



FACULTAD DE ENFERMERÍA, FISIOTERAPIA Y PODOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE PODOLOGÍA
UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Tesis Doctoral

MODIFICACIONES EN EL PIE PRONADOR
DEL NIÑO TRAS ACTIVIDADES DE
RESISTENCIA Y SU RELACIÓN
CON EL CASANCIO FÍSICO

M^a Ángeles Gómez Benítez

Directores: Prof. Dr. Pedro V. MunueraMartínez
Prof. Dr. Javier Ramos Ortega

Sevilla, 2020



Departamento de Podología

Dr. D. JAVIER RAMOS ORTEGA, Profesor Contratado Doctor adscrito al Departamento de Podología de la Universidad de Sevilla, y Dr. D. PEDRO V. MUNUERA MARTÍNEZ, Profesor Titular de Universidad adscrito al Departamento de Podología de la Universidad de Sevilla,

HACEN CONSTAR:

Que D^a. M^a Ángeles Gómez Benítez ha realizado, bajo su dirección y coordinación, la tesis titulada: **“Modificaciones en el pie pronador del niño tras actividades de resistencia y su relación con el cansancio físico”** para optar al grado de Doctora por la Universidad de Sevilla, y que dicho trabajo reúne las condiciones necesarias para ser sometido a la lectura y discusión ante el tribunal.

Sevilla, a 4 de marzo de 2020.

Los Directores,

Dr. D. Javier Ramos Ortega

Dr. D. Pedro V. Munuera Martínez

LA INSPIRACIÓN Y TRABAJO POR DANI PÀMIES

«*Que la inspiración me encuentre trabajando*», decía Pablo Picasso. Y es que las nuevas ideas, las soluciones a los problemas, las vías alternativas, las alarmas que te saltan en ciertas situaciones, provienen de tener continuos estímulos a través del trabajo.

Para poder inspirar, has de tener ideas y visión. Y para ello, hemos de trabajar duro, parar, observar y reflexionar.

Así pues, el ciclo trabajo-inspiración-trabajo, conjugado con tiempos de parada y reflexión, nos permite tener esas ideas nuevas. Las ideas nos llegan porque hemos trabajado anteriormente. Tener idea es como tener suerte. Si trabajas enfocado y bien orientado, lo acabas obteniendo.

Si bien decía Thomas Edison «*El genio se hace con 1% de talento, y un 99% de constancia*»

AGRADECIMIENTOS

A los dos directores de mi tesis, al Dr. D. Pedro V. Munuera Martínez, por su inestimable ayuda, paciencia, ánimo, conocimiento y disposición absoluta en todo lo que he necesitado. Porque no podría haber realizado este proyecto sin esas pautas de asesoramiento científico, técnico y emocional que me ha proporcionado constantemente, y que tanto me han ayudado a elaborar este trabajo. Por haber confiado desde el principio en mis capacidades y en este proyecto.

A mi otro director, el Dr. D. Javier Ramos Ortega, por su tiempo, su ayuda y sus enormes conocimientos en el desarrollo de este trabajo. Ambos demuestran que juventud, valía y experiencia pueden ir de la mano. Realmente ha sido un honor haber podido contar con dos grandes profesionales y personas en la realización de esta Tesis Doctoral.

A mi amigo y profesor de educación física Manuel y a mi hermana Andrea, por la valiosa ayuda en el trabajo de campo, ambos ayudaron enormemente en la recogida de datos.

Al Dr. D. Francisco Contreras de Villar, por la efectiva y valiosa dedicación enseñándome de forma desinteresada a usar el AutoCad® en tan poco tiempo.

A mi amiga Estela por su ayuda incondicional, sumamente valiosa y sin ánimo de lucro en la lectura final. A mis compañeras de profesión y sobretodo amigas M. José, Lorena, Esperanza, Marina y Ada por su ánimo y apoyo. A mi pareja, por apoyarme siempre. Por soportar mis días de agobios y por creer en mí y en mis capacidades.

A los padres y profesores de los dos centros escolares donde se ha realizado el trabajo de campo. Agradecimiento especial a los Directores de los colegios, por la predisposición y facilidades en el acceso a la comunidad escolar, materiales y aulas. Y, por último, no quiero olvidar a los verdaderos protagonistas de este proyecto, a todos aquellos escolares que han formado parte de este estudio.

-Por eso y mucho más, gracias a todos-

A mi padre, por su apoyo y confianza en todo momento, por haberme motivado e inculcado la capacidad de superación durante tantos años, por haberme labrado un futuro que ahora es presente y culmina aquí, en la presentación de mi tesis. GRACIAS, por ser el pilar fundamental de mi vida, la fuerza en mi debilidad y el colchón en mis caídas.

**«Modificaciones en el pie pronador
del niño tras actividades de
resistencia y su relación con el
cansancio físico»**

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ASA	Articulación Subastragalina
FPI	Foot Posture Index
PCERT	Pictorial Children´s Effort Rating Table
FRS	Fuerza de Reacción del Suelo
VGRF	Fuerza de Reacción Vertical del Suelo. Término Anglosajón.
HAV	Hallux Abductus Valgus
Psi	Libras por pulgada cuadrada. Unidad de presión del sistema métrico anglosajón
DF	Dorsal-Flexionado
DT.	Desviación Típica
Máx.	Máximo
Mín.	Mínimo
NS/NC	No Sé/No Contesta
Dcho.	Derecho
Izq.	Izquierdo
IMC	Índice de Masa Corporal
MMII	Miembros Inferiores
V _{O2}	Volumen de Oxígeno
OMS	Organización Mundial de la Salud
O ₂	Oxígeno

ALI	Arco Longitudinal Interno
Ppm	Pulsaciones por minuto
FC	Frecuencia Cardíaca
C.E.I.P	Colegio de Educación Infantil y Primaria
I.E.S	Instituto de Educación Secundaria

ÍNDICE

ÍNDICE

1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	5
2.1. Planteamiento del problema de investigación.....	5
2.2. Justificación	8
3. MARCO TEÓRICO	13
3.1. Aspectos morfo-funcionales del pie.....	13
3.1.1. Normalidad del pie.....	14
3.1.2. Evolución normal / patológica del pie.....	15
3.1.3. Concepto de pie plano / pie pronador.....	18
3.1.4. Patomecánica del pie plano / pie pronador.....	20
3.1.5. Importancia del pie en el deporte.....	24
3.1.6 Fatiga muscular.....	26
3.2. Pruebas físicas.....	30
3.2.1. Capacidades físicas básicas.....	30
3.2.2. Evolución de la capacidad física básica en el escolar.....	33
4. OBJETIVOS	39
5. HIPÓTESIS	43
6. MATERIAL Y MÉTODO.....	47
6.1. Diseño de estudio	47

6.2. Población de estudio	47
6.3. Cálculo del Tamaño Muestral	48
6.4. Tipo de muestreo.....	49
6.4.1. Criterios de Inclusión.....	49
6.4.2. Criterios de Exclusión.....	50
6.5. Características generales de la Muestra	50
6.6. Variables del estudio	51
6.7. Recursos humanos y materiales	55
6.8. Medición de la percepción del cansancio (PCERT), la postura del pie (FPI-6) y la huella plantar (Arch Index y Ángulo de Clark).....	58
6.8.1. Pictorial Children´s Effort Rating Table (PCERT).....	58
6.8.2. El Foot Posture Index (FPI) o Índice de Postura del Pie (IPP).....	60
6.8.3. El Arch Index.....	62
6.8.4. El Ángulo de Clark.....	64
6.9. Protocolo de investigación	67
6.9.1. Solicitud del consentimiento informado y diseño de la hoja de recogida de datos.....	67
6.9.2. Recogida de datos.....	68
6.9.3. Aspectos Éticos.....	76
6.9.4. Análisis estadístico.....	77
7. RESULTADOS	81
7.1. Análisis Descriptivo	81

7.1.1. Descripción del Grupo Control o pies neutros.....	81
7.1.2. Descripción del Grupo Casos o pies pronadores.....	85
7.1.3. Otras variables descriptivas.....	88
7.2. Análisis Exploratorio Previo	91
7.2.1. Estudio de las variables Edad, IMC, Sexo, FPI, Arch Index, Ángulo de Clark, y la variable veces a la semana que hacen deporte los niños pre-actividad.....	91
7.3. Pruebas de contraste.....	93
7.3.1. PCERT.....	93
7.3.2. FPI.....	93
7.3.3. Arch Index.....	94
7.3.4. Ángulo de Clark.....	96
7.3.5. Pruebas físicas.....	98
7.3.6. Otras variables.....	99
8. DISCUSIÓN.....	103
8.1. Objetivo principal: Valorar si los niños con pies pronadores se cansan más respecto a los niños con pies neutros tras la práctica deportiva.....	113
8.2. Objetivo secundario nº1: Comprobar si hay cambios en la postura del pie de los niños después de la actividad física en ambos grupos.....	117
8.3. Objetivo secundario nº2: Comprobar si hay cambios en la huella plantar de los niños después de la actividad física en ambos grupos.....	119
8.3.1 Para el Arch Index.....	119
8.3.2 Para el Ángulo de Clark.....	120

8.4. Objetivo secundario n°3: Determinar si los posibles cambios son más llamativos en los niños con pies pronadores respecto a los neutros	123
8.5. Objetivo secundario n°4: Comparar si ambos grupos obtienen resultados similares o no tras las pruebas físicas de resistencia.....	127
8.6. Otras variables del estudio.	130
8.7. Aplicabilidad de los resultados	135
8.8. Limitaciones y fortalezas del estudio.....	136
8.9. Prospectiva de futuro	137
9. CONCLUSIONES	141
10. BIBLIOGRAFÍA	145
11. PRODUCCIÓN CIENTÍFICA RELACIONADA CON LA TESIS.....	175
12. ANEXOS	180

RESUMEN

1. RESUMEN

Objetivo. Valorar la percepción del cansancio en los niños con pies pronadores, en relación con las modificaciones que sufre la postura del pie y la huella plantar, tras ejercicios de resistencia de tipo aeróbicos. Esto es, cómo la fatiga muscular desencadenada en estos tipos de pies, tras un aumento de las sollicitaciones mecánicas, podría influir en el cansancio físico generalizado expresado por el niño. Este estudio podría llevarnos a conocer si existe alguna relación en la percepción del cansancio físico en relación con la tipología de pies. Todo ello, podría ayudarnos a conseguir una mejor comprensión y desarrollo de estrategias de prevención específicas del tipo de pie y su posible repercusión en la actividad física futura.

Metodología. Se realizó un estudio de tipo Analítico, Trasversal y Observacional. 105 escolares de edades comprendidas entre 10-12 años fueron reclutados y divididos en dos grupos: el grupo casos o pies pronadores y el grupo control o pies neutros. Se valoró la postura del pie mediante el FPI-6 y la huella del pie con una pedigrafía antes y después de ejercicios de resistencia de tipo aeróbicos, para posteriormente valorar el Arch Index y el Ángulo de Clark, mediante el programa informático AutoCad® a cada huella. Los ejercicios de resistencia consistían en 6 estaciones donde cada niño permaneció 30 segundos. En cada estación fuimos calculando el número de repeticiones que realizaba el niño. Una vez realizados los ejercicios, se pasó el test del Pictorial Children's Effort Rating Table (PCERT), para que puntuaran en la escala numérica del 1 al 10 su percepción del cansancio.

Resultados. La muestra se compuso por el grupo pies pronadores (n=42) y el grupo pies neutros (n=63), con una edad media ($10,46 \pm 0,785$). La muestra fue homogénea en cuanto a sexo, edad e IMC ($p>0,05$) y respecto a la variable “veces a la semana que realizaban deporte los niños” ($p>0,05$).

Los niños con pies pronadores incluidos en este estudio se cansaron más respecto a los niños con pies neutros tras los ejercicios de resistencia ($p=0,001$). Los pies pronadores mostraron cambios significativos en la huella plantar tras la actividad ($p<0,01$), sin embargo, no hubo evidencia significativa de que los cambios producidos en

la postura del pie de los niños fuesen mayores en el grupo pies pronadores, a pesar de que los resultados descriptivos fueron clínicamente relevantes. Respecto a las pruebas físicas, ambos grupos obtuvieron resultados similares ($p>0,05$)

Conclusiones. Estos resultados sugirieron que existe una relación entre los cambios producidos en la huella plantar y la postura del pie tras los ejercicios de resistencia, y la aparición del cansancio físico y el dolor muscular. Por ello recomendamos, la realización de un estudio biomecánico para detectar la causa de estas alteraciones e instaurar un tratamiento. La correlación encontrada en esta investigación podría servir de base para que futuras investigaciones analicen si el cansancio y el dolor de los pies y/o piernas, disminuye con el uso de tratamiento ortopodológico en sujetos con pies pronadores.

INTRODUCCIÓN

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Planteamiento del problema de investigación

Es frecuente oír a los padres decir “Mi hijo se cansa con facilidad cuando estamos durante mucho tiempo de pie, se queja cuando caminamos durante un largo periodo, empieza a sentir molestias y dolor en sus pies. Nos dice que está cansado, que quiere sentarse o que lo cojamos en brazos”. Este problema es un tema de gran preocupación para los padres y se ha convertido hoy en día, en un motivo de consulta bastante frecuente.

La siguiente investigación surge ante la necesidad de dar respuesta y solución a esta habitual situación que se le presenta a los padres, y que iremos desarrollando a lo largo de este proyecto.

En nuestra edad escolar, todos hemos asistido a la rivalidad en educación física, y hemos observado que había niños más retraídos, que se cansan con más facilidad y que a menudo están asociados a problemas de sobrepeso y dificultad psicomotriz, normalmente son niños menos participativos y esto desencadena un círculo vicioso. Estos niños en general, aunque no siempre, son portadores de un “mal pie”, son los niños injustamente denominados socialmente “torpones” y a los que muchas veces no se les presta la atención debida para incorporarlos a la dinámica del resto de la clase (1).

El pie, como primer eslabón en la cadena, se considera de especial importancia en el deporte y en cualquier tipo de actividad diaria, constituyendo la base de apoyo para el resto de movimientos del cuerpo. La funcionalidad del pie humano está claramente influenciada por su estructura (2), ya que gracias a la forma cupular de la bóveda plantar y sus puntos de apoyo en talón y metatarsianos, es capaz de soportar todo el peso del cuerpo sin hundirse (3). Si bien expresa Rodríguez-Valverde en sus numerosas charlas, másteres y libros “Los pies son nuestros cimientos y las extremidades inferiores los pilares que sostienen el resto del cuerpo” (4). Esta importancia de la salud y la función del pie, es clave para el bienestar de las personas y se hace evidente desde edades muy tempranas (5).

Los cambios asociados a la infancia, en ocasiones producen susceptibilidad ante la aparición de ciertas patologías o enfermedades. Una de las más frecuentes en el pie es el pie pronador o pie valgo, que presenta en la gran mayoría de los casos una alteración de la articulación subastragalina (a partir de ahora, ASA). La evaluación, el pronóstico y el tratamiento del pie valgo ha sido un área de continuo debate en la comunidad ortopédica y podológica durante los últimos 100 años.

Biomecánicamente, es razonable considerar que la existencia de pequeñas alteraciones en la estructura o alineación del pie y/o tobillo podrían alterar los planos fisiológicos de trabajo de cualquier articulación, sobre todo si se trata de articulaciones como la rodilla, cuya misión es soportar cargas elevadísimas en la práctica deportiva (6). La repercusión de este pie en el resto del aparato locomotor alteraría los ejes de trabajo de los distintos segmentos del miembro inferior, rodillas y cadera principalmente (7). El cuerpo se sostiene gracias a las partes blandas (músculos, ligamentos, tendones y fascia) que sujetan a los huesos, gracias a las cadenas musculares, y cualquier cambio en sus ejes alterará el centro de gravedad (4). Como bien dice Rodríguez-Valverde, “cualquier alteración posicional del hueso o de las partes blandas localizadas en pie o pierna, repercutirá en el resto de nuestro edificio” (4).

Hoy en día, dado el impacto que supone el deporte en nuestra sociedad, el interés por conocer los mecanismos biomecánicos que inducen a fatiga muscular, cansancio precoz, sobrecarga muscular, disminución del rendimiento y lesión, es un área que debe estar en constante estudio para clínicos e investigadores.

Numerosos autores coinciden que en el pie pronador, existe una alteración de los ejes de movimiento, lo que podría favorecer a que los músculos de la pierna y del pie, tiendan a la fatiga con facilidad (1,4,6-9); acentuándose en actividades prolongadas, deportivas o donde se requiere de un mayor gasto energético (1). Los síntomas incluyen sensación de incomodidad, dificultades para estar de pie o caminar de forma prolongada, calambre, dolor; que en su mayoría se sitúa en la cara plantar del pie, en la parte posterior de la pantorrilla (10) y/o zona posterior del talón (9,10).

Aunque se sabe que los diferentes tipos de pies pueden modificar su cinemática (11), su presión plantar (10,12-15), su huella plantar (16-20), su postura del pie (15,20-23) y su electromiografía (EMG) (24), tras ciertas actividades donde se precisa de un

mayor gasto energético; es frecuente leer en los numerosos artículos, cómo los autores dan una explicación a los hechos, justificando que esas modificaciones son consecuencias de alteraciones en el equilibrio musculo-ligamentoso, el cual incapaz de soportar dichas estructuras, impide realizar los movimientos con normalidad. Esto fomenta el agotamiento extremo de las fibras musculares y por consiguiente, la fatiga muscular, aumentando el gasto de energía al caminar y con ello el consumo de oxígeno (8). Cuando la tensión músculo-ligamentosa llega a ser intensa, podría contribuir a la incidencia de lesiones (11,13,25–27), tal y como se explica en la curva tensión-deformación de la teoría del stress de tejidos (28).

Los cambios que se producen en el pie y su repercusión en el resto del cuerpo, podrían influir en el rendimiento deportivo, condicionando la preferencia de los sujetos por un determinado deporte o simplemente influyendo en su vida diaria.

