Vº Bº El Presidente,

Fdo.: José Alberto Cánovas Sánchez

El Secretario,



Fdo.: José Alarcón Teruel

ANEXO 11. CONSENTIMIENTO INFORMADO



Estimados padres, madres y tutores/as,

Como en años anteriores, nos ponemos en contacto con ustedes para darles a conocer las actividades que se van a desarrollar en el Colegio San Francisco de Asís, dentro del Programa de Atención Podológica en la Población Escolar (PAPPE), que hemos desarrollado desde la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad de Málaga y Murcia.

Con el programa PAPPE se pretende detectar alteraciones podológicas en los niños y niñas, así como su relación con el sobrepeso y la obesidad en edades tempranas.

Las actividades serán llevadas a cabo por podólogos de la Clínica Verónica Díaz, Lorca. Esta actividad es estrictamente observacional y, por tanto, no entraña ningún riesgo para el alumno/a del Centro, pero permite, en caso de detección de alguna anomalía, ofertar consejo sanitario a los padres.

Los datos obtenidos se incluirán en el registro clínico de atención podológica del Departamento de Enfermería y Podología, respetando la identidad de los participantes conforme a las normas éticas y de protección de datos pertinentes. Esta información se utilizará exclusivamente con finalidad asistencial en el caso de que lo requiriesen los afectados y para la docencia e investigación en procesos podológicos infantiles. Al finalizar el estudio, cada una de las familias recibirá un informe para conocer las características podológicas de sus hijos.

Esperamos que valoren positivamente la realización de esta actividad y colaboren en este proyecto, quedando a su disposición para cualquier información relacionada con la salud de los pies de sus hijos.

Atentamente, le enviamos un cordial saludo.

Si desea que le realicen el estudio a su hijo, rellena los datos y entrega esta hoja a su tutor.

D./Dña..... con DNI.....

Padre, Madre o Tutor del alumno/a.....
del Colegio San Francisco de Asís, Lorca.

Autorizo la realización de la exploración podológica a mi hijo/a durante el periodo de primaria.

Firma,

ANEXO 12. HOJA DE RECOPIACIÓN DE DATOS.

Name y Nº=

Age:

• Anthropometry

Weight

Height

- FPI

	FACTOR	PLANE	SCORE 1		SCORE 2	
			Date _____ Comment _____		Date _____ Comment _____	
			Left -2 to +2	Right -2 to +2	Left -2 to +2	Right -2 to +2
Rearfoot	Talar head palpation	Transverse				
	Curves above and below the lateral malleolus	Frontal/ transverse				
	Inversion/eversion of the calcaneus	Frontal				
Forefoot	Prominence in the region of the TNJ	Transverse				
	Congruence of the medial longitudinal arch	Sagittal				
	Abd/adduction forefoot on rearfoot	Transverse				
TOTAL						

LUNGE TEST

Lunge test Right: _____

Lunge test Left: _____

- TEST RCSP

Left _____

Right _____

- Beighton scale

Test	Asignación de puntaje
1) Passive dorsiflexion of the little fingers beyond 90°	Right: Left:
2) Passive approximation of the thumb to the ventral aspect of the forearm.	Right: Left:
3) Hyperextension of the elbow joint beyond 10°	Right: Left:
4) Hyperextension of the knee joint beyond 10°	Right: Left:
5) Placing the palms of the hands on the floor while keeping the knees in full extension	
score out of 9	

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA

- **Lower Limb Assessment Score (LLAS)**

	LEFT		RIGHT	
Hip flexion	YES	NO	YES	NO
Hip abduction	YES	NO	YES	NO
Knee hyperextension	YES	NO	YES	NO
Knee anterior drawer test	YES	NO	YES	NO
Knee rotation	YES	NO	YES	NO
Ankle dorsiflexion	YES	NO	YES	NO
Ankle anterior drawer test	YES	NO	YES	NO
Subtalar inversion	YES	NO	YES	NO
Midtarsal inversion	YES	NO	YES	NO
Midtarsal ab/adduction and dorsi/plantarflexion	YES	NO	YES	NO
Metatarsophalangeal movement	YES	NO	YES	NO
Excessive subtalar joint pronation (weight-bearing)	YES	NO	YES	NO
	Total: score out of 12			

ANEXO 13. HOJA DE RECOOILACIÓN DE DATOS.