A pesar de la importancia de este hecho, según el conocimiento de los autores, no han sido encontrados estudios, que relacionen la percepción del cansancio en niños con la tipología de pies después de una actividad física. Así pues, son prácticamente escasos los estudios que valoran conjuntamente las modificaciones de la postura del pie y de la huella plantar tras una actividad física en niños. Así mismo, fue difícil encontrar estudios que realizaran las valoraciones del rendimiento de los diferentes tipos de pies, exclusivamente mediante pruebas de resistencia.

En definitiva, lo que se pretende investigar con este trabajo es si la fatiga muscular desencadenada tras un ejercicio físico es interpretada por el niño como una sensación de cansancio general, y pudiera tener alguna relación con la tipología de pies. Para ello, estudiaremos si los niños con pies pronadores se cansan más que los niños con pies neutros tras la actividad física, si los pies de los niños presentan cambios tras la actividad, y si estos cambios son mayores en los individuos con pies pronadores respecto a los neutros. Estos fenómenos son fundamentales para evaluar la percepción del cansancio en el deporte, en relación con la tipología de pies y especialmente como podría influir todo esto en el rendimiento físico deportivo del niño.

2.2. Justificación

El hecho de realizar este estudio se debe, por un lado, a la falta de estudios que asocien el cansancio físico en niños en relación con la tipología de pies después de una actividad física. Y, por otro lado, a la cuantiosa controversia existente sobre si el pie pronador presenta algún tipo de desventaja respecto al pie neutro en actividades deportivas, y si fuese necesario por tanto, establecer tratamiento ortopodológico. Ya que la prevención y mejora de las alteraciones biomecánicas en etapas infantiles mediante soportes plantares, es un dato importante a tener en cuenta, puesto que supondría un avance interesante para la Podología infantil.

El estudio del cansancio mediante diversas escalas de percepción ha sido muy tratado en el ámbito de la actividad física y el deporte, y gracias a estas escalas se puede conocer la intensidad de un determinado ejercicio en un grupo de niños o adultos. Sin embargo, el acercamiento de esta variable a la Podología no se ha llegado a investigar de igual manera.

El cansancio, como síntoma físico, hace referencia a una percepción subjetiva que el individuo reconoce como anómala. Es una señal que se le da gran importancia en todas las disciplinas sanitarias, no siendo menos en la Podología.

Incorporar el estudio del cansancio en este proyecto, nos ofrecería una visión más allá del pie y del tobillo, nos permitiría comprender si existe una relación causa-efecto entre el cansancio expresado por los padres en consulta, la tipología de pies, y en particular, si el pie pronador fomentaría este efecto. Aquí, es donde estriba la pertinencia y novedad del trabajo en cuestión.

Consideramos que la discrepancia existente sobre si el pie pronador presenta algún tipo de desventaja respecto al pie neutro, pueda deberse probablemente a la diversa variedad de métodos de calificación de los diferentes tipos de pies, lo que ha generado cuantiosa controversia entre la comunidad científica.

Hasta el momento, los estudios se han enfocado en determinar si pacientes con un tipo de pie (plano o cavo), presentaban algún tipo de desventaja o modificación en su

estructura y/o funcionalidad respecto a los pies neutros, sometiendo previamente a los individuos a una actividad física prevista y determinándolo mediante diferentes métodos:

- Existen estudios que tan sólo sometieron a los individuos a diversas pruebas físicas (resistencia, velocidad, fuerza etc.), para valorar si ambos tipos de pies eran capaces de superarlas por igual, o simplemente para demostrar qué tipo de pie cumplía mejor las expectativas de las pruebas deportivas (27,29–33).

- Otros, analizaron los pies mediante el examen de la huella plantar, pues las variaciones en el pie pueden escaparse de la valoración visual y así quedan reflejadas a papel (13,16–20).

- También se evaluaron mediante el estudio de las presiones plantares, utilizando plataformas de presiones (10–12,14,15,25,34). Incluso otros, lo analizaron mediante el estudio del Foot Posture Index (a partir de ahora FPI) (15,20–23).

La controversia entre los diferentes autores es relevante. Por un lado, los que estudiaron los diferentes tipos de pie exclusivamente mediante el rendimiento motor en diversas actividades físicas, manifestaron que ningún tipo de pie (cavo, plano, neutro) fue mejor que otro en las pruebas físicas (27,29,30,32,33). Otros sin embargo, expresaron que los pies pronadores presentaron peores resultados en las tareas atléticas realizadas (31). Incluso a veces, los resultados significativos solo fueron para algunas de las pruebas realizadas, pues en el estudio de Roohi et al (35), únicamente los resultados de agilidad y equilibrio estático mostraron ser significativamente peores para el grupo pies planos respecto al grupo control.

Por otro lado, aquellos autores que valoraron los tipos de pie mediante el análisis de las presiones plantares y la huella plantar, indicaron que hubo modificaciones entre ambos tipos de pies tras la actividad física realizada (13,14,16–18).

Aquellos que valoraron los pies mediante plataformas de fuerzas, afirmaron que el pie pronador presentaba una alteración del movimiento de pronación, un incremento del área de contacto y de las fuerzas máximas pronadoras en la parte medial del pie, una prolongada eversión del calcáneo, un aumento de la rotación interna de la tibia y de la

abducción del antepié, una eficiencia reducida en la marcha y una reducción de la absorción de choque respecto a los pies neutros (10–12,25).

Son más consistentes aquellos estudios que analizaron el pie, combinando métodos de valoración de la huella plantar (ya sea con pedigrafía, plataformas de presiones, escáneres, etc.), junto al estudio de la postura del pie mediante el FPI (21,22). La valoración del pie en los tres planos del espacio aporta una visión global del pie y más acorde a la posición que adquiere en la realidad. Teyhen et al (22) afirmaron que utilizar el FPI junto con otras mediciones, proporcionaba un punto de vista biomecánico que ayudaba a comprender el funcionamiento del pie en la marcha.

El análisis del pie antes y después de una actividad, nos ofrece la posibilidad de comparar los valores iniciales (pre-) con los finales (post-). En investigación, es fundamental tanto la comparación con un grupo control como con el estado inicial del estudio, lo que permite dar conclusiones con fundamento científico. Muchos de los artículos encontrados, se limitaron al análisis del pie post-actividad, impidiendo su comparación con el comportamiento previo a la actividad (12,16,17,21), la mayoría de estos estudios fueron llevados a cabo en adultos y no en niños.

Por ello, y a diferencia de los estudios existentes hasta el momento, nuestro estudio se basará en valorar la percepción del cansancio en los niños y su posible relación con la tipología de pies. Para ello, analizaremos las modificaciones de la postura del pie y de la huella plantar, antes y después de ejercicios de resistencia en niños con pies pronadores.

Estimamos que la elaboración de nuestro trabajo está plenamente justificada por los beneficios que podría aportar a la hora de comprender el funcionamiento del pie, prevenir futuras lesiones y deformidades, llegar a un consenso de si el tipo de pie influye o no en el rendimiento deportivo y en el cansancio general del individuo y, por tanto, si precisase del empleo de ortesis plantares. Todo ello podría llevarnos a conseguir una mejor comprensión y desarrollo en estrategias de prevención específicas del tipo de pie y su posible repercusión en la actividad física futura.

MARCO TEÓRICO

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Aspectos morfo-funcionales del pie

Dentro del miembro inferior (a partir de ahora MMII) del ser humano, el complejo tobillo-pie constituye el último eslabón articular de la cadena, precedido por la cadera y la rodilla. Tanto el pie como el tobillo constituyen elementos esenciales en el mantenimiento de la bipedestación y la marcha.

La articulación del tobillo, también llamada tibiotarsiana, es una articulación tipo tróclea que condiciona los movimientos del pie con relación a la pierna dentro del plano sagital. Dicha articulación, forma parte del complejo articular del retropié, juntamente con la ASA y la articulación peroneotibial inferior. Este conjunto de articulaciones, con ayuda de la rotación axial de la rodilla, tiene las mismas funciones que una sola articulación de tres grados de libertad de movimiento, que permite orientar la bóveda plantar en todas las direcciones para que se adapte a las variaciones del terreno, de ahí los cambios que sufre la postura del pie cuando caminamos. Es indispensable que exista un funcionamiento adecuado para que se pueda realizar la marcha de forma correcta, tanto si se desarrolla en terreno llano como accidentado. Además, es capaz de soportar todo el peso del cuerpo, que puede llegar a duplicarse cuando el pie contacta con el suelo a cierta velocidad durante la marcha, la carrera o el salto (36).

Los movimientos que realiza la ASA, vienen determinados por un eje común, siendo éste triplanar (permitiendo movimiento en los tres planos). (*figura 1*)

- ✚ Eje transversal: donde discurren los movimientos de flexión y extensión.
- ✚ Eje longitudinal: condiciona los movimientos de abducción y aducción.
- ✚ Eje longitudinal del pie o eje en Z: donde se desarrollan los movimientos de pronosupinación.

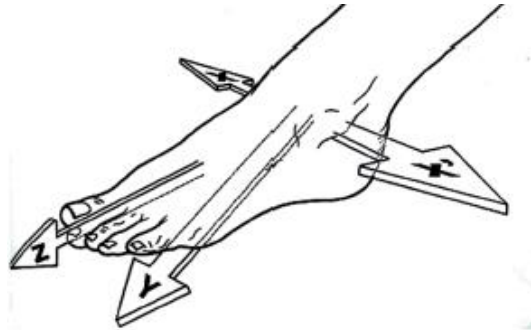


Figura 1: Complejo articular tobillo y pie. Fuente: Kapandji (36).

3.1.1. Normalidad del pie

Root (37) estableció los criterios biofísicos de normalidad para definir la relación física ideal entre los segmentos óseos de la pierna con el pie. Para ello, determinó como pie normal: “Un conjunto de circunstancias por medio de las cuales el pie, funcionará de una manera que no creará adversidad física o respuesta emocional en el individuo. Esto se refiere a cuando se usa la extremidad inferior de forma corriente y en ambiente habitual, como dictan las necesidades de la sociedad en el momento”.

Kirby (38) posteriormente, estableció como “pie normal”, aquel que presenta una función normal durante la marcha, sin historia de traumatismo significativo, cirugía, dolor, o deformidad trascendental. Según Kirby, la función normal del pie viene determinada por la localización del eje de la ASA. Para ello, un eje que no se encuentre medializado, ni lateralizado, hará que la función articular y musculo-ligamentosa del pie sea normal.

Rueda (39) insistió en que es difícil catalogar un “pie normal” en términos absolutos. No sólo porque siempre debe ser valorado de forma global, y por tanto relacionado con el resto de las estructuras que soporta, sino que además es importante tener presente sus distintos comportamientos funcionales, desde la sedestación a la estática pasando por la dinámica. Para ello, considera como “normal” “aquel pie que esté

biomecánicamente equilibrado, considerando no siempre normal el pie asintomático, pues gran número de patologías estructurales no se manifiestan de forma inmediata, sino a largo plazo, cuando nuestro organismo resulta insuficiente para reparar los daños causados por un desajuste mecánico”.

Moreno de la Fuente (7) amplió los términos, definió el pie neutro/normal haciendo referencia a aquel pie que presenta una “distribución correcta de la carga en posición estática, con un adecuado equilibrio muscular y ausencia de dolor y contracturas”.

McPoil y Hunt (28) puntualizaron que no era tan importante un modelo de comportamiento ideal del pie, como el estrés (tensil o compresivo) al que pueden estar expuestos los tejidos. La curva tensión-deformación y conceptos como la fatiga y rigidez de un tejido, aportan las claves para comprender el desarrollo de las alteraciones patológicas y futuras lesiones.

Además de todo esto, es imprescindible tener en cuenta los periodos de cambios que están presentes durante el crecimiento, para diferenciar los procesos fisiológicos de los patológicos, si la morfología del pie se corresponde a una alteración estructurada o flexible, y si se debe a una laxitud patológica o a un proceso de maduración de las estructuras (40).

3.1.2. Evolución normal / patológica del pie

Las características morfológicas en el pie humano varían con la edad y entre individuos (41). En la edad escolar, los pies están en desarrollo hasta la maduración definitiva, es decir, están en una situación cambiante. Aspecto a tener en cuenta, porque en el estudio del pie a estas edades debe predominar el concepto de pie equilibrado sobre el de pie normal (42).

Por regla general, los niños nacen con un pie plano valgo laxo que se considera fisiológico desde el nacimiento y comienzo de la marcha (43–46). Este pie, típico de la infancia o niñez, se caracteriza por la presencia abundante de grasa plantar, aumento de

laxitud ligamentosa (44–47), valgo de retropié e imagen de doble maléolo (44) (figuras 2 y 3). El pie plano valgo laxo infantil es una variación normal, no causa discapacidad y tiende a mejorar con el tiempo (43,47–49).



Figura 2: Pie plano valgo laxo del niño.



Figura 3: Manifestación de hiperlaxitud en niños. Cortesía Dr. Guillermo LaFuente.

En el momento de nacer, el pie del niño presenta ya muchas estructuras formadas y definidas, pero se trata de una formación integrada principalmente por cartílagos. Los pies van madurando a partir de ese momento y durante el proceso de crecimiento los huesos se van consolidando, empiezan a ocupar su posición funcional y van tomando forma las estructuras que determinan el funcionamiento del pie (50). Ya desde el inicio de la deambulación, según Rodríguez-Valverde, se evidencia perfectamente como apoyarán esos pies en la edad adulta. Según el autor, a los tres meses de iniciar la marcha, ya es posible observar con claridad la alteración biomecánica o morfológica, si se presenta (4).

El arco del pie comienza a desarrollarse cuando el niño fortalece sus piernas. A medida que va creciendo, la hiperlaxitud desaparece y la bóveda plantar se va desarrollando de manera progresiva hasta aproximarse a los siete-ocho años (51), donde el pie va adquiriendo su configuración definitiva (45,47,48), aunque no es hasta el final del crecimiento sobre los 10-12 años donde adquiere su disposición final (46).

Según está descrito en la literatura, existe la posibilidad de que se produzca un periodo de crecimiento rápido, no acompañado de un aumento proporcional del sistema músculo-esquelético, lo que provoca un desbalance muscular y la resistencia ligamentosa (47). Además, la presencia de cualquier patrón torsional fuera de los límites de la normalidad en la población infantil con pie plano, según Castillo-López (52), debe considerarse un factor muy importante a tener en cuenta, ya que su alta incidencia se relaciona con pies planos flexibles con una evolución no fisiológica (52). Tal como dice Kirby (51), una marcha aducta en sí misma, puede conducir potencialmente a una pronación excesiva de la ASA y de la articulación mediotarsiana a través de su eje oblicuo, lo que causa una alteración de pie plano.

Así mismo, una disfunción del tibial posterior (53), un tendón de Aquiles corto (54), la laxitud articular (55), alteraciones posturales en sentido descendente (56), la edad de inicio de la marcha (57), el sobrepeso y la obesidad (31,57,58), favorecen que un pie plano valgo laxo infantil no evolucione adecuadamente, fomentando el desarrollo del pie plano del adulto. Sin embargo, a pesar de la prevalencia no existe causa única a la que podamos adjudicar el desarrollo del pie plano.

Según numerosos estudios, la prevalencia de pie plano valgo laxo infantil es alta en los niños de edad preescolar (31,45,48,58), aunque la prevalencia disminuye con la edad (29,45,46,58-60), aproximadamente el 15% de la población mantiene el pie plano el resto de su vida (46). El arco del pie se desarrolla de forma rápida entre los 2 y 6 años y la estructura del pie se fija sobre los 12 o 13 años de edad (46).

Según Martínez-Nova et al en 2018 (59), el resultado de realizar un estudio prospectivo de 3 años de evolución sobre 1032 niños, mostró que los valores del FPI se redujeron significativamente con la edad ($p < 0,001$). Aspecto importante, ya que demostró con una muestra elevada y con un test totalmente fiable como el FPI-6, que la postura del pie de los niños cambió hacia neutral a medida que aumentaba la edad.

A veces los factores mencionados anteriormente impiden que este desarrollo se realice con total normalidad, evolucionando a un pie plano o pronador flexible del adolescente o pre-adolescente, como es el caso de nuestro estudio, donde se observan

ciertas alteraciones biomecánicas. La alteración más común del pie plano es la pronación excesiva de la ASA durante la fase de apoyo. Pensamos que esta pronación podría tener algún tipo de desventaja respecto a los pies neutros. De ahí que sea uno de los planteamientos de investigación de este proyecto.

3.1.3. Concepto de pie plano / pie pronador

Tal como dice Pascual (5), el término pie plano es un término vago y poco preciso que define una deformidad estructural en el plano sagital del pie.

Sgarlato, en 1971, (61) definió el pie plano como aquel que funciona en una posición anormalmente pronada, o que se mueve en la dirección de la pronación cuando debería de estar supinado.

Acerca de esta deformidad, la literatura está repleta de un gran número de nombres para describir el mismo tipo de pie, como pie plano, pie plano-laxo, pie plano-valgo, pie valgo, pie pronado, pie caído, etc. Sin embargo, a pesar de la imprecisión en la terminología, el pie se reconoce fácilmente en un contexto clínico, por presentar alguna (o todas) de las siguientes características: una pérdida parcial o total del arco longitudinal interno (a partir de ahora, ALI), valgo de retropié, abducción del antepié respecto al retropié, rotación interna de la tibia y posicionamiento medial del astrágalo de tal forma que la cabeza aparece prominente en la zona medial. La presencia de pie plano ha sido descrita como un pie a menudo asociado a dolor, inestabilidad y limitaciones funcionales (3,7,39,43,62). De ahí surge la importancia de estudiar su repercusión en la actividad física desde edades bien tempranas.

Tradicionalmente se clasifica el pie plano en tres tipos según su origen:

✚ Pie plano rígido: aquel que se caracteriza por una deformación osteoarticular fija en la posición plana, con carga de peso o no, una rigidez generalizada y puede provocar discapacidad. Existen dos test que nos ayudan a catalogar su funcionalidad: el Heel Rise test y el test de Jack. Se considera pie

plano rígido cuando los valores del test de Jack y el Heel Rise Test son positivos (+).

✚ Pie plano flexible: se entiende cómo aquella deformidad que puede corregirse totalmente mediante manipulación; aquel pie plano producido por una disfunción de los tejidos adyacentes,(5) el cual prona al recibir peso, y por ello el antepié se abduce mientras el retropié se valguiza, desapareciendo el arco longitudinal interno. Esta deformidad es reversible, puesto que al disminuir la carga el pie adquiere su contorno normal, presentándose así una hipermovilidad de la ASA (63). Este pie es asintomático en la mayoría de las ocasiones, y si llega a causar dolor, suele deberse a la fatiga muscular desencadenada (55). Se considera pie plano flexible cuando los valores del test de Jack y el Heel Rise test son negativos (-).

✚ Pie plano semiflexible: morfológicamente es igual que el flexible, la única diferencia es que al realizar el test de Jack y el Heel Rise Test, uno de los test presenta un valor positivo (+) y el otro negativo (-).

En el presente estudio nos basaremos en el pie plano flexible y semi flexible del niño, pues entendemos que las características clínicas y biomecánicas del pie plano rígido son totalmente diferentes a las de éstos. Además, consideramos que la deformación osteoarticular fija en la posición plana, típica del pie plano rígido, dificultaría los posibles cambios en la postura del pie y en la huella plantar, entorpeciendo los objetivos de estudio.

A lo largo del texto, nos referiremos a la deformidad de pie pronador o pie plano, en nuestro caso de tipo flexible o semiflexible, como la deformidad que cursa con la presentación clínica anteriormente descrita, y con una posición de la ASA en su máxima pronación o muy cercana a ella, y un eje de ASA medializado. Entendemos que esta posición es patológica, puesto que genera fuerzas internas que estresan de forma anómala los tejidos blandos y óseos del pie, y MMII (38,64).

Según la huella plantar, los pies planos se dividen en cuatro grados, dependiendo del porcentaje de apoyo en el suelo, de manera que éste se incrementa a medida que avanza el número de grados (3). (*figura 4*)

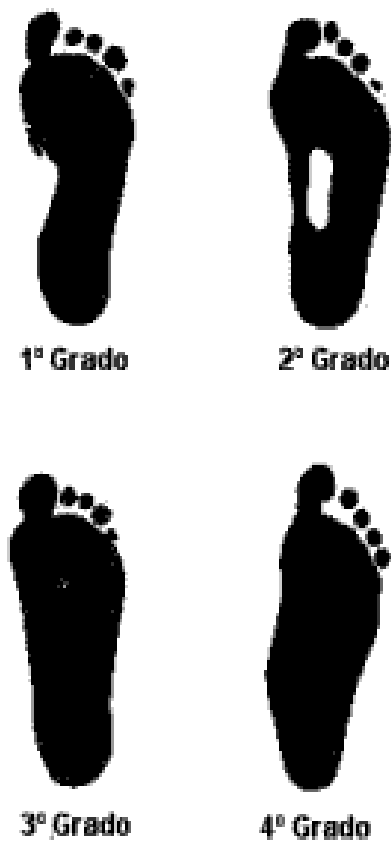


Figura 4: Grados de pie plano

1º Grado: Aparece un aumento del apoyo externo del pie. Se considera normal, mientras su anchura no llegue a la mitad del ancho máxima de antepié. Si es igual o superior, se trata de un pie plano de primer grado.

2º Grado: Hay contacto del borde interno del pie en el suelo, pero se mantiene la bóveda. El ALI ha cedido, pero no ha hundido la bóveda. En este grupo se incluyen los pies cavos-valgo.

3º Grado: Desaparece completamente la bóveda plantar.

4º Grado: Corresponde al pie plano balancín. La anchura del apoyo es mayor en la parte central que en la parte anterior y posterior.

3.1.4. Patomecánica del pie plano / pie pronador

Actualmente, entendemos que la patomecánica es el problema fundamental de la deformidad del pie plano, bien sea infantil o del adulto (38,62). En ambos casos, el problema de la deformidad no es problema estético motivado por la ausencia de arco, sino un problema funcional derivado de una mecánica anormal (5).

La funcionalidad de los pacientes con pies pronadores se encuentra alterada, especialmente en el eje de la ASA. Para ello, es fundamental conocer el mecanismo

normal de la fase de la marcha y enumerar la repercusión patológica que ocurre en cada fase. Durante la marcha, la carga en los pies se trasfiere de posterior a anterior.

El método más eficiente, desde un punto de vista energético, es mover el centro de gravedad a lo largo de una línea recta y a una velocidad lo más constante posible. De esta manera, la energía se conserva y el esfuerzo durante la marcha es menor (38).

La naturaleza cíclica de la marcha determina que lo que ha sucedido inicialmente durante una fase del ciclo puede afectar potencialmente lo que ocurrirá con posterioridad durante la siguiente fase (51).

En el inicio de la fase de apoyo, el periodo de contacto comienza con el choque del talón por la cara postero- lateral, pues el pie se encuentra ligeramente en flexión dorsal e inversión. En este instante, el suelo provoca un rápido incremento de las FRS sobre su cara lateral. Las tres grandes articulaciones de la extremidad inferior se encuentran en discreta flexión para colaborar con la disipación de las fuerzas de reacción. Esta amortiguación es necesaria porque en cada choque de talón se carga el 120% del peso corporal sobre la extremidad, llegando a triplicar estas cargas en determinadas situaciones. El calcáneo se encuentra en cierta inversión y la ASA en ligera supinación (7). El momento lineal en el que el talón contacta contra el suelo, pasa a ser un movimiento angular, en el que se produce una rotación interna de toda la extremidad inferior (38), que será transmitida al pie a través de la ASA y mediotarsiana, arrastrándola en pronación. Esta pronación permite la adaptación al terreno y la absorción del choque, fundamental para permitir una marcha normal y disipar el shock de impacto con el suelo (38).

La primera situación patológica que puede aparecer en el pie pronador se produce cuando la posición del pie en el plano trasverso al inicio de la fase de contacto se realiza con la cara postero-central o postero-medial del talón. Esta inadecuada posición durante la fase de contacto, conduce a lesiones relacionadas con los impactos repetitivos a alta velocidad, y a sufrir problemas posturales en la extremidad inferior, cadera y columna lumbar (38).

Durante la fase de apoyo medio (inicio del apoyo total), la pronación debería estar desacelerándose, pues dicha pronación es la continuación del movimiento de pronación de la fase de contacto. Durante la fase de apoyo medio (final del apoyo total), el centro de masas se desplaza hacia delante, lo que estimula a que tibia, fémur y pelvis roten externamente en relación con el suelo, permitiendo así, que la otra extremidad avance sin problema por delante de la extremidad que se encuentra en fase de apoyo, de modo que la pelvis de la extremidad oscilante pasa por delante de la pelvis de la extremidad en carga. Este movimiento de la pelvis causa una rotación externa que junto con la supinación de la ASA producirá un patrón fluido de marcha (38).

En el periodo final del apoyo total se produce la segunda situación patológica que aparece en el pie pronador. Esto ocurre cuando la ASA prona en vez de supinar. Esta pronación causa que tibia y fémur roten internamente, movimiento opuesto al que está realizando la pelvis. Esto puede producir muchas patologías biomecánicas, como sesamoiditis, neuroma intermetatarsiano, hallux límitus, fascitis plantar, bursitis, dolores de rodilla, alteraciones femoropatelares, dolores de espalda y acortamientos del paso (38).

Finalmente, en la fase de despegue del pie la ASA supina en su totalidad, debido a la contracción de los músculos sóleo, gastrocnemio, flexores de los dedos y a la elevación del ALI gracias al mecanismo de windlass (38).

La supinación de la ASA da lugar a que la articulación astrágalo-escafoidea se coloque más arriba en relación con la articulación calcáneo-cuboidea. Esto le da al pie un mayor potencial estructural para resistir el peso durante la propulsión, convirtiéndose el pie en una palanca rígida y eficiente (38).

Aquí se produce la tercera situación patológica típica del pie pronador, que es cuando la supinación de la ASA no se origina durante la propulsión. La musculatura tiene que ejercer más fuerza y la propulsión de la extremidad inferior será relativamente ineficiente, ya que el pie es incapaz de generar la fuerza plantar necesaria sin experimentar una pérdida de movimiento en las articulaciones, el pie deja de ser una palanca rígida y se convierte en un “saco de huesos” (38).

En definitiva, al caminar se necesita que exista una sorprendente serie de elementos cuidadosamente orquestados, que permitan al individuo moverse de manera eficiente con un mínimo de energía. De no ser así, la necesidad energética aumentará. Si el pie no ejerce una función normal, el resto de la extremidad inferior y el cuerpo no pueden funcionar con normalidad (38).

Por tanto, consideramos que una función normal del pie durante la marcha se produce cuando actúa correctamente como adaptador del terreno, amortiguador y palanca rígida.

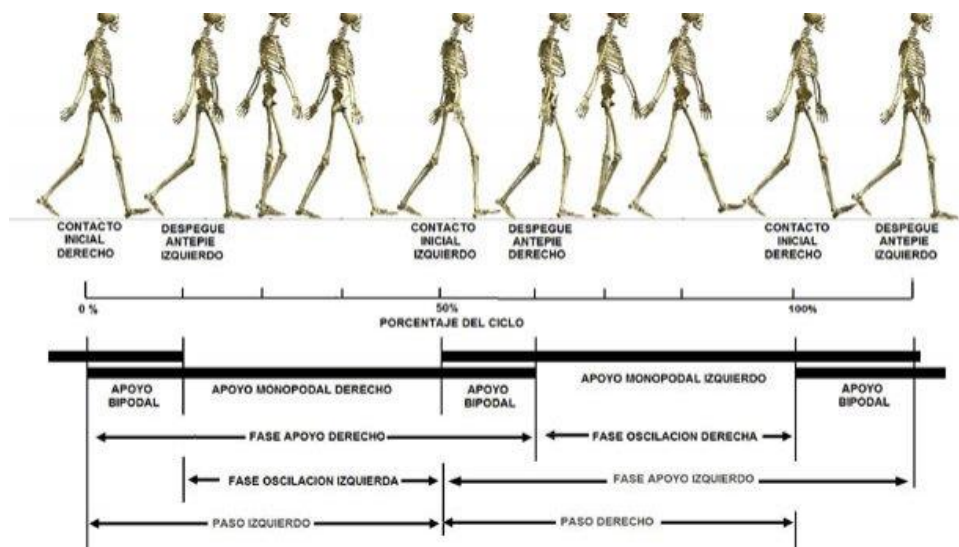


Figura 5: Imagen del ciclo de la marcha.

Fuente: Libro de Biomecánica de la marcha humana normal y patológica (65)

3.1.5. Importancia del pie en el deporte

El pie como base del aparato locomotor funciona como palanca en la propulsión, elemento de carga en la estática, punto de transmisión del peso corporal, segmento estabilizador del organismo humano, y como punto fijo a partir del cual se produce el movimiento del resto del organismo en el modo de cadena cinética cerrada (7).

Es una región de máxima importancia en la práctica de cualquier modalidad deportiva, independientemente del nivel en que se practique, ya sea como máxima exigencia competitiva, como si se tratara de un simple entrenamiento, o como si la práctica deportiva tuviera fines recreativos (6). Algo en principio tan básico, puede complicarse de forma casi ilimitada en determinadas circunstancias (66).

La pronación dinámica es una alteración biomecánica muy presente en el pie del deportista. Se trata de una pronación fisiológica que aparece por someter al pie a un esfuerzo continuo y prolongado a lo largo de grandes periodos de tiempo (6). Es una alteración muy común en la carrera cuando los tejidos no son capaces de soportar las estructuras del pie por la fatiga muscular producida (1).

Los grupos musculares que más participan en el mantenimiento de las formas y en el control de los movimientos prono-supinatorios como son los tibiales y peroneos, sobre todo el largo, terminan cayendo en insuficiencia, perdiendo la capacidad para controlar los procesos de pronación y supinación en la marcha o carrera (6). Según Sulowska et al (67), la importancia del fortalecimiento de dichos grupos musculares para el control de los movimientos prono-supinatorios son claves para el control de las estructuras del pie (67) pues, en su estudio mostró que los ejercicios de fortalecimiento de los músculos cortos del pie durante 6 semanas, modificaron la postura del pie, observando mejoras en los valores del FPI-6 hacia una postura más neutral.

Una falta de control de estos movimientos prono-supinatorios por parte de los músculos correspondientes terminaría alterando el eje de la ASA hacia pronación. Según Kirby (51), eso se relaciona con un aumento del consumo muscular de oxígeno, hallux abductus valgus (a partir de ahora, HAV), fracturas de stress, disfunción del tibial

posterior, dolor en el ALI, necrosis espontánea del escafoides, dolores rotulianos en corredores y tendinitis del adductor de la cadera.

Según Queen et al (13), aquellos individuos que mostraron un pie plano, presentaron un mayor riesgo en el sostenimiento del tobillo y de sufrir esguinces, lesiones de rodilla y otras lesiones por uso excesivo, como el síndrome de dolor patelofemoral y fracturas por estrés en los metatarsianos. Kaufman et al (27) describieron que en las fracturas por estrés los valores de incidencia oscilaban desde el 0,8% en sujetos con pies neutros a 5,8% en sujetos con pies planos. Valores que asociaron los mismos autores a la tendinitis de Aquiles, que oscilaron desde el 3,6% en sujetos normales hasta el 5,9% en sujetos con pies planos. Según Satvati et al, los sujetos con pies planos fueron más inestables en comparación con los sujetos con pies neutros ($p < 0,05$). Según expresaron los autores (68), ésta inestabilidad podría influir en la alineación de las articulaciones de tobillo, rodilla y cadera, e incluso en el rendimiento deportivo, tras evaluar en su estudio la estabilidad de las dos tipologías de pies (plano y neutro) en sujetos sanos.

Según Sahrman (69), las variadas alteraciones tisulares que se encuentran implicadas en los síndromes dolorosos musculoesqueléticos como son, los cambios degenerativos en cartílagos y articulaciones, los esguinces, la inflamación articular, la tensión miofascial, los desgarros miofasciales, las tendinitis, las bursitis, el dolor neuropático por atrapamiento, compresión y adherencia, son productos del estrés mecánico de los tejidos, originados por las alteraciones en el movimiento de determinadas estructuras, presentes en la pronación.

En la etapa de los 10-12 años se suelen iniciar actividades deportivas con mayor rigor, se cambian los hábitos del calzado y se inicia un cambio hormonal. Esta nueva situación puede hacer que una alteración no tratada hasta ese momento por ser asintomática, empiece a causar dolores, fatiga muscular, cansancio generalizado, bajo rendimiento en el deporte, contracturas inexplicables o dolor en las rodillas (7).

Últimamente, dada la importancia que tiene la estructura del pie en la práctica deportiva, numerosos autores (27,29–33) se han dedicado a estudiar la influencia que tienen los distintos tipos de pie (plano, cavo, neutro) en la práctica deportiva para valorar

así, qué tipo de pie es más apto para el deporte, y si tiene o no mayor rendimiento en determinadas pruebas físicas.

Autores como Arévalo-Mora et al (33), Tudor et al (29) y Zurita, et al (30), Kaufman et al (27), Kumala et al (32) afirmaron que el tipo de pie no repercute en el rendimiento motor, pues ningún tipo de pie (cavo, plano, neutro) es mejor que otro en las pruebas físicas.

Sin embargo, Lin et al (31) expresaron que los niños con pies planos presentaron peores puntuaciones en las pruebas físicas establecidas, lo que constata un menor rendimiento en esta tipología de pies.

3.1.6 Fatiga muscular

La fatiga es un estado funcional cuya significación es protectora, transitoria y reversible. Es un mecanismo de carácter defensivo, cuyo objetivo es evitar las consecuencias adversas de una práctica deportiva desmesurada o excesiva. La sensación de fatiga se origina en el hipotálamo y además de las modificaciones fisiopatológicas propias, aparecen componentes adicionales sensoriales expresados como dolor, incapacidad, incomodidad o malestar (70).

Según Barbany, la fatiga muscular es aquella directamente originada por la actividad muscular, derivada de la práctica física excesiva en cuantía, duración o velocidad de ejecución. Según su duración y afectación se puede clasificar en cuatro modelos. En nuestro caso sólo explicaremos los que pueden afectar a nuestra investigación: fatiga muscular local y fatiga general u orgánica (70).

- La fatiga muscular local se manifiesta en un grupo concreto de músculos en ejercicios específicos y concretos durante el movimiento. Suele deberse a un suministro insuficiente de O₂ en los músculos activos, en situaciones de contracciones isométricas, concéntricas o de resistencia intensa. También podría deberse a un

agotamiento de las reservas energéticas, a una disminución del PH intracelular, a desequilibrios iónicos y a deshidratación.

➤ La fatiga general u orgánica es aquella en la que se produce una afectación del conjunto de funciones orgánicas, además de las específicamente musculares. Es típica de los ejercicios de duración prolongados, en los que participan de forma activa e intensa todos los sistemas musculares.

La confluencia de distintas causas puede desencadenar esta fatiga. En nuestro caso nos centraremos en la más relacionada con nuestro estudio.

- *El componente muscular*: En este tipo de fatiga la masa muscular sufre un progresivo agotamiento de los combustibles. Son ejercicios donde suele predominar el componente aeróbico y los ejercicios concéntricos moderados. En algunas zonas musculares concretas que son especialmente solicitadas, a medida que aumenta la duración del ejercicio se produce una acumulación progresiva de ácido láctico y de otros catabolitos resultantes de los procesos oxidativos, que son de metabolización problemática. La inactivación progresiva y la interferencia que estos “metabolitos de fatiga” ejercen sobre los sistemas enzimáticos y la fibra contráctil afectan en mayor o menor grado la posibilidad de seguir el ejercicio (70).