- **Ankle Strength**

1. Right inversion strength
2. Right inversion strength
3. Right inversion strength

1. Left inversion strength
2. Left inversion strength
3. Left inversion strength

1. Right eversion strength
2. Right eversion strength
3. Right eversion strength

1. Left eversion strength
2. Left eversion strength
3. Left eversion strength

1. Right plantarflexion strength
2. Right plantarflexion strength
3. Right plantarflexion strength

1. Left plantarflexion strength
2. Left plantarflexion strength
3. Left plantarflexion strength

1. Right dorsiflexion strength
2. Right dorsiflexion strength
3. Right dorsiflexion strength

1. Left dorsiflexion strength
2. Left dorsiflexion strength
3. Left dorsiflexion strength

- TRF: _____

5-JT: _____

ANEXO 14. HOJA DE RECOPIACIÓN DE DATOS.

- 6MWT: _____ meters
- 10MWT: _____ seconds
- 10MRT: _____ seconds

Anexo 15. FAFI.

FAFI	IZQUIERDA		DERECHA	
Dorsiflexión de tobillo. El paciente se encuentra en decúbito supino; la rodilla está flexionada a 45°; con una fuerza de moderada a fuerte se flexiona el tobillo. ¿El tobillo se flexiona más de 15 grados? Junto con el aumento del movimiento, puede haber abultamiento de la piel y la grasa subcutánea anterior al tobillo.	SI	NO	SI	
Prueba del cajón anterior del tobillo. El paciente se encuentra en decúbito supino; la rodilla está flexionada a 45°; el examinador agarra el talón a lo largo de las superficies plantar y posterior con una mano y aplica una fuerza estabilizadora contra la parte anterior de la tibia con la otra mano. Usando una fuerte fuerza anterior, ¿se pueden llevar el calcáneo y el astrágalo hacia adelante sobre la tibia? Cualquier movimiento hacia adelante que se sienta es un resultado positivo.	SI	NO	SI	
Inversión subastragalina. El paciente está en decúbito supino con los pies sobre el extremo de la camilla; el examinador sostiene la superficie posterior del talón y mueve el talón en inversión sin mover la pierna. ¿Se observa una inversión excesiva de la articulación subastragalina utilizando una fuerza mínima? La planta del pie o la visualización del cuello del astrágalo debe mostrar un movimiento de 45° hacia adentro, la cabeza lateral del astrágalo será muy prominente.	SI	NO	SI	
Inversión mediotarsiana. El paciente está en decúbito supino con los pies sobre el extremo de la camilla; la articulación mediotarsiana está aislada de la articulación subastragalina; el antepié se agarra de lateral a medial a lo largo de los metatarsianos; sólo se aplica una fuerza mínima o moderada para invertir la articulación mediotarsiana. ¿La articulación mediotarsiana se invierte más de 45° de modo que la superficie plantar de las cabezas de los metatarsianos pueda llevarse 45° hacia adentro?	SI	NO	SI	
Abducción/aducción mediotarsiana y dorsi/flexión plantar. El paciente está en decúbito supino con los pies sobre el extremo del sofá; el examinador agarra y estabiliza el retropié; el antepié se mueve en dirección de abducción/aducción y dorsi/flexión plantar.	SI	NO	SI	
Movimiento metatarsofalángico. El paciente está en decúbito supino con los pies sobre el extremo de la camilla; El hallux se flexiona dorsalmente utilizando una fuerza mínima –	SI	NO	SI	

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

moderada. ¿El hallux dorsiflexiona fácilmente más allá de los 90° con respecto al metatarsiano?			
---	--	--	--

Para puntuar, cada miembro se calcula por separado dando una puntuación izquierda y una puntuación derecha. Cada Sí recibe una puntuación. Está disponible un total de 6 puntos. El punto de corte es 4 sobre 6.

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA HIPERMOVILIDAD CON EL MOVIMIENTO Y POSTURA
DE PIE-TOBILLO EN UNA POBLACIÓN PEDIÁTRICA**

12. PUBLICACIONES

Artículo 1. Martínez-Sebastián C, Molina-García C, Ramos-Petersen L, Gijón-Noguerón G, Evans AM. Evaluation of the Relationship between Lower Limb Hypermobility and Ankle Muscle Strength in a Paediatric Population: Protocol for a Cross Sectional Study. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Jun 14;19(12):7264. doi: 10.3390/ijerph19127264. PMID: 35742512; PMCID: PMC9223762.