Si acercamos lo anteriormente mencionado a nuestro estudio, podríamos decir que las FRS actúan sobre las articulaciones del pie generando momentos de fuerza, que son los responsables del movimiento que realizan. Estos movimientos se deceleran por la acción de las estructuras anatómicas (huesos, ligamentos, fascia, tendones y músculos) que conforman el pie mediante el estrés tensil o compresivo que soportan. La magnitud y repetición de estos ciclos de tensión son los responsables de fatigar el tejido, pero también el brazo de palanca que tienen estas estructuras, de esta manera entendemos que a menor brazo de palanca, el estrés que soportan será mayor (28).

Las curvas de tensión-deformación (stress-strain) y conceptos como la fatiga y la rigidez de un tejido nos aportan las claves para comprender mejor por qué un tejido llega a lesionarse en unos pacientes y no se lesiona en otro, presentando una morfología de pie aparentemente similar (28).

Las curvas tensión-deformación explican de forma gráfica el comportamiento mecánico que tiene un tejido ante la acción de una fuerza deformante. Si aumentamos un 2% la fuerza sobre un tejido, éste incrementará un 2% la cantidad de deformación que sufre, recuperando íntegramente su forma inicial una vez deja de actuar sobre él la fuerza deformante, esta zona en la curva tensión-deformación se define como región elástica. Cuando la deformación del tejido supera el denominado límite y el tejido no recupera completamente su forma inicial, generando importantes deformaciones, es lo que se reconoce como región plástica. Si continuamos incrementando la fuerza nos encontramos que el tejido llega al umbral máximo de estrés que puede soportar, llegando a su límite de ruptura y produciéndose la lesión. (figura 6)

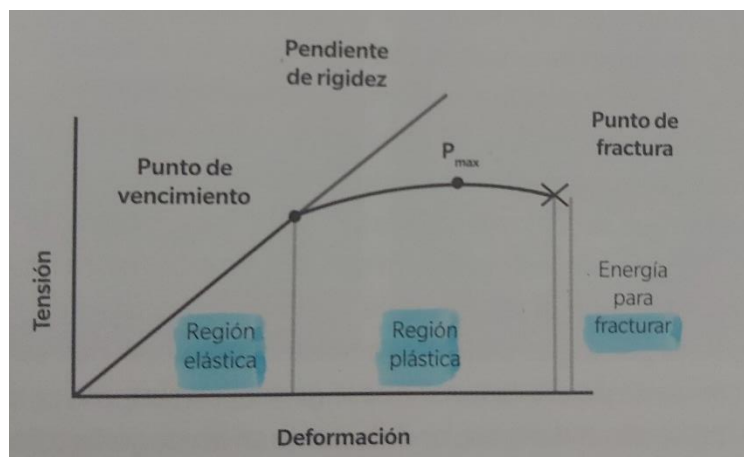


Figura 6: Curva de tensión- deformación. Fuente Orejana y Monzó (28).

Esta situación podría hacer que la fuerza muscular generada disminuyera, cambiara el tiempo de reacción muscular o la propia coordinación de los movimientos, provocando una alteración de la biomecánica articular (71).

Durante la práctica deportiva, e incluso en la marcha prolongada, se ven incrementadas las sollicitaciones mecánicas del pie, lo que puede llevar incluso a una modificación temporal de las presiones plantares, de la huella plantar e incluso de la postura del pie (21).

Estudios previos que examinaron el efecto de la fatiga en las fuerzas reactivas del suelo en grupos con pies planos y pies neutros, no revelaron cambios significativos de que la fatiga provoque un aumento en las fuerzas reactivas del suelo (12,46). Sin embargo otros autores si mostraron cambios entre una tipología más aplanada y una más neutra (12,14,16,21,72).

El gasto energético general es una característica de cada individuo al enfrentarse a sus capacidades básicas. Se considera una actividad poco costosa si se hace adecuadamente. No obstante, la marcha consume energía en el sujeto sano, y es una fuente de agotamiento para quienes presentan disfunciones importantes (73). Poco se describe sobre la relación entre las modificaciones de los pies por la fatiga muscular, con el consecuente cansancio generalizado.

La percepción del cansancio físico, es una valoración subjetiva que aparece después de la actividad realizada, como un mecanismo de defensa sensible al trabajo. Constituye una configuración de sensaciones que vincula de manera integrada el stress mecánico y la fatiga muscular, cardiovascular y respiratoria durante el ejercicio físico (74).

El estudio del cansancio es muy utilizado en otras disciplinas para valorar el esfuerzo de los sujetos en un determinado ejercicio. Sin embargo, hasta lo que conocemos, no está demostrado como la fatiga muscular desencadenada tras un ejercicio físico podría interpretarse en los niños con pies pronadores como cansancio generalizado. En ello, será donde centraremos este proyecto.

3.2. Pruebas físicas

Consideramos que para valorar los cambios que se producen en la postura del pie y su relación con la huella plantar, es necesario someter a los individuos a una serie de actividades físicas y comparar los valores obtenidos tras la actividad con los previos a ella. Así pues, la comparación entre el antes y el después de la acción nos determinará si existen o no cambios significativos en el pie.

Los estudios que evaluaron el rendimiento de los tipos de pies, valorándolos sólo y exclusivamente mediante actividades físicas, sometieron a los individuos a la combinación de ejercicios de fuerza, de resistencia, de velocidad y de flexibilidad, obteniendo resultados no significativos o insatisfactorios (29,30,33,75).

Tanto la fuerza, como la resistencia, la velocidad y la flexibilidad son capacidades físicas básicas que se van desarrollando a lo largo del crecimiento del niño. El llevar a cabo una u otra capacidad depende de la edad y en nuestro caso, de lo que pretendemos conseguir. A continuación, se hará un breve repaso sobre lo que son las capacidades físicas básicas, centrándonos en las pruebas de resistencia, ya que son las que se emplearán en este estudio.

3.2.1. Capacidades físicas básicas

Castañer y Camerino (76) diferencian las cualidades físicas básicas en varios tipos:

- 1) Fuerza
- 2) Resistencia
- 3) Velocidad
- 4) Flexibilidad

1) Concepto de Fuerza.

Según Bompa (77) es la capacidad neuromuscular de superar resistencias externas o internas gracias a la contracción muscular. Kuznetsov (78) afirma que es la capacidad de vencer la resistencia externa o reaccionar frente a la misma mediante la tensión muscular. Según Grosser et al (79) es la capacidad para superar resistencias o contrarrestarlas por medio de la acción muscular.

2) Concepto de velocidad.

Según Grosser et al (79) la velocidad es la capacidad de reaccionar con toda la rapidez posible ante un estímulo o señal y realizar los movimientos con diferentes resistencias con la mayor velocidad.

3) Concepto de flexibilidad.

La amplitud de movimientos, más conocida como flexibilidad, podría definirse como la capacidad del individuo de alcanzar las máximas amplitudes articulares acompañadas de las elongaciones musculares y ligamentosas correspondientes (80).

4) Concepto de resistencia.

Según Álvarez del Villar (81) es la capacidad psicobiológica de realizar un esfuerzo de mayor o menor intensidad durante el máximo tiempo posible. Así mismo Grosser et al (79) afirmaron que es una capacidad física y psíquica de soportar la fatiga frente a esfuerzos relativamente largos y/o la capacidad de recuperación rápida después de los esfuerzos.

Mora (82) generó una amplia clasificación referida a la capacidad física denominada resistencia. Aquí desarrollaremos los dos tipos de resistencia que más se relacionan con nuestro proyecto:

○ *En función de la participación muscular.*

- Hablamos de resistencia a nivel local: Cuando la resistencia necesaria para soportar esfuerzos no se encuentra implicada más de $1/6$ ó $1/7$ de la musculatura esquelética del cuerpo.
- Hablamos de resistencia a nivel general: Cuando en la resistencia requerida en la actividad se ve implicada más de $1/6$ ó $1/7$ de la musculatura esquelética.

○ *En función del sistema energético.*

- Hablamos de resistencia aeróbica: Cuando a lo largo de toda la actividad se dispone de oxígeno suficiente para la oxidación de los sustratos energéticos (glucosa y ácidos grasos) que serán necesarios para la contracción.
- Hablamos de resistencia anaeróbica: Cuando se altera el equilibrio entre el aporte de oxígeno y el consumo del mismo, siendo aquel menor que el que sería preciso para llevar a cabo la oxidación.

Al ser la resistencia aeróbica una capacidad física que somete al músculo a un trabajo de repetición continuo disponiendo del oxígeno suficiente para la contracción, consideramos que es la capacidad física más útil para valorar los cambios que se producen en el pie, porque el trabajo continuo con suficiente oxígeno termina cansando al organismo, y por tanto se desencadenaría la fatiga muscular que podría ser percibida como cansancio generalizado en los niños del estudio.

3.2.2. Evolución de la capacidad física básica en el escolar

La evolución de las capacidades físicas es un concepto ligado a los procesos de maduración por el cual un individuo humano recién nacido llega a ser adulto, lo que significa llevar a cabo la maduración de sus capacidades y el crecimiento de sus órganos (82).

Evolución de la Resistencia: *Pre-pubertad*:

Según Mora (82) la resistencia manifiesta una progresión moderada desde el inicio de la Educación Primaria con 5 o 6 años hasta la finalización de la Educación Primaria con 11 o 12 años.

A los **6** años se constata una mejora en aquellas tareas que requieren un mayor esfuerzo de duración. Esto es debido a un notable aumento en la coordinación lo que significa que los movimientos sean cada vez más económicos y eficaces.

A la edad de **10-11** años, la resistencia aeróbica ha experimentado un progreso máximo, permaneciendo estable hasta los 15 años, sin existir diferencias entre ambos sexos.

La evolución de esta capacidad físico-motriz va ligada al crecimiento y transformaciones del aparato cardiovascular. Así el aumento del volumen del corazón, durante esta fase de la vida infantil incrementará el Volumen de Oxígeno (a partir de ahora V_{O_2}) máximo.

Con respecto a la resistencia anaeróbica es importante reconocer que su fase sensible es posterior a la aeróbica. Coincide con el final de la pubertad, cuando aumentan las enzimas glucolíticas que son claves para el metabolismo anaeróbico (82).

Se percibe unanimidad en cuanto a la inconveniente aplicación de cargas anaeróbicas durante la infancia. El resultado puede ser pernicioso sabiendo que nos referimos a cargas de carácter láctico, sistematizadas y orientadas hacia un fin específico.

Los trabajos anaeróbicos de este estilo no empezarán a combinarse con el trabajo aeróbico hasta los 16-17 años (82,83).

Sebastiani y Gonzalez (83) definieron una serie de **fases sensibles** donde se hace más aconsejable el trabajo de las diferentes capacidades relacionadas con la aptitud físico-motriz. (figura 7)



Figura 7: Fases sensibles para el entrenamiento en niños y niñas.

Fuente: Sebastiani y Gonzalez (86).

Por tanto, consideramos que la edad de los 10-12 años es la edad más favorable para llevar a cabo la capacidad básica de resistencia de tipo aeróbica.

A la hora de llevar a cabo la resistencia como capacidad física básica para cualquier tipo de actividad física debe de estar basada en la práctica organizada bajo la tutela de sistemas específicos adaptados a la edad (83).

Según Mora (82) y Sebastiani y González (83) la utilización de la resistencia como capacidad física básica durante la edad del escolar, debe seguir unas pautas generales:

1. El trabajo de resistencia lo centraremos en la procedente de la vía aeróbica.
2. Hay que intentar hacer propuestas atractivas que despierten el interés y la motivación del niño.
3. Utilizar los controles necesarios para ajustarse al trabajo previsto.
4. Respetar el ritmo individual de trabajo pues cada organismo tiene una respuesta diferente.
5. Conocer los principios generales de la resistencia para adaptar el trabajo al contexto particular donde nos encontramos.
6. Es importante respetar ciertos principios básicos como el de continuidad y progresión.
7. En cuanto a la intensidad de las actividades conviene emplear cargas dinámicas donde actúen grandes grupos musculares. La duración y el VO_2 máximo también serán criterios a tener en cuenta.

Según Generele y Plana (84) a la hora de aplicar la resistencia en una actividad física, debemos saber que en función del tipo de resistencia que sea, aeróbica o anaeróbica existen una serie de ejercicios disponibles.

En la resistencia aeróbica, que es la recomendada para niños entre 10-12 años, explicamos las tres situaciones de trabajo disponible (84):

- ✚ **El cross-paseo**
- ✚ **La carrera continua**
- ✚ **El trabajo en circuito**

✚ **Cross-paseo.** Cuando combinamos en un entorno natural, y de una forma no sistemática, la marcha, la carrera, el ejercicio gimnástico, e incluso el juego, estamos trabajando lo que denominamos Cross-paseo.

✚ **Carrera continua.** Elimina respecto al modelo anterior, cualquier esfuerzo que no sea en forma de carrera y durante un espacio de tiempo prolongado. El tiempo de trabajo dependerá del nivel de adaptación del sujeto y de la edad.

✚ **Entrenamiento en circuito.** Es el único sistema para el desarrollo de la resistencia que no utiliza como medio principal la carrera. Se dispone alrededor de un espacio un número variable de **estaciones**, que cada sujeto deberá recorrer para hacer una cantidad determinada de repeticiones o para trabajar durante un tiempo establecido por el docente. Algunas orientaciones de carácter general son las siguientes:

-Los ejercicios se eligen intentando que haya un mismo nivel de intensidad y alternancia en los grupos musculares que participan.

-Al inicio se puede proponer un test para concretar el número inicial de repeticiones. Después, en cada sesión de trabajo se harán **2 ó 3 series de repeticiones.**

-Tras concluir la serie habrá un **período de recuperación (3-5 minutos) hasta iniciar la siguiente.**

De los tres métodos disponibles en la resistencia aeróbica nos decantamos por el **entrenamiento en circuito**, ya que este método no utiliza como medio principal la carrera, no hay necesidad de desplazar a los individuos a un entorno natural, y además la utilización de estaciones diferentes despierta el interés y la motivación del niño.

OBJETIVOS

4. OBJETIVOS

Tras realizar un repaso por el contexto del tema, nos vamos a centrar fundamentalmente en cinco objetivos, donde distinguiremos entre objetivo principal y objetivos secundarios.

El **objetivo principal** que se pretende conseguir es el siguientes:

1. Valorar si los niños con pies pronadores se cansan más respecto a los niños con pies neutros tras las pruebas físicas de resistencia.

Los **objetivos secundarios** son los siguientes:

1. Comprobar si hay cambios en la postura del pie de los niños después de la actividad física, en el grupo pies pronadores y en el grupo pies neutros.
2. Comprobar si hay cambios en la huella plantar de los niños después de la actividad física en ambos grupos.
3. Determinar si los posibles cambios son más llamativos en los niños con pies pronadores respecto a los neutros.
4. Comparar si ambos grupos obtienen resultados similares o no tras las pruebas físicas de resistencia.

HIPÓTESIS

5. HIPÓTESIS

En consonancia con los objetivos que pretendemos alcanzar, planteamos las siguientes hipótesis de investigación:

1. Las **hipótesis de investigación** de este estudio se podrían enunciar de la siguiente manera:

“Los niños con pies pronadores se cansan más que los niños con pies neutros tras la práctica deportiva.”

“La postura del pie y la huella plantar de los niños muestra cambios después de la práctica deportiva.”

2. Por consiguiente, las **hipótesis nulas (H₀)** se describen:

“El nivel de cansancio después de pruebas físicas de resistencia no muestra diferencias significativas entre niños con pies pronadores y niños con pies neutros.”

“La postura del pie y la huella plantar no muestran cambios significativos después de las pruebas físicas de resistencia.”

MATERIAL Y MÉTODO

6. MATERIAL Y MÉTODO

6.1. Diseño de estudio

Según las características del presente trabajo de investigación, se trata de un estudio de tipo, Analítico, Trasversal y Observacional.

Según Argimón y Jiménez (85), y Polit y Hungler (86) en cuanto a su finalidad es un estudio *analítico*, porque evalúa una presunta relación causa-efecto, ya que el propósito es someter a ambos grupos a una intervención (pruebas físicas de resistencia) y luego medir unas variables que dependen de la intervención y podría causar un efecto en el pie. Comprobaremos si es cierta o nula la hipótesis planteada mediante el contraste de una serie de variables entre los dos grupos de estudio, después de someterlos a las actividades físicas. En cuanto a la secuencia temporal, es un estudio *trasversal*, porque la relación entre las diferentes variables de la población se observaron en un único momento del tiempo. En cuanto al control de la asignación de los factores de estudio, es *experimental*, ya que el factor de estudio es asignado y controlado de forma deliberada para la realización de la investigación, según un plan pre-establecido.

6.2. Población de estudio

Los datos estudiados pertenecen a una población compuesta por niños y niñas que estaban matriculados en 5º y 6º de primaria de los centros educativos: *CEIP "Nuestra Señora Reina de los Ángeles"* y *CEIP "Aljibe"* ubicados en la localidad de Jimena de la Frontera, provincia de Cádiz, España.

Los dos centros docentes tienen carácter público y contaban con instalaciones adecuadas para la realización del estudio. Ambos centros poseen una pista polideportiva exterior y un salón de actos habilitado para actividades deportivas. La recogida de datos se llevó a cabo durante los años 2014, 2015 y 2016.

6.3. Cálculo del Tamaño Muestral

Se llevó a cabo el cálculo del tamaño de la muestra, tomando como referencia la comparación del valor del Pictorial Children's Effort Rating of Perceived Exertion (a partir de ahora PCERT) entre el grupo casos o pies pronadores y el grupo control o pies neutros, de un estudio previo. El grupo control obtuvo un valor de $5,69 \pm 2,21$ y el grupo casos de $7,35 \pm 2,39$.

Por tanto, la diferencia mínima que se detectó fue la de la 'muestra piloto' $7,35 - 5,69 = 1,66$. El peor de los escenarios fue el que tuvo una desviación típica mayor, que fue $2,39$.

Utilizando la fórmula:

$$n = \frac{2s^2(z_{\alpha} + z_{\beta})^2}{d^2} = \frac{2 \cdot 2,39^2(1,96 + 0,84)^2}{1,66^2} = 32,5 \approx 33$$

Ecuación 1: Ecuación tomada del libro de Milton y Tsokos (87).

Por tanto, se necesitaría un tamaño muestral de al menos 33 casos por cada grupo.

Finalmente, la muestra de nuestro estudio estuvo compuesta por 105 escolares de los cuales, 63 han formado el grupo control o grupo de pies neutros y 42 el grupo casos o grupo de pies pronadores.

6.4. Tipo de muestreo

Se ha empleado para la selección de la muestra, un muestreo *No probabilístico de conveniencia o consecutivo* (85). La selección se realizó en todo momento por la doctoranda, al igual que la elección de los colegios, teniendo en cuenta la ayuda de los centros para llevar a cabo el estudio por ser antigua alumna de ambos.

En este tipo de muestreo, se van seleccionando a los participantes siguiendo los criterios de inclusión y exclusión que a continuación se detallan, siempre y cuando se encuentren libres de sesgos, y que sea una muestra representativa de la población de referencia (85).

6.4.1. Criterios de Inclusión

Los criterios de inclusión contemplados en nuestro estudio han sido los siguientes:

- 1) Aquellos alumnos/as que se encontraban en la franja de edad entre los 10-12 años (alumnado comprendido entre los cursos de quinto y sexto de primaria), siendo indiferente el sexo (82).
- 2) Aquellos alumnos/as que presentaban un I.M.C saludable, correspondiente a un peso normal, estando dichos valores comprendidos entre el percentil 5 y 84 según el programa Perseo del Ministerio de Sanidad y Consumo Español (88,89).
- 3) Niños/as que presentaban una tipología de pie pronador o de pie neutro según el FPI-6 en ambos pies (90).

6.4.2. Criterios de Exclusión

- 1) Aquellos niños/as cuyos padres/madres o tutores legales no dieron su autorización para que participaran en el estudio.
- 2) Todos aquellos escolares que se encontraban en tratamiento ortopodológico con soportes plantares por alteraciones en los pies o miembros inferiores en el momento de la realización del estudio.
- 3) Haber experimentado algún tipo de cirugía osteoarticular en el pie o miembro inferior.
- 4) Haber sufrido algún traumatismo grave, padecer enfermedades osteoarticulares degenerativas y/o musculoesqueléticas en el pie o MMII que pudieran haber alterado su morfología ósea.
- 5) No haber podido completar las pruebas físicas establecidas.
- 6) Niños/as que presentaba cada uno de sus pies en una categorización diferente, según la clasificación del FPI-6.

6.5. Características generales de la Muestra

Unos 200 consentimientos informados fueron llevados a los colegios para que se le entregaran a cada uno de los escolares.

De este número de consentimientos entregados, no todos los padres/madres dieron la autorización para que su hijo/a participara en el estudio, además de aquellos sujetos que fueron excluidos por no cumplir con los criterios de inclusión establecidos, aquellos que no asistieron los días que se llevó a cabo las actividades en los colegios y aquellos que no completaron las pruebas físicas establecidas.

Finalmente, la muestra se compuso por 105 escolares, de los cuales 51 fueron niños y 54 niñas, de quinto y sexto de primaria de los colegios mencionados anteriormente. Con edades comprendidas entre los 10 y 12 años.

Como se ha explicado con anterioridad en el marco teórico, se eligió la edad de 10-12 años porque es cuando la cualidad física básica de resistencia ha experimentado su progreso máximo, permaneciendo estable hasta los 15 años (82). Además, a esta edad el niño/a presenta la madurez suficiente para atender y comprender lo que se realizará en las pruebas físicas.

6.6. Variables del estudio

En nuestro estudio se contemplan un total de 41 variables, que fueron valoradas por los directores de tesis, la doctoranda y por una especialista en estadística. Se enumeran a continuación:

- Sexo.
- Edad.
- IMC (peso y altura).
- Si el niño hacía deporte extraescolar o no.
- El tipo de deporte extraescolar que hacía el niño.
- Las veces a la semana que realizaba el deporte extraescolar.
- PCERT
- Foot Posture Index (FPI) derecho e izquierdo. Antes y después actividad.
- Arch Index derecho e izquierdo. Antes y después actividad.
- Ángulo Clark derecho e izquierdo. Antes y después actividad.
- Pruebas físicas: salto a la comba con desplazamiento. (3 series).
- Pruebas físicas: Desplazamientos a 8m de distancia. (3 series).
- Pruebas físicas: Alternancia piernas en banco sueco. (3 series).
- Pruebas físicas: Mini-circuito en Zig-Zag. (3 series).
- Pruebas físicas: Salto con pies juntos (3 series).

- Si el niño refería dolor en los pies o piernas durante y/o después del ejercicio físico.
- Si los padres consideraban que su hijo/a se le cansaban los pies/piernas más de lo normal al hacer ejercicio físico.
- Si los padres consideraban que su hijo/a se quejaba de molestias o dolor en los pies después del ejercicio físico.

La clasificación de las variables según su relación, se detallan a continuación: (tabla 1).

Variables Descriptivas	<ul style="list-style-type: none"> - Sexo - Edad - Peso - Altura - IMC - Si el niño hacía deporte extraescolar o no. - El tipo de deporte extraescolar que hacía el niño. - Las veces a la semana que realizaba el deporte extraescolar. - Si el niño refería dolor en los pies o piernas durante y/o después del ejercicio físico. - Si los padres consideraban que su hijo/a se le cansaban las piernas más de lo normal al hacer ejercicio físico. - Si los padres consideraban que su hijo/a se quejaba de molestias o dolor en los pies después del ejercicio físico.
Variables Independientes	<ul style="list-style-type: none"> - Pruebas físicas: salto a la comba con desplazamiento. (3 series). - Pruebas físicas: alternancia piernas en banco sueco. (3 series). - Pruebas físicas: mini-circuito en Zig-Zag. (3 series). - Pruebas físicas: Salto con pies juntos (3 series).
Variables Dependientes	<ul style="list-style-type: none"> - PCERT - FPI derecho e izquierdo. - Arch Index derecho e izquierdo. - Ángulo Clark derecho e izquierdo.

Tabla 1: Clasificación de las Variables según su relación.

En las siguientes tablas se detallan la relación de las variables según el tipo y la clasificación con su respectivo código numérico, la unidad de medida y su obtención: (tabla 2 y 3)

Tipo de Variable	Variable del estudio	Abreviatura (código SPSS)	Unidad de medida	Cuándo se obtuvo
Cuantitativa Continua	Edad	Edad	Años	Pre-actividad
	Índice de Masa Corporal (IMC) <ul style="list-style-type: none"> • Peso (kg) • Talla (mts²) 	IMC	Kg/m ²	Pre-actividad
	Arch Index derecho <ul style="list-style-type: none"> ▪ Antes actividad ▪ Después actividad 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ AI.dcho.antes. ▪ AI.dcho. después. 	%	Pre-actividad y Post-actividad
	Arch Index izquierdo <ul style="list-style-type: none"> ▪ Antes actividad ▪ Después actividad 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ AI. izq. antes. ▪ AI. izq. después. 	%	Pre-actividad y Post-actividad
Cuantitativa Discreta	PictorialChildren´sEffort Rating Table	PCERT	-	Post-actividad
	Ángulo Clark derecho <ul style="list-style-type: none"> ▪ Antes actividad ▪ Después actividad 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A.C.dcho.antes ▪ A.C.dcho. después 	grados	Pre-actividad y Post-actividad
	Ángulo Clark izquierdo <ul style="list-style-type: none"> ▪ Antes actividad ▪ Después actividad 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A.C.izq.antes ▪ A.C.izq. después 	grados	Pre-actividad y Post-actividad
	Salto a la comba con desplazamiento <ul style="list-style-type: none"> ▪ Serie 1 ▪ Serie 2 ▪ Serie 3 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Comba 1 ▪ Comba 2 ▪ Comba 3 	Número de saltos	Durante la actividad física
	Desplazamiento a 8 m de distancia <ul style="list-style-type: none"> ▪ Serie 1 ▪ Serie 2 ▪ Serie3 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desplaz1 ▪ Desplaz2 ▪ Desplaz3 	Repeticiones	Durante la actividad física
	Alternancia piernas en banco sueco <ul style="list-style-type: none"> ▪ Serie 1 ▪ Serie 2 ▪ Serie3 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Banco1 ▪ Banco2 ▪ Banco3 	Número de saltos	Durante la actividad física
	Mini circuito en Zig-Zag <ul style="list-style-type: none"> ▪ Serie 1 ▪ Serie 2 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zigzag1 ▪ Zigzag2 	Repeticiones	Durante la actividad física

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Serie 3 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zigzag3 		
	Salto con pies juntos <ul style="list-style-type: none"> ▪ Serie 1 ▪ Serie 2 ▪ Serie 3 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Salto1 ▪ Salto2 ▪ Salto3 	Número de saltos	Durante la actividad física
	FPI derecho <ul style="list-style-type: none"> ▪ Antes actividad ▪ Después actividad 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ FPI.dcho.antes ▪ FPI.dcho.después 	-	Pre-actividad y Post-actividad
	FPI izquierdo <ul style="list-style-type: none"> ▪ Antes actividad ▪ Después actividad 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ FPI.izq.antes. ▪ FPI.izq.después 	-	Pre-actividad y Post-actividad
	Las veces a la semana que realizan deporte extraescolar	Vces.semana	-	Pre-actividad

Tabla 2: Clasificación de las variables cuantitativas

Tipo de Variable	Variable del estudio	Clasificación y Código numérico	Unidad de medida	Cuándo se obtuvo
Cualitativa Nominal	Sexo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Niño1 ▪ Niña2 	-	Pre-actividad
	Si hacía deporte extraescolar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No:0 ▪ Si:1 	-	Pre-actividad
	Tipo deporte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ninguno: 0 ▪ Deporte extraescolar: 1 ▪ Fútbol: 2 ▪ Danza del vientre:3 ▪ Tenis 4 ▪ Takwondo 5 ▪ Padel 6 ▪ Baloncesto: 7 ▪ Golf: 8 ▪ Gimnasia Rítmica: 9 ▪ Volleybol: 10 ▪ Ciclismo: 11 ▪ Natación: 12 	-	Pre-actividad
	Si los padres consideraban que su hijo/a se le cansaban las piernas más de lo normal al hacer ejercicio físico.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No:0 ▪ Si:1 ▪ No sé:2 	-	Pre-actividad
	Si los padres consideraban que su hijo/a se quejaba de molestias o dolor en	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No:0 ▪ Si:1 ▪ No sé:2 	-	Pre-actividad

	los pies después del ejercicio físico.			
	Si el niño refería dolor en los pies o piernas durante y/o después del ejercicio físico.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No:0 ▪ Si:1 	-	Pre-actividad

Tabla 3: Clasificación de las Variables Cualitativas.

6.7. Recursos humanos y materiales

Los recursos humanos necesarios para la realización de nuestro estudio fueron, los dos directores que dirigieron la tesis, un experto en topografía que nos enseñó a utilizar el programa informático AutoCad®, un maestro en Educación Física que nos aconsejó para elaborar y coordinar las pruebas físicas, una Graduada en Estadística que nos asesoró en la realización del análisis de datos, y la colaboración y disponibilidad de cada uno de los colegios donde se llevó a cabo el estudio. Los instrumentos de medición podemos diferenciarlos en:

1) Materiales para la obtención de las medidas antropométricas.

- **Peso:** a través de una báscula digital portátil, marca Jata®, con capacidad para 150kg. El escolar se colocó descalzo, en el centro, en posición erecta, sin contacto con nada que estuviese alrededor. (*figura 8*)



Figura 8: Báscula portátil digital.

- Tallímetro: para la medición de la estatura, marca Seca[®], graduado en milímetros. En este caso se utilizó un instrumento portátil, formado por una escala métrica, con un cursor deslizante para contactar con la parte superior de la cabeza o vértex. (*figura 9*)



Figura 9: Tallímetro portátil usado en el estudio.

- Calculadora.
- 2) Materiales para determinar la postura del pie.
 - Test del FPI-6 (90)
 - 3) Materiales para la obtención de la huella plantar.
 - Pedígrafo: marca Berkemann[®]. El pedígrafo es un sistema de obtención de la huella plantar compuesto por una caja que al abrirla se observa en su cara superior un elemento elástico que se impregna manualmente, con un rodillo y tinta. Al apoyar el pie, la superficie entintada choca con el fondo de la caja donde se coloca una hoja de papel en la que se queda registrado en tinta la huella plantar del individuo. (*figura 10*)



Figura 10: Pedígrafo, rodillo y tinta.

- Tinta azul para el pedígrafo y rodillo de tinta.
 - Folios tamaño DIN A-4.
 - Programa informático, software AutoCad® (versión 2017); para la obtención de las mediciones: Arch Index y Ángulo de Clark.
 - Programa Microsoft office Excel (versión 2010).
 - Escáner Konica Minolta Bizhub 283®.
- 4) Materiales para la obtención de resultados en las pruebas físicas.
- Cronómetro: Marca CASIO®, 898 DBW-32.
 - Cuerdas, conos, banco sueco, cinta métrica, tiza.
- 5) Material para determinar la percepción del cansancio tras la actividad.
- Test Pictorial Children´s Effort Rating Table (PCERT) (91).

- 6) Material para la manipulación estadística de datos y elaboración del trabajo.
- Programa Microsoft Office Word (versión 2010).
 - Programa Microsoft Office Excel (versión 2010).
 - Programa SPSS/PC (versión 22 para Windows).
 - Programa de gestión de referencias bibliográficas Mendeley Desktop (versión 2015).

6.8. Medición de la percepción del cansancio (PCERT), la postura del pie (FPI-6) y la huella plantar (Arch Index y Ángulo de Clark)

A diferencia de los estudios existentes hasta el momento, valoraremos conjuntamente la percepción del cansancio (mediante la escala PCERT, ya previamente validada en niños) (91), la postura del pie (mediante el FPI-6) (90) y la huella plantar (mediante el estudio del Arch Index (92) y el Ángulo de Clark (93)), pues estos fenómenos son fundamentales para el estudio del cansancio en niños, en relación a las modificaciones que sufre el pie tras someterlo a un esfuerzo físico determinado.

6.8.1. Pictorial Children's Effort Rating Table (PCERT)

La percepción del cansancio del escolar tras la actividad física, fue valorado mediante la escala PCERT, previamente validada por Yelling et al (91).

En las últimas décadas, los instrumentos para valorar la percepción del esfuerzo experimentaron una evolución para adaptarse a diferentes grupos de la población.

La escala más difundida fue la Rating of Perceived Exertion (RPE) de Borg (94). Su validación inicial fue llevada a cabo por su correlación positiva con la frecuencia cardiaca (valores entre 0,8 y 0,9), y posteriormente, diferentes estudios confirmaron su validez, fiabilidad y estabilidad, utilizando la frecuencia cardiaca y el consumo de

oxígeno. Sin embargo, la escala de Borg y sucesivas adaptaciones no resultaban apropiadas para los estudios con niños, pues había sido validada en adultos y no en niños.

El Pictorial Children`s Effort Rating Table (PCERT) vino a solucionar el problema de comprensión de los niños, incorporando imágenes y términos más comprensibles. En nuestro estudio, se ha utilizado el PCERT, basada en la escala de Williams et al (95) y validada en niños por Yelling et al (91) utilizando la frecuencia cardíaca como “gold standard”. (figura 11)

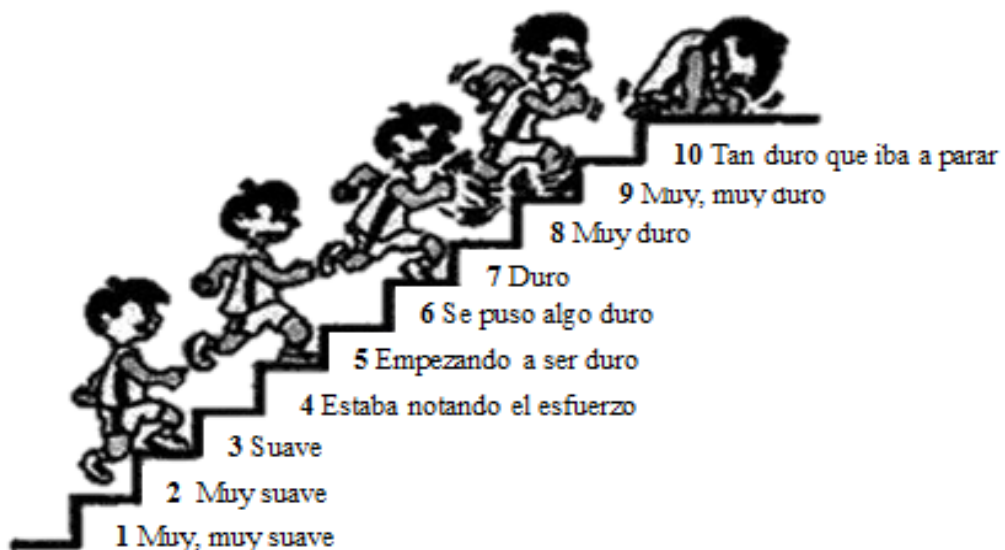


Figura 11: PCERT. Fuente: Yelling et al (91).

Son varios los autores que han estudiado y comparado la fiabilidad y validez de esta prueba. Roemmich et al en 2006 (96), validaron la tabla del PCERT y la escala OMNI mediante ejercicios de caminar y correr en niños. El aumento de las puntuaciones de la escala del PCERT y la escala OMNI, se correlacionó con los aumentos de VO_2 ($r = 0.90$ y 0.92) y de frecuencia cardíaca. ($r = 0.89$ y 0.92). La relación entre la percepción del esfuerzo y la frecuencia cardíaca fue operativizada con una alta fiabilidad. Los valores 4 y 5 del PCERT se corresponden con las 140 y 150 pulsaciones por minuto (en adelante, ppm) como valor medio (97).