International Journal of
Environmental Research
and Public Health



Protocol

Evaluation of the Relationship between Lower Limb Hypermobility and Ankle Muscle Strength in a Paediatric Population: Protocol for a Cross Sectional Study

Carlos Martínez-Sebastián ¹, Cristina Molina-García ², Laura Ramos-Petersen ^{2,*}, Gabriel Gijón-Noguerón ^{1,3,4} and Angela Margaret Evans ⁵

- ¹ Nursing and Podiatry, Universidad de Malaga Facultad de Ciencias de la Salud, 29071 Malaga, Andalucía, Spain; carlosmarseb@uma.es (C.M.-S.); gagijon@uma.es (G.G.-N.)
 - ² Department of Podiatry, Universidad Católica San Antonio de Murcia, Campus de los Jeronimos, Guadalupe, 30107 Murcia, Spain; cmolina799@ucam.edu
 - ³ Department of Nursing and Podiatry, University of Malaga, 29071 Malaga, Andalucía, Spain
 - ⁴ Instituto de Investigación Biomedica de Malaga (IBIMA), 29010 Malaga, Andalucía, Spain
 - ⁵ Discipline of Podiatry, School of Allied Health, Human Services and Sport, La Trobe University, Melbourne 3086, Australia; angela.evans@latrobe.edu.au
- * Correspondence: lrpetersen@ucam.edu



Citation: Martínez-Sebastián, C.; Molina-García, C.; Ramos-Petersen, L.; Gijón-Noguerón, G.; Evans, A.M. Evaluation of the Relationship between Lower Limb Hypermobility and Ankle Muscle Strength in a Paediatric Population: Protocol for a Cross Sectional Study. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2022**, *19*, 7264. <https://doi.org/10.3390/ijerph19127264>

Academic Editors: Paul B. Tchounwou and Peter Ebeling

Received: 17 March 2022

Accepted: 11 June 2022

Published: 14 June 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: The methodological heterogeneity in paediatric foot studies does not entail a stable foundation on which to focus the diagnosis and treatment of the various childhood foot problems. For this reason, the use of highly reliable tests is essential to find relationships and to establish a basis to guide the following studies. The main objective proposed in this cross-sectional observational study protocol is to examine the relationship between hypermobility (Lower Limb Assessment Score and Beighton score) and ankle muscle strength in different types of feet. The second objective is to describe the relationship between physical activity tests in children, and to compare with foot type and ankle muscle strength. The Strengthening Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) criteria will be followed. The hypermobility, posture, strength and physical condition tests will be analyzed through three stations, each one directed by a single specialist in paediatric podiatry. The study has been approved by the Ethics Committee of the Universidad Católica San Antonio de Murcia CE112104. The results will be disseminated regardless of the magnitude or direction of effect. Intra-examiner and inter-examiner reliability will be analyzed.

Keywords: paediatric; test; tool; strength; hypermobility; foot posture index; lunge; motor function

1. Introduction

The use of tests in the paediatric population is of great importance for assessment in diagnosis and treatment. Cochrane systematic reviews [1,2] on flat feet have confirmed that lack of evidence and clinical and methodological heterogeneity means that there are no firm conclusions on diagnosis and treatment in the child population. For this reason, many studies seek reliable measurement tools where they can find a stable base in paediatric research.

Which tests should be used in the paediatric population to assess foot and ankle function is a controversial topic, showing a lack of consensus on how foot and ankle function should be measured, defined, or assessed [3]. Therefore, high-reliability morphofunctional tests of the foot and ankle should be used [4–6] in order to establish an association between morphofunctional variants [7] and other variables, such as weight [8], laxity [9,10], and physical activity [11].

Previous observational studies suggested that certain specific lesions in the lower limb may correspond to different types of feet that are structurally distinguishable. A significant increased risk of stress injuries in pronated and supinated feet was associated with young

Artículo 2. Martínez-Sebastián, C.; Gijon-Nogueron, G.; Ramos-Petersen, L.; Morales-Asencio, J.M.; Molina-García, C.; Evans, A.M. Development, validation, and psychometric analysis of Foot and Ankle Flexibility Index (FAFI). *J. Tissue Viability* 2024, doi: 10.1016/J.JTV.2024.05.010.