Así mismo, Marinov et al en 2007 (98) compararon la percepción del esfuerzo percibido mediante la escala de Borg (CR-10), con la versión gráfica de la escala de esfuerzo percibido PCERT en 50 niños sanos. Observaron que la escala del PCERT mostró una correlación muy significativa entre la intensidad del ejercicio y la frecuencia cardíaca, el consumo de oxígeno, y la ventilación por minuto. Así mismo, afirmaron que el PCERT era más apropiado para usar en niños de este rango de edad que la Escala de Borg CR-10, validando el uso del PCERT en estudios con niños. Según Rodríguez et al en 2016 (99) ésta adaptación presentó mejor rendimiento y validez.

Tal como afirmaron Hernández-Álvarez et al en 2010, el PCERT es un indicador del esfuerzo, inspirado y basado en la propia percepción del sujeto sobre el grado de fatiga o intensidad del esfuerzo que siente, reflejando de este modo, una medida global e integrada del nivel de esfuerzo. Según Hernández-Álvarez et al (97), el PCERT podría ser tanto o más válido y fiable que las aplicaciones tecnológicas más sofisticadas, pero con las innegables ventajas a la hora de estudiar grandes grupos de población, e investigaciones con pocos recursos, resultando muy asequible para la mayoría de investigadores.

6.8.2. El Foot Posture Index (FPI) o Índice de Postura del Pie (IPP)

El FPI descrito por Redmon et al (90), es una herramienta sencilla, rápida, no invasiva y fiable para emitir un diagnóstico objetivo y cuantificable de la postura del pie, que valora los tres planos corporales y ofrece información del retropié, mediopié y antepié.

El FPI se elaboró inicialmente con ocho criterios, durante el proceso de validación fueron redefinidos a la versión de seis criterios. Esta versión es la utilizada en nuestro trabajo (90).

La valoración se realizó con el paciente en bipedestación, en posición relajada con los brazos a lo largo del cuerpo, desplazando el peso por igual en ambas extremidades, y en su base de sustentación y ángulo de progresión estática. El estudio se realizó sobre un

banquito (banco sueco) de aproximadamente 50 centímetros de altura, para facilitar la labor del examinador, ya que es fundamental, disponer de espacio para movilizarse alrededor del escolar durante las valoraciones del FPI. Previamente, se educó al escolar para que permaneciera en la posición indicada.

El resultado de la suma de todos los valores proporciona el índice global de la postura del pie. Un valor alto en positivo indica una postura pronada del pie, al contrario, un resultado significativamente negativo indica una posición global en supinación, mientras que el pie neutro tendrá un valor del FPI cercano a cero.

Aunque las mediciones se hacen en apoyo bipodal, cada criterio debe ser valorado de forma independiente. Los seis criterios clínicos empleados en el FPI son:

1. Palpación de la cabeza del astrágalo.
2. Curvatura supra e inframaleolar lateral.
3. Posición del calcáneo en el plano frontal.
4. Prominencia de la región talo navicular.
5. Congruencia del arco longitudinal interno.
6. Abducción / abducción del antepié respecto al retropié

La suma de las puntuaciones obtenidas clasificaría el pie a nivel postural en:

- Normal: 0 a +5
- Pronado: +6 a +9
- Altamente pronado: +10 a +12
- Supinado: -1 a -4
- Altamente supinado: -5 a -12

La validez depende tanto del clínico como del grupo de pacientes que se analiza, más que de las características del instrumento de medición. La independencia del resultado ha sido valorada por medio de la validez inter test del FPI original de 8 criterios con unos valores de 0,62 a 0,91, y la validez intra-explorador es de 0,81 a 0,91. En su validación, el FPI de 6 criterios predijo el 64% de las variaciones de la posición del tobillo y de la ASA en apoyo bipodal en estática (90).

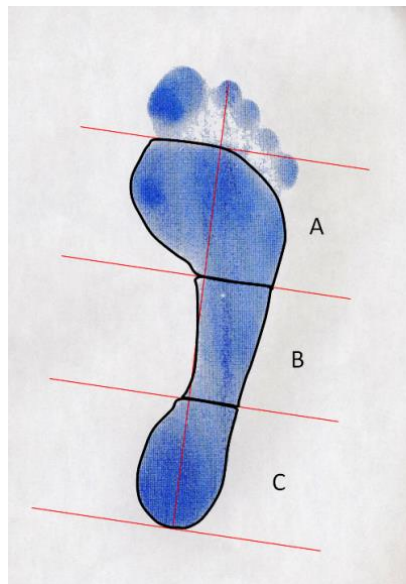
Dicha validez queda confirmada con un estudio que validó 3 técnicas clínicas en la medición de la postura del pie en estática, corroborando que la medición está significativamente correlacionada con los datos obtenidos en radiografías (2).

6.8.3. El Arch Index

El Arch Index descrito por Cavanagh y Rodgers (92), es una medida que se utiliza bastante para clasificar el pie según la altura del arco longitudinal. Para realizar dicha medida es necesario obtener una huella plantar, por ejemplo una pedigrafía (*figura 12*). En la impronta plantar se debe trazar el eje longitudinal del pie, desde el centro del borde posterior de la huella del talón hasta la parte más distal del segundo dedo. Posteriormente, se divide el área de apoyo del pie (excluyendo los dedos), en tres partes iguales mediante líneas perpendiculares al eje longitudinal. Usando un programa informático que permita el cálculo de áreas (como por ejemplo, el AutoCad[®]), se debe obtener el área de la zona media de apoyo, y dividirla entre el área total de apoyo. (*figura 13*)



Figura 12: Huella plantar obtenida mediante pedigrafía. Fuente Cavanagh y Rodgers(92).



$$\frac{B}{A + B + C}$$

Figura 13: Cálculo del Arch Index. Fuente: Cavanagh y Rodgers (92).

Los valores normales que aportaron los autores que describieron este índice fueron los siguientes (92):

- Menor o igual a 0.21: arco elevado.
- Entre 0.21 y 0.26: arco normal.
- Mayor o igual a 0.26: arco aplanado.

A pesar de ser una medida que se obtiene de una huella plantar, es decir de una impronta en dos dimensiones, hay estudios que han obtenido correlaciones fuertes con ciertas medidas radiológicas que informan sobre la estructura del ALI (2,100,101) (*figura 14*), como la altura del escafoides medida en radiografías laterales en carga ($r = 0,71$) (2,100). También se han obtenido correlaciones fuertes con medidas angulares (2,102), como el ángulo formado por la cara inferior del calcáneo y el plano del suelo ($r = -0,68$), y el ángulo formado por la cortical superior de la diáfisis del primer metatarsiano y la cara inferior del calcáneo ($r = 0,71$) (100). Además es sensible a alteraciones en los pies relacionadas con la edad y postura (41).

Los estudios consultados que aportan datos sobre la fiabilidad de esta medida, describen niveles de fiabilidad intra-evaluador excelentes (2,100,103,104). Pensamos que es algo razonable, si se tiene en cuenta que esta medida es el resultado de aplicar una fórmula matemática, cuyas cifras se obtienen de realizar el cálculo del área del pie mediante un software informático. Creemos que la mayor fuente de variabilidad de esta medida se encuentra en la obtención de la huella plantar, pero si las medidas se realizan de forma repetida sobre la misma impronta, la variabilidad no debería ser elevada.

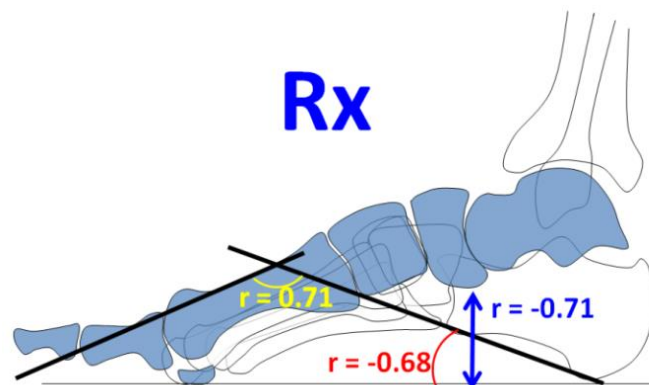


Figura 14: Medidas radiológicas realizadas en radiografías laterales en carga. Imagen cedida por el Dr. Pedro Munuera.

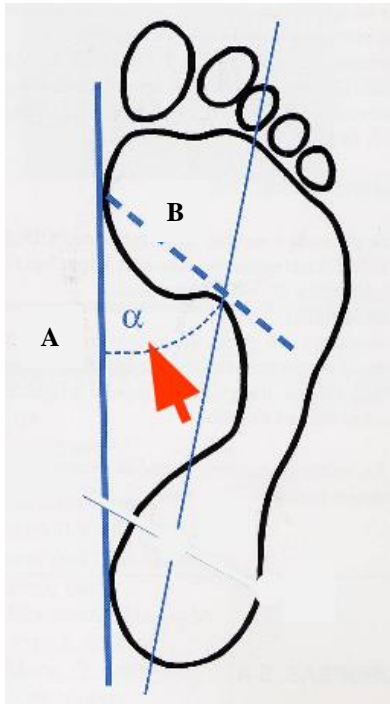
Menz et al en 2012 (105) corroboraron la excelente fiabilidad del Arch Index de Cavanagh y Rodgers, como medida de valoración de la huella plantar. Sin embargo, el principal inconveniente que encontraron fue que requiere del uso de una tableta gráfica o un escáner óptico, y un software de imágenes para calcular con precisión el área de la huella, lo que consume mucho tiempo y, por lo tanto, limita su aplicación en muchos entornos clínicos y de investigación. Menz et al desarrollaron en su estudio una versión simplificada y válida del Arch Index que no requería una medición computarizada (105). No hemos utilizado la versión simplificada en nuestro estudio, puesto que la herramienta se validó y desarrolló con una muestra de personas mayores, lo que nos sugirió que los puntos de corte podrían no ser válidos para un grupo de niños.

6.8.4. El Ángulo de Clark

El Arch Angle o ángulo de Clark, fue descrito por Clark en 1933 (93). Es una medida muy utilizada para clasificar el pie según los tres tipos de huella que existen (cava, plana, neutra). Para realizar dicha medición es necesario obtener previamente la huella del pie de la persona, en nuestro estudio hemos utilizado una pedigráfica, teniendo en cuenta la facilidad de transporte y lo poco costoso que supone.

El cálculo del Ángulo de Clark se basa en calcular el ángulo formado entre dos líneas. (*figura 15*)

- 1) Línea A: esta línea marcada en el borde medial del pie, está formada por los puntos más salientes de la cabeza del primer metatarsiano y del hueso calcáneo o del talón.
- 2) Línea B: formada por el punto más saliente de la cabeza del primer metatarsiano, (punto de referencia de la línea A) y el punto más pronunciado del arco. Según Clark, la mayor dificultad para realizar esta medición en la huella, es a la hora de colocar la línea B.
- 3) El ángulo que se forma entre la línea A y B es el ángulo de Clark.



- Un ángulo de Clark menor a 31° indica una huella plana.
- Un ángulo de Clark entre 31° - 45° indica una huella normal.
- Un ángulo de Clark superior a 45° indica una huella cava.

Figura 15: Ángulo de Clark.
Fuente Ramos et al (106).

Según expresa Clark (93) en su estudio, la alta confiabilidad y objetividad del ángulo en la huella, hace que esta medida sea extremadamente valiosa y perfectamente válida para medir el tipo de huella (plana, neutra o cava).

Según Pita-Fernández (107), el índice de Clark es totalmente adecuado para el diagnóstico del pie plano. De los tres métodos utilizados en su estudio para la valoración del pie plano, el índice de Clark fue superior al de las otras pruebas utilizadas, teniendo la especificidad más alta (90.7%) y la razón de probabilidad positiva mayor (10.54). Consideraron el ángulo de Clark, como el método más preciso para la valoración del pie plano con una sensibilidad del 89.8%, seguido del índice de Chippaux-Smirak y el índice de Staheli.

✚ Método de realización del Arch Index y el Ángulo de Clark con AutoCad®

Cada pedigrafía fue digitalizada utilizando el escáner Konica Minolta bizhub 283® para crear una imagen digital. Las mediciones se realizaron en las pedigrafías digitalizadas mediante el software AutoCad® (versión 2017). Este programa permite entre otras muchas funciones, trazar líneas rectas de un punto a otro, paralelas, perpendiculares, dividir una línea en tres partes iguales y calcular áreas. Estas son las funciones que han sido utilizadas para la realización de nuestras medidas. Farber et al (108) demostraron que la medición de ciertos ángulos utilizando un sistema digital, es totalmente válido y consigue mejorar la fiabilidad inter e intraobservador en comparación con el uso de la técnica analógica mediante goniómetro y lápiz.

Previa digitalización de la pedigrafía, se trazó una escala gráfica en la misma, para poder definir correctamente las dimensiones de la huella. La escala gráfica consistió en trazar una línea de 10 cm en el papel, para luego escalar la imagen en el AutoCad® al valor real. Gracias a esto pudimos ampliar y reducir la imagen varias veces su tamaño inicial, sin variar los datos del tamaño real. La ventaja principal de este programa, es que nos permite aumentar la exactitud de las medidas realizadas, al poder ampliar la imagen son más precisas las marcaciones de los puntos en las zonas concretas, y el trazado de las líneas que constituirían posteriormente los ángulos a medir. Este programa se ha utilizado previamente por numerosos autores en la medición de ángulos sobre huella plantar o imagen radiográfica (103,109–113).

Es preciso mencionar que las mediciones fueron realizadas por un único examinador, con el fin de reducir el error por la variabilidad de las mediciones. Para ello, realizamos una previa formación en el programa informático AutoCad®, para poder realizar las mediciones sin dificultad, con un especialista en la materia.

- En el Arch Index, se obtuvo el número que corresponde al área de antepié, mediopié y retropié, se introdujo en el programa informático Microsoft office Excel 2010 para realizar el cálculo de la fórmula y así obtener el resultado de la huella.

- En el Ángulo de Clark, se trazó las líneas A y B en la huella y se procedió a medir el ángulo entre ambas líneas. El valor obtenido se introdujo en el programa informático IBM SPSS Statistics 22.

6.9. Protocolo de investigación

6.9.1. Solicitud del consentimiento informado y diseño de la hoja de recogida de datos

Para la realización de este estudio:

En primer lugar, se solicitó al Comité Ético de Investigación Biomédica de Andalucía su aprobación, para comenzar la realización del proyecto y se obtuvo una valoración favorable (*véase Anexo V*).

En segundo lugar, la doctoranda realizó un primer acercamiento a los centros educativos seleccionados. Fue recibida por los directores y tutores de cada curso de los dos centros escolares, a quienes se les expusieron los objetivos de la investigación.

En tercer lugar, se le hizo llegar a cada padre, madre o tutor legal del niño una hoja de consentimiento informado, explicándoles el estudio que se iba a llevar a cabo con el objetivo de que diesen o no su consentimiento para que su hijo/a formase parte del estudio (*véase Anexo I*).

Se diseñó una hoja de recogida de datos para recopilar los datos que íbamos obteniendo del estudio (*véase Anexo II, III y IV*).

Los niños cuyos padres, madres o tutores firmaron el consentimiento informado, fueron valorados. Aquellos que no cumplían los criterios de inclusión previamente establecidos, quedaban excluidos inmediatamente del estudio.

6.9.2. Recogida de datos

La recogida de datos se realizó en tres momentos diferentes, durante los años 2014, 2015 y 2016, siempre en horario de mañana. Ya que la presente investigación es una continuación de la realizada en un Trabajo Fin de Máster previo.

Los datos fueron extraídos por un único examinador, con el fin de evitar el posible error interpersonal y fueron anotados en las hojas de recogida de datos, previamente diseñadas para nuestro estudio. La recogida de datos de las pruebas físicas fue llevada a cabo únicamente por un profesor de educación física, que colaboró en el estudio desde el principio, el cual estuvo cegado respecto a los datos del niño. Igualmente, la doctoranda estuvo cegada respecto a los datos que se fueron obteniendo en las pruebas físicas. Los datos de filiación y medidas antropométricas fueron realizados por una enfermera, que nos ayudó a ir determinado los primeros criterios de inclusión y exclusión establecidos.

Para que el examinador estuviese cegado respecto a los valores pre-actividad y post-actividad, decidimos no grapar juntas todas las hojas de la recogida de datos. Para evitar pérdida de documentación, realizamos unas pegatinas con el nombre, apellido, colegio y curso escolar. Esta pegatina la íbamos pegando a las hojas pre- actividad y post-actividad. Una vez finalizada toda la recogida de datos, archivamos ambos documentos.

A continuación, explicamos el protocolo llevado a cabo:

1. Se rellenaron los datos de filiación y cualquier otro dato relevante:

- Nombre y Apellidos
- Fecha de Nacimiento
- Sexo
- Centro Educativo y Curso
- Fecha de exploración

2. Se tomaron las medidas antropométricas: El estudio se comenzó realizando las medidas antropométricas de cada uno de los niños. Estos, se descalzaban y eran pesados y medidos.

La postura en ambos casos tenía que ser erguida, relajada, con los brazos extendidos a cada lado del tronco y mirando hacia el frente. En el caso de medir la estatura, los niños también tenían que posicionar sus talones pegados al tallímetro y sus pies juntos, para así poder medir el vértex o punto más alto de la cabeza; es la llamada “posición de atención antropométrica”. (figura 16)

El resultado mediante la fórmula del IMC determinaba en qué percentil se encontraba el niño y por tanto si sería incluido o excluido del estudio (88,89).



Figura 16: Medición de la altura con tallímetro.
Imagen cedida por la Dra. Gemma Melero González.

3. Se valoró el pie mediante el FPI-: Una vez que se realizaron las medidas antropométricas y presentaba un peso equivalente a peso normal o normopeso, se realizó la valoración de la postura del pie mediante el FPI-6.

Sujeto en su ángulo y base de marcha, y sobre una superficie elevada (en nuestro caso un banco sueco).

Una vez que los niños cumplían los criterios de inclusión, los íbamos agrupando en dos grupos en función de la tipología de pie, según el FPI: grupo pies pronadores o casos / grupo pies neutros o control.

Otra de las cosas que mirábamos detalladamente era el tipo de calzado que llevaba el niño previo a la realización de las pruebas físicas. Se valoró que no llevara elementos que fomentaran a la pronación o supinación del pie, que tuviera características de zapato saludable y apto para una actividad deportiva. En caso de no ser así, se le indicaba al niño el tipo de zapato que debía de traer para el día de las pruebas físicas. Dada la importancia y la influencia que puede tener el calzado en los pies de los niños (114).

4. Se obtuvo la huella plantar de ambos pies antes de realizar la actividad física: El protocolo de la obtención de la huella plantar fue el sugerido por Viladot (3): (figura 17)



Figura 17: Imagen tomando pedigrafía.

- 4.1 Se coloca al sujeto en posición de pie, delante del pedígrafo y con una separación de los pies a la altura de los hombros.
 - 4.2 El evaluador indica que hay que dar un paso adelante con el pie contrario al que se va a obtener la huella, poniéndolo en paralelo al pedígrafo.
 - 4.3 Posteriormente el examinador coge el otro pie del sujeto para situarlo en la lámina que tinará en el papel. El individuo se pone en carga con ambos pies para que se grabe la huella en el folio.
 - 4.4 Una vez grabada la huella, el examinador vuelve a coger el mismo pie y lo sitúa en el punto de partida.
 - 4.5 Finalmente, se añaden los datos personales del sujeto en el folio y repite el mismo procedimiento con el pie contrario.
5. Se realizaron las pruebas físicas: Se realizaron 3 series de ejercicios donde existió un periodo de descanso de 3-5 minutos entre cada serie. En cada serie se realizaron 6 estaciones, donde el niño permaneció 30 segundos. Sanjari et al (34) también incluyó 30 segundos de descanso entre cada serie. En cada estación se fue calculando el número de repeticiones que realizaba el niño. El colaborador que contabilizó las repeticiones estuvo cegado respecto al tipo de pie del niño/a y las pruebas se realizaron con el tipo de calzado deportivo habitual, siempre y cuando no tuvieran elementos que los hicieran ser zapatillas “pronadoras” o “supinadoras”. A continuación, se expone cada una de las estaciones realizadas en cada serie:

5.1- *Carrera suave:* Se realizó 30 segundos de carrera a un ritmo suave como inicio del ejercicio de resistencia aeróbico y así preparar al organismo para la actividad. Boozari et al (12) también incluyeron en su estudio con pies planos y pies neutros ejercicios de calentamiento previos a la actividad para iniciar los ejercicios con mejor aptitud física.

5.2- *Salto a la comba con desplazamiento:* Esta estación requiere el uso de una comba por persona. Se realizaron los ejercicios sobre una pista lisa, donde el niño realizó saltos a la comba mientras se desplazaba

en línea recta; en este caso, uno o los dos pies no perdían el contacto con el suelo en ningún momento. (figura 18)

En esta estación, el examinador fue contabilizando el número de saltos que realizaba el niño mientras se desplazaba con la comba.



Figura 18: Salto a la comba con desplazamiento.

5.3- *Realizar desplazamientos tocando las líneas a 8 metros de distancia:* Se realizó en una pista lisa donde se colocaron dos conos a 8 metros de distancia. A la señal acústica del examinador, el niño/a empezó a correr los 8 metros que separaba un cono de otro, tocaba con una mano el cono y volvía de nuevo al cono de inicio y así sucesivamente. Esto constituyó un ciclo que fueron realizando durante los 30 segundos. (figura 19). En esa estación el examinador fue contabilizando los desplazamientos que realizaba el niño en los 30 segundos, tomando como referencia las veces que tocaba el cono con las manos.

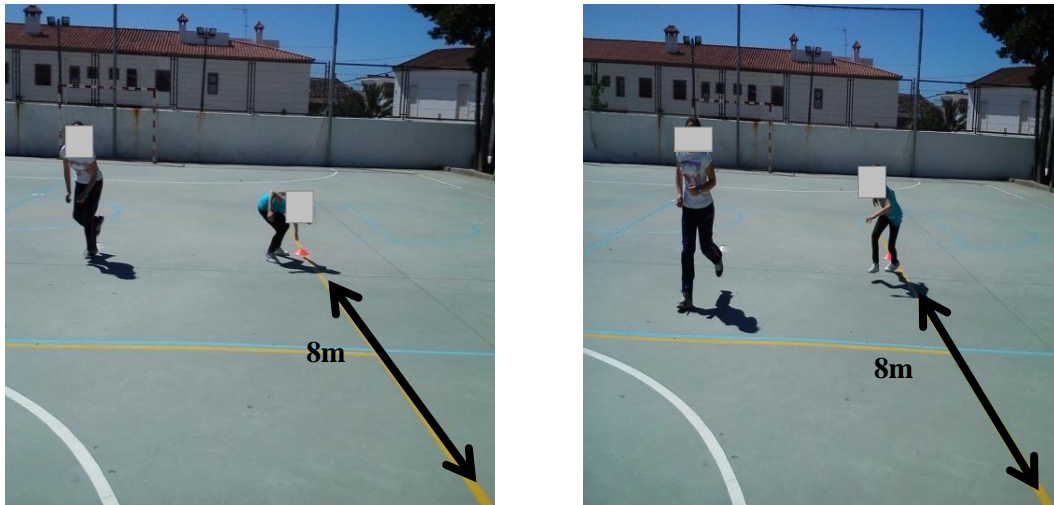


Figura 19: Desplazamientos tocando líneas a 8 m de distancia.

5.4- *Alternancia de piernas en banco sueco*: Con el banco sueco dispuesto de forma longitudinal, el niño fue tocando con el pie el banco de forma alterna, o sea, primero apoyaba con un pie el banco, luego volvía a la posición original con ese mismo pie, a la misma vez que apoyaba el pie contralateral. Así de forma sucesiva. (figura 20). En esta estación el examinador fue contando el número de veces que el niño tocaba con los pies el banco sueco. Se contabilizaba tanto el apoyo del pie derecho como del pie izquierdo.



Figura 20: Alternancias de piernas en banco sueco.

5.5- *Mini-circuito en zig-zag*: El niño realizó un circuito que estaba compuesto por 4 conos y 4 líneas en el suelo. El niño iba esquivando los conos haciendo zig-zag y saltando las líneas en el suelo con los pies juntos. (*figura 21*)

En esta estación el examinador contó cuántas veces el niño realizaba el mini-circuito completo.

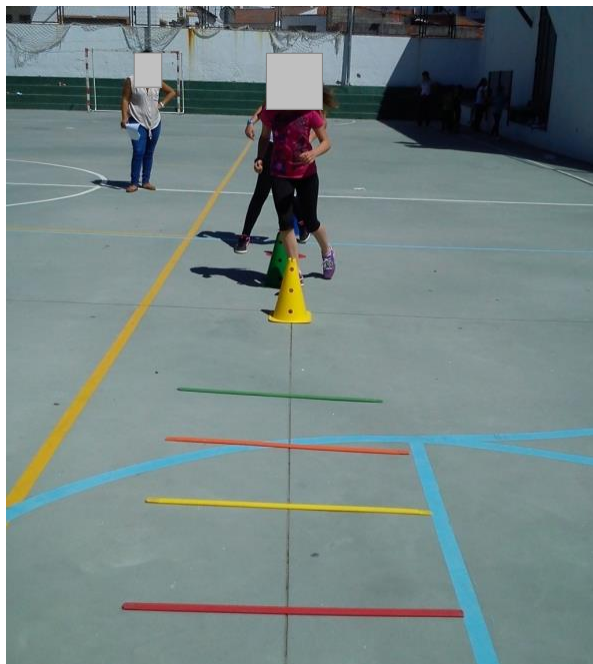


Figura 21: Mini circuito en zig-zag.

5.6- *Salto con los pies juntos*: Se marcó una línea recta de 1 metro de distancia, colocando dos conos a los extremos. El niño realizó saltos con los pies juntos desplazándose de un lado a otro de la línea. (*figura 22*) En esta estación el examinador contó cuántos saltos dio el niño con los pies juntos.



Figura 22: Salto con pies juntos.

Es importante mencionar, que, al llevar a cabo una resistencia de tipo aeróbica, en ningún momento se les indicó a los niños que hicieran los ejercicios a máxima velocidad o potencia. Este tipo de resistencia permite realizar esfuerzos largos a baja intensidad.

6. Se valoró la postura del pie del niño mediante el FPI después de realizar la actividad física.

Una vez finalizadas las pruebas físicas, se volvió a valorar la postura del pie del niño/a mediante el FPI. Se siguió el mismo protocolo explicado anteriormente. El examinador que llevó a cabo el procedimiento fue el mismo que previo a la actividad.

Para que el examinador no estuviese en contacto con los valores determinados en el FPI de los niños previo a la actividad, se siguió el siguiente protocolo: una vez finalizadas las pruebas físicas, el niño se dirigió a la clase donde se recopilaban los datos. El examinador cogía la hoja de post-actividad, (véase Anexo IV) se ponía la etiqueta correspondiente con el nombre y apellido, centro escolar y curso, (informado previamente por el niño/a). Con el niño subido a un banco sueco, se procedía a medir el valor

de la postura del pie y a clasificarlo según la suma total obtenida, tal como expresa Redmond et al (90) (*véase apartado 6.8.2*). Los datos obtenidos previo a la actividad se encontraban recopilados en una carpeta independiente, que una vez finalizado el procedimiento post-actividad se procedía a juntar, ya que todas las hojas llevaban su pegatina con el nombre, apellido, centro escolar y curso para que no hubiese ningún tipo de pérdida de documentación.

7. *Se obtuvo la huella plantar de ambos pies después de realizar la actividad física.*

Seguidamente al paso anterior, se tomó la huella plantar del niño. Se siguió el mismo protocolo explicado anteriormente sobre la toma de huella plantar. El procedimiento fue realizado por el mismo examinador, para ello: Se tomó la huella plantar y se grapó junto a la hoja de los valores del FPI post-actividad (*véase Anexo IV*), para posteriormente escanear las huellas y analizarlas con el programa informático AutoCad®.

8. *Se pasó a los niños la escala del cansancio “Pictorial Children’s Effort Rating Table (PCERT)”:*

En este caso fue importante explicar a los niños que marcaran en la escala el número más apropiado en función de lo cansados que estaban y lo dura que les había parecido la actividad, siendo el 1 muy, muy suave, el 10 tan duro que iba parar, y el 5 empezaba a ser duro.

6.9.3. Aspectos Éticos

Se respetaron las normas dictadas en la Declaración de Helsinki de 1964 (115), y sus revisiones de Brasil Octubre de 2013. Además fueron de obligado cumplimiento las normas del Informe de Belmont de 1978 (116), la ley General de Sanidad de 1986 (117), las del Convenio de Oviedo de 1997(118) y la Ley Básica Reguladora de la Autonomía del Paciente(119).

Los investigadores y profesionales sanitarios relacionados con este estudio se comprometieron a garantizar la confidencialidad de los datos y velar por el cumplimiento de las recomendaciones de la Ley Orgánica 15/1999 de 13 de diciembre de protección de datos de carácter personal (LOPD) (120) y las del Real decreto 1720/2007 de 21 de diciembre por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo de la LOPD (121).

Así pues, se consideró oportuno para el desarrollo de este estudio obtener el consentimiento informado de cada uno de los padres, madres o tutores legales de los escolares participantes. El equipo investigador guardó copias de los consentimientos firmados por los padres (*véase Anexo I*). La información registrada ha sido empleada con carácter científico pudiendo ser empleada para la realización de otros estudios, ponencias, posters...

Con el objetivo de determinar si este trabajo se ajustaba a las normativas vigentes en España y en la Unión Europea, se sometió a evaluación en el portal de Ética de la Investigación Biomédica de Andalucía con el comité evaluador CEI de los hospitales universitarios Virgen Macarena-Virgen del Rocío y se obtuvo una valoración favorable. (*véase Anexo V*).

6.9.4. Análisis estadístico

El análisis estadístico se ha realizado utilizando el paquete estadístico IBM SPSS Statistics 22. Para el análisis descriptivo se han calculado la frecuencia absoluta (N), frecuencia relativa (%), los valores medios, desviación típica (D.T.), mínimo, máximo y percentiles 25, 50 y 75.

El análisis inferencial se utiliza para sacar conclusiones una vez planteadas hipótesis estadísticas sobre las variables a estudiar. Para este tipo de análisis se ha tenido en cuenta un nivel de confianza del 95% por lo que el p-valor experimental se ha comparado con un nivel de significación del 5%.

Para conocer el tipo de prueba más adecuada a emplear según sea el comportamiento de los datos se realizarán las siguientes pruebas:

-Normalidad. Se aplica el test de Shapiro-Wilk o Kolmogorov-Smirnov, según sea el tamaño muestral del grupo a analizar. El contraste de hipótesis que se plantea es:

- H_0 : Los datos obtenidos se distribuyen según normalidad.
- H_1 : Los datos obtenidos NO se distribuyen según normalidad.

-Homocedasticidad. Se aplica el test de Levene y contrasta si los grupos tienen la misma varianza.

Si se cumplen los criterios de normalidad y homocedasticidad se considera apropiado aplicar las pruebas paramétricas. Las pruebas que se han llevado a cabo son:

- Prueba T para muestras independientes. Compara muestras independientes cuando los valores de las variables cumplen los criterios paramétricos.
- Prueba T para muestras relacionadas. Compara muestras relacionadas cuando los valores de las variables cumplen los criterios paramétricos.
- Prueba U de Mann-Whitney. Compara dos muestras independientes que no cumplen los criterios paramétricos.
- Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo. Compara dos muestras relacionadas que no cumplen los criterios paramétricos.

Para conocer la magnitud de las diferencias encontradas estadísticamente, se calculó el tamaño del efecto. En el caso de las pruebas paramétricas se obtuvo a partir de la d de Cohen, y en el caso de las pruebas no paramétricas a partir de la r de Rosenthal.

Para el análisis de las variables cualitativas, se utilizó el test Chi-cuadrado para ver si existía algún tipo de relación (dependencia) entre las variables, a través de las tablas cruzadas. Todas las decisiones tomadas fueron realizadas con un nivel de confianza del 95

RESULTADOS

7. RESULTADOS

Nuestros resultados fueron organizados en tres apartados que se corresponden: 1. Análisis descriptivo de la muestra por grupos; 2. Análisis exploratorio previo (donde se analiza la homogeneidad inicial de los grupos y determinadas variables pre-actividad); 3. Pruebas de contraste de cada variable entre los dos grupos de estudio.

7.1. Análisis Descriptivo

La muestra de estudio se compone de 105 participantes, de los cuales 51 son niños y 54 son niñas, de edades comprendidas entre los 10 y 12 años ($10,46 \pm 0,78$). De los 105 niños/as, 63 han formado el grupo control o grupo de pies neutros y 42 el grupo casos o grupo de pies pronadores.

7.1.1. Descripción del Grupo Control o pies neutros.

Las características de la muestra del grupo control, respecto a la edad, sexo e IMC, se resumen en la (tabla 4).

Grupo Control	Distribución por Sexos		Edad (años) Media \pm DT	IMC (Kg/m ²) Media \pm DT
	N=63	Niños	35	10,40 \pm 0,73
Niñas		28		

Tabla 4: Descripción del Grupo Control.

En las siguientes tablas se muestran los valores del PCERT, del FPI (antes y después de la actividad), del Arch Index (antes y después de la actividad) y del Ángulo de Clark (antes y después de la actividad), del Grupo Control. (Tabla 5, 6, 7 y 8)

	PCERT
Media ± DT	5,46 ± 1,89
Mín.	1
Máx.	10
Mediana	5

Tabla 5: Valor medio, desviación típica, máximo, mínimo y mediana de la variable PCERT del Grupo Control.

		Pie derecho		Pie izquierdo	
		Antes	Después	Antes	Después
FPI	Media ± DT	2,17 ± 1,17	2,62 ± 1,58	2,33 ± 1,24	2,94 ± 1,52
	Mín.	0	0	0	0
	Máx.	5	6	5	7
	Mediana	2	2	2	3

Tabla 6: Valores medios, desviación típica, máximo, mínimo y mediana de la variable FPI, (antes y después de la actividad), del Grupo Control.

		Pie derecho		Pie izquierdo	
		Antes	Después	Antes	Después
Arch Index	Media ± DT	0,21 ± 0,03	0,22 ± 0,03	0,21 ± 0,04	0,22 ± 0,04
	Mín.	0,10	0,12	0,11	0,05
	Máx.	0,31	0,31	0,31	0,29
	Mediana	0,22	0,22	0,22	0,22

Tabla 7: Valores medios, desviación típica, máximo, mínimo y mediana de la variable Arch Index, (antes y después de la actividad), del Grupo Control.

		Pie derecho		Pie izquierdo	
		Antes	Después	Antes	Después
Ángulo Clark	Media ± DT	47,52 ± 7,69	47,00 ± 8,26	47,28 ± 7,36	46,12 ± 8,31
	Mín.	19	19	20	19
	Máx.	64	66	60	60
	Mediana	49	48	48	47

Tabla 8: Valores medios (en grados), desviación típica, máximo, mínimo y mediana de la variable Ángulo de Clark (antes y después de la actividad), del Grupo Control.

A continuación, se exponen las medias, las desviaciones típicas, el máximo, el mínimo y la mediana de las 5 variables pertenecientes a las pruebas físicas llevadas a cabo en el estudio, para el Grupo Control. Se tomó el valor central de las tres series pertenecientes a cada una de las variables. (tabla 9)

		Salto comba (Núm. saltos)	Desplazamiento en 8m (Repeticiones)	Banco sueco (Núm. saltos)	Circuito Zigzag (Repeticiones)	Salto con pies juntos (Núm. saltos)
Pruebas Físicas	Media ± DT	28,70 ± 8,59	9,30 ± 1,20	52,11 ± 12,45	3,40 ± 0,74	63,78 ± 10,41
	Mín.	8	7	23	2	33
	Máx.	48	14	83	5	100
	Mediana	30	9	53	3	63

Tabla 9: Resultados descriptivos de los valores de las cinco variables pertenecientes a las pruebas físicas, para el Grupo Control.