Development, validation, and psychometric analysis of Foot and Ankle Flexibility Index (FAFI)[☆]

Carlos Martínez-Sebastián^a, Gabriel Gijon-Nogueron^{a,b}, Laura Ramos-Petersen^{a,*}, José Miguel Morales-Asencio^{a,b}, Cristina Molina-García^c, Angela M. Evans^d

^a Nursing and Podiatry, Universidad de Málaga Facultad de Ciencias de la Salud, 29071, Málaga, Andalucía, Spain

^b IBIMA, University of Málaga, Málaga, Spain

^c Department of Podiatry, Universidad Católica San Antonio de Murcia, Campus de los Jerónimos, Guadalupe, 30107, Murcia, Spain

^d Discipline of Podiatry, College of Science, Health, and Engineering, La Trobe University, Melbourne, Victoria, Australia

ARTICLE INFO

Keywords:
Hypermobility
Foot
Ankle
Paediatric
Joint

ABSTRACT

Aim: To develop a new tool for identifying joint hypermobility of the paediatric foot and ankle, based on a dichotomous scoring system utilising the Lower Limb Assessment Score (LLAS), to separate the foot and ankle items.

Material and methods: A total of 205 children, aged between 5 and 10 years, participated in a cross-sectional study. The new tool Foot and Ankle Flexibility Index (FAFI) was predicated upon the last 7 items of LLAS, which are specific to the foot and ankle. The internal consistency was measured with Cronbach's test. Kappa statistics with 95% CI were calculated to verify the level of inter-rater and intra-rater agreement for the FAFI.

Results: Cronbach's alpha returned 0.82. The correlations between items returned a mean of 0.59 (range: 0.43–0.74). The discrimination score on the ROC curve (4 points) showed that the model can be used to identify children with joint hypermobility of the foot and ankle. Inter-rater reliability was largely good (ICC = 0.89). Excellent intra-rater reliability was found (ICC = 0.96).

Conclusions: This study identified high reliability between evaluators, and high sensitivity and specificity, for a new reliable and valid tool for the identification of foot and ankle joint hypermobility.

1. Introduction

Joint hypermobility (JH) is considered to exist when the joint exceeds the range of normal limits within its physiological span, due to increased elasticity of the capsular and ligamentous tissues [1]. The physiologic joint range is dependent on age, sex, and ethnicity. JH has been shown to be inversely proportional to age; children are more flexible than adolescents, and adolescents are more flexible than adults [2]. The female sex is considered more hypermobile with a 2:1 or 3:1 ratio compared to the male sex [3]. Regarding ethnicity, it has been shown that Asian and African populations have more hypermobility than Caucasian populations [4,5].

This increase in the range of motion can be localized, affecting a particular joint, or it can affect multiple areas of the body. The term generalized joint hypermobility (GJH) is used when 5 or more joints are

involved [6].

The identification of GJH through the Beighton score has great international acceptance. The Beighton score consists of 5 tests with a predominance in the upper limb, and only one lower limb test, for knee extension [7]. The cut-off point in children is considered to be from 6/9 up to 4/9, it depends on the sex and age of the children adults [8]. The accuracy of the Beighton score to detect GJH is debated, given that the scoring focuses on the joints of the upper limb and does not encompass many major joints of the body, making direct identification of GJH difficult. The absence of assessment of the hip, ankle, and foot limits the Beighton score for assessment of joint hypermobility in the lower limbs.

Ferrari et al. [9] validated a lower extremity laxity test, the Lower Limb Assessment Score (LLAS). The LLAS provides a dichotomous scoring system where lower extremity hypermobility is assessed in detail across ranges of motion of the hip, knee, ankle, hindfoot, midfoot, and

[☆] This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

* Corresponding author. Department of Nursing and Podiatry. Faculty of Health Sciences, University of Málaga, Spain.

E-mail addresses: carlos_mar_seb@hotmail.com (C. Martínez-Sebastián), gagijon@uma.es (G. Gijon-Nogueron), lauraramos94@uma.es (L. Ramos-Petersen), jmmasencio@uma.es (J.M. Morales-Asencio), cmolina@ucam.edu (C. Molina-García), angela.evans@latrobe.edu.au (A.M. Evans).

<https://doi.org/10.1016/j.jtv.2024.05.010>

Received 25 October 2023; Received in revised form 26 April 2024; Accepted 21 May 2024

Available online 22 May 2024

0965-206X/© 2024 The Authors. Published by Elsevier Ltd on behalf of Tissue Viability Society / Society of Tissue Viability. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Please cite this article as: Carlos Martínez-Sebastián et al., *Journal of Tissue Viability*, <https://doi.org/10.1016/j.jtv.2024.05.010>

Artículo 3. Martínez-Sebastian C, Gijon-Nogueron G, Ramos-Petersen L, Molina-Garcia C, Sánchez-Gómez R, Evans AM. The resting calcaneal stance position (RCSP): an old dog, with new tricks. Eur J Pediatr. 2024 Mar;183(3):1287-1294. doi: 10.1007/s00431-023-05354-w. Epub 2023 Dec 16. PMID: 38103102; PMCID: PMC10951039.

European Journal of Pediatrics (2024) 183:1287–1294
https://doi.org/10.1007/s00431-023-05354-w

RESEARCH



The resting calcaneal stance position (RCSP): an old dog, with new tricks

Carlos Martínez-Sebastian¹ · Gabriel Gijon-Nogueron^{1,2} · Laura Ramos-Petersen¹ · Cristina Molina-García³ · Rubén Sánchez-Gómez⁴ · Angela M. Evans⁵

Received: 26 September 2023 / Revised: 22 November 2023 / Accepted: 25 November 2023 / Published online: 16 December 2023
© The Author(s) 2023

Abstract

The objective of this study was to establish the accuracy of the resting calcaneal stance position (RCSP) for the assessment of flat foot (FF) in children, aligned to the validity of the foot posture index (FPI). The RCSP cut-off point was explored, in context of both FF prevalence and the relationship between FF and body weight. A total of 205 healthy children, aged 5 to 10 years, participated in a cross-sectional study. Correlation was performed between RCSP and FPI. ROC curve technique was calculated to assess differentiation between groups. A score equal to or greater than 7 on the FPI was used as the 'gold standard' for analysis. The correlation between FPI and RCSP was significant ($r=0.63$; $p<0.01$). The discrimination score on the ROC curve (6 points/degrees) shows that the model can be used to identify FF through RCSP, with a sensitivity of 67% and specificity of 85% returned.

Conclusion: The results of this study indicate the role of RCSP for simple, accessible and quick screening of paediatric FF. This is especially pertinent for non-podiatric healthcare professional without specialised paediatric foot knowledge.

What is Known:

- Most children develop a normal arch quickly, and flat feet usually resolve on their own between 2 and 6 years of age.
- The measurement used to diagnose flat foot in children must be accurate, consistent, and valid to characterize the standard foot position. The Resting Calcaneal Stance Position (RCSP) is another widely used measure to evaluate the position of the flat foot in children.

What is New:

- The RCSP cut-off point 6 shows a sensitivity of 67% and a specificity of 85% thanks to the FPI as the Gold standard.
- The RCSP is useful for health professionals who are not specialised in pediatric foot health. The RCSP is useful to detect flat foot in children.

Keywords Flat foot · Children · Resting calcaneal stance position · Foot posture index

Communicated by Peter de Winter

✉ Laura Ramos-Petersen
lauraramos.94@uma.es
Carlos Martínez-Sebastian
carlos_mar_seb@hotmail.com
Gabriel Gijon-Nogueron
gagijon@uma.es
Cristina Molina-García
cmolina@ucam.edu
Rubén Sánchez-Gómez
Rusanc02@ucm.es
Angela M. Evans
angela.evans@latrobe.edu.au

- ¹ Department of Nursing and Podiatry, Faculty of Health Sciences, University of Malaga, 29071 Malaga, Andalucia, Spain
- ² IBIMA, University of Málaga, Malaga, Spain
- ³ Department of Podiatry, Universidad Católica San Antonio de Murcia, Campus de los Jeronimos, 30107 GuadalupeMurcia, Spain
- ⁴ Nursing Department, Faculty of Nursing, Physiotherapy and Podiatry, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, Spain
- ⁵ Discipline of Podiatry, College of Science, Health, and Engineering, La Trobe University, Melbourne, VIC, Australia

Springer