En el siguiente gráfico se expone la variable “Si el niño refería dolor en los pies o piernas durante y/o después del ejercicio físico”. (figura 23)

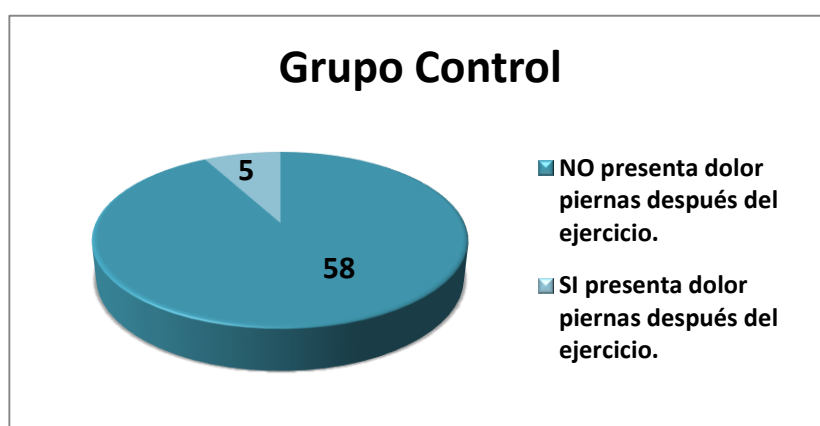


Figura 23: Recuento de la variable "si el niño refería dolor en los pies o piernas durante y/o después del ejercicio físico" para el grupo control.

7.1.2. Descripción del Grupo Casos o pies pronadores.

Las características de la muestra del grupo casos o pies pronadores, respecto a la edad, sexo e IMC, se resumen en la (tabla 10).

Grupo Casos	Distribución por Sexos		Edad (años) Media \pm DT	IMC (kg/m ²) Media \pm DT
	N=42	Niños	16	10,55 \pm 0,86
Niñas		26		

Tabla 10: Descripción del Grupo Casos.

En las siguientes tablas se muestran los valores del PCERT, del FPI (antes y después de la actividad), del Arch Index (antes y después de la actividad), y del Ángulo de Clark (antes y después de la actividad) del Grupo Casos. (tablas 11,12,13 y 14)

	PCERT
Media \pm DT	7,60 \pm 1,92
Mín.	1
Máx.	10
Mediana	8

Tabla 11: Valor medio, desviación típica, máximo, mínimo y mediana de la variable PCERT del Grupo Casos.

		Pie derecho		Pie izquierdo	
		Antes	Después	Antes	Después
FPI	Media ± DT	6,62 ± 0,85	8,98 ± 1,13	6,62 ± 0,96	8,83 ± 1,18
	Mín.	6	6	6	6
	Máx.	9	11	10	12
	Mediana	6	9	6	9

Tabla 12: Valores medios, desviación típica, máximo, mínimo y mediana de la variable FPI, (antes y después de la actividad), del Grupo Casos.

		Pie derecho		Pie izquierdo	
		Antes	Después	Antes	Después
Arch Index	Media ± DT	0,23 ± 0,05	0,27 ± 0,06	0,23 ± 0,05	0,27 ± 0,05
	Mín.	0,09	0,14	0,10	0,08
	Máx.	0,38	0,39	0,36	0,37
	Mediana	0,23	0,26	0,23	0,26

Tabla 13: Valores medios, desviación típica, máximo, mínimo y mediana de la variable Arch Index, (antes y después de la actividad), del Grupo Casos.

		Pie derecho		Pie izquierdo	
		Antes	Después	Antes	Después
Ángulo Clark (grados)	Media ± DT	44,52 ± 11,82	30,26 ± 14,72	44,61 ± 8,83	31,19 ± 13,38
	Mín.	8	1	14	7
	Máx.	62	50	61	50
	Mediana	48	34	45,5	33

Tabla 14: Valores medios (en grados), desviación típica, máximo, mínimo y mediana de la variable Ángulo de Clark (antes y después de la actividad), del Grupo Casos.

Se exponen las medias, las desviaciones típicas, el máximo, el mínimo y la mediana de las 5 variables pertenecientes a las pruebas físicas llevadas a cabo en el estudio, para el Grupo Casos. Se tomó el valor central de las tres series pertenecientes a cada una de las variables. (tabla 15)

		Salto comba (Núm. saltos)	Desplazamiento en 8m (Repeticiones)	Banco sueco (Núm. saltos)	Circuito Zigzag (Repeticiones)	Salto con pies juntos (Núm. saltos)
Pruebas Físicas	Media ± DT	26,24 ± 7,50	9,02 ± 1,31	47,9 ± 12,67	3,36 ± 0,75	62,36 ± 9,25
	Mín.	7	7	22	2	45
	Máx.	41	12	72	5	87
	Mediana	28	9	48	3	61,5

Tabla 15: Resultados descriptivos de los valores de las cinco variables pertenecientes a las pruebas físicas, para el Grupo Casos.

En el siguiente gráfico se expone la variable “Si el niño refería dolor en los pies o piernas durante y/o después del ejercicio físico”. (figura 24)

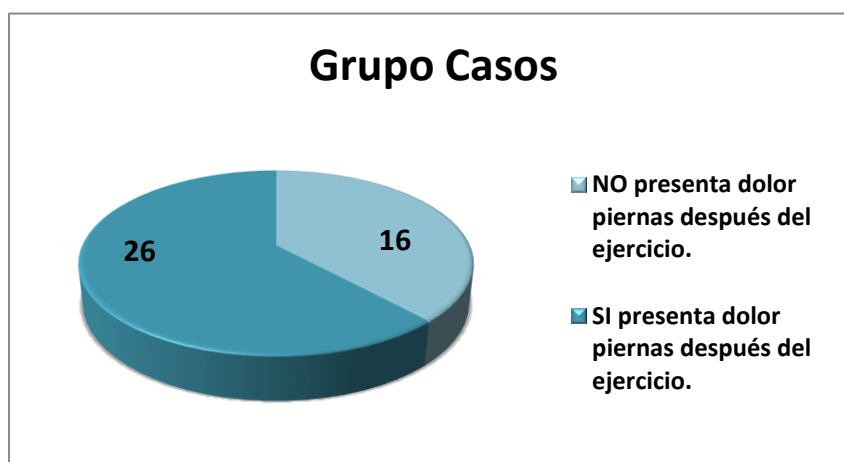


Figura 24: Recuento de la variable "si el niño refería dolor en los pies o piernas durante y/o después del ejercicio físico" para el grupo casos.

7.1.3. Otras variables descriptivas

A continuación, se muestra el recuento de las variables que se les preguntó a los padres sobre sus hijos. (tabla 16)

	Los padres consideran que se le cansan las piernas más de lo normal			Los padres consideran que se queja de dolor en pies tras ejercicio		
	SI	NO	NS/NC	SI	NO	NS/NC
Grupo Control	10	49	4	8	55	0
Grupo Casos	15	26	1	12	28	2

Tabla 16: Recuento de las variables "si los padres consideraban que su hijo se le cansaban las piernas más de lo normal" y "si se quejaba de molestias o dolor en los pies después del ejercicio" para ambos grupos.

Por último, se describe el recuento respecto a las variables:

1. Si hacía deporte extraescolar o no. (figura 25)
2. Si hacía deporte extraescolar o no por grupos. (figura 26)
3. El tipo de deporte extraescolar que hacía. (figura 27)
4. Las veces a la semana que realizaba el deporte extraescolar. (figura 28)

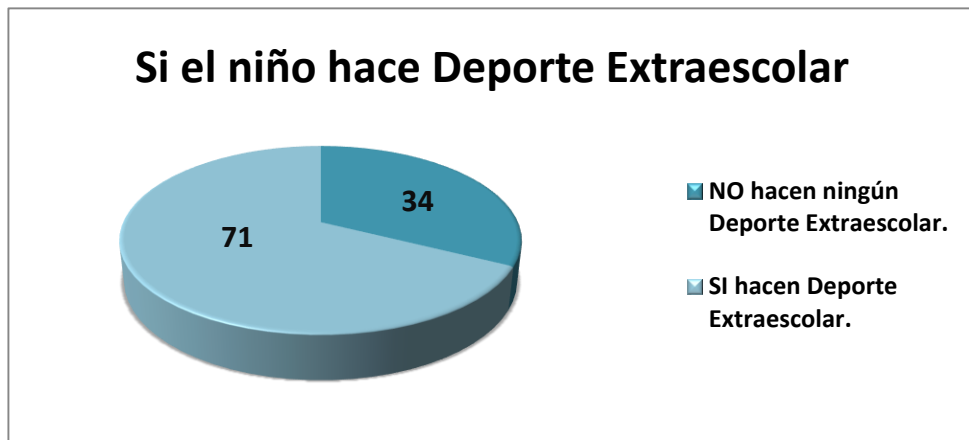


Figura 25: Recuento de la variable "si los niños hacen deporte extraescolar, sin separación por grupos".

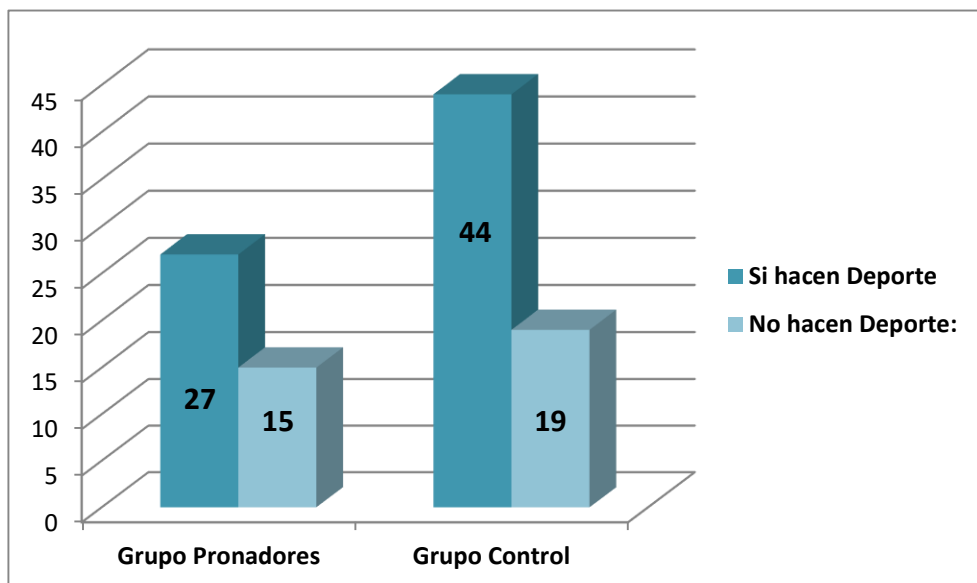


Figura 26: Recuento de la variable "si hace deporte extraescolar" por grupos.

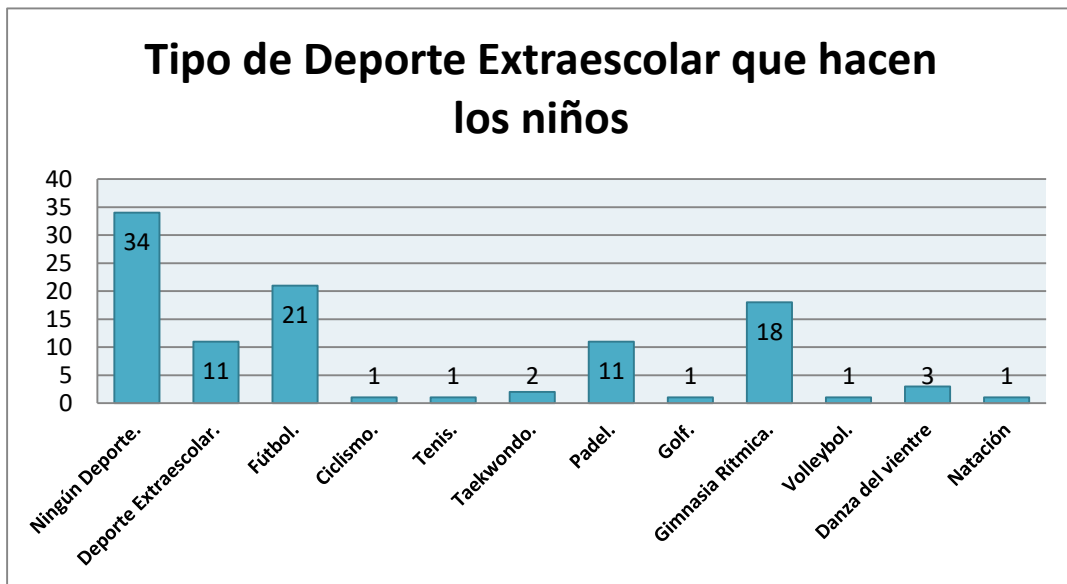


Figura 27: Recuento de la variable "Tipo de deporte extraescolar que realizan los niños".

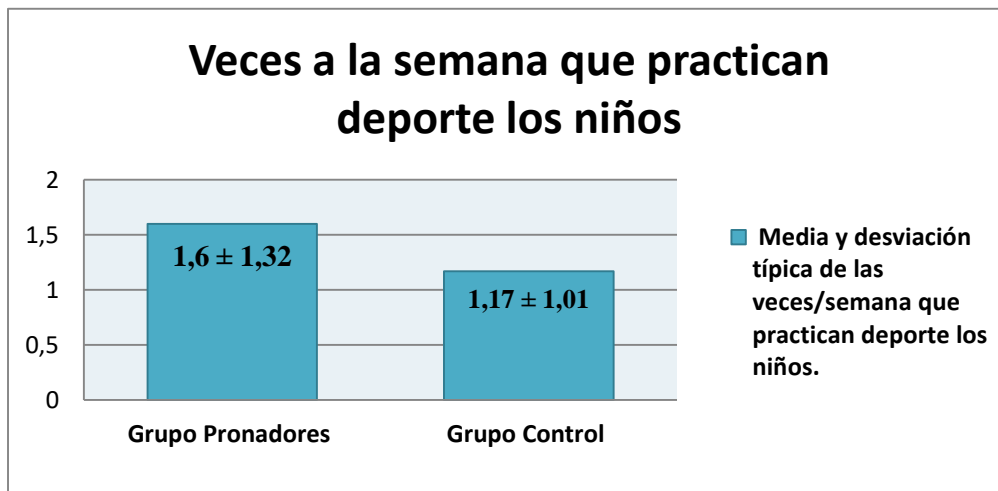


Figura 28: Recuento de la variable “veces a la semana que practican deporte los niños” para el grupo casos y el grupo control.

7.2. Análisis Exploratorio Previo

7.2.1. Estudio de las variables Edad, IMC, Sexo, FPI, Arch Index, Ángulo de Clark, y la variable veces a la semana que hacen deporte los niños pre-actividad

La comparación de los valores iniciales se realizó para determinar si la muestra era homogénea respecto a la edad, IMC, sexo y veces a la semana que realizaba deporte los niños. También para valorar si ambos grupos, pre-actividad, eran diferentes en cuanto al FPI, Arch Index y Ángulo de Clark.

Se ha comparado la **edad** entre el grupo casos y el grupo control, para comprobar si eran homogéneos mediante la prueba U de Mann Whitney, y el valor de P fue 0,494. Es decir, ambos grupos son homogéneos en cuanto a la edad, ya que no hay diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos

Se ha comparado el **IMC** entre el grupo casos y el grupo control, para comprobar si eran homogéneos, mediante la prueba T de Student, y el valor de P fue 0,809. Es decir, ambos grupos son homogéneos en cuanto al IMC, porque no hay significación estadística.

Se ha comparado el **sexo** entre el grupo casos y el grupo control, para comprobar si eran homogéneos, mediante la prueba exacta de Fischer, y el valor de P fue 0,060. Es decir, ambos grupos son homogéneos en cuanto al sexo.

Se ha comparado la variable “**¿Cuántas veces a la semana hacen deporte los niños?**” entre el grupo casos y el grupo control, para demostrar que las veces a la semana que realizaban deporte los niños no interfería en los resultados. Se utilizó la prueba de U de Mann Whitney, y el valor de P fue 0,105. Es decir, ambos grupos realizan deporte por igual a la semana. Por tanto, la muestra no presentaba diferencias significativas a la realización de actividad física.

Se han comparado las variables **FPI** (derecho e izquierdo) **pre-actividad** para el **grupo casos y para el grupo control**. Se utilizó la prueba U de Mann Whitney, y el valor de P para ambos grupos fue $< 0,001$. Es decir, los valores del FPI antes de la actividad fueron diferentes entre los grupos.

Se ha comparado la variable **Arch Index derecho pre-actividad** para el **grupo casos y para el grupo control**. Para determinar la significación estadística se utilizó la prueba T de Student para muestras independientes. El valor de P para ambos grupos fue 0,042. Es decir, el valor del Arch Index derecho pre-actividad fue diferente entre los grupos.

Por otro lado, para determinar la significación estadística de la variable **Arch Index izquierdo pre-actividad** para el **grupo casos y para el grupo control** se utilizó la prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes. El valor de P para ambos grupos fue 0,085. Por tanto, el Arch Index izquierdo pre-actividad no fue diferente entre los grupos.

Se han comparado las variables **Ángulo de Clark** (derecho e izquierdo) **pre-actividad** para el **grupo casos y para el grupo control**. Para determinar la significación estadística se ha utilizado la prueba U de Mann-Whitney. El valor de P para ambos grupos fue $> 0,05$, siendo para el pie derecho 0,323 y para el pie izquierdo 0,098. Por tanto, el Ángulo de Clark antes de la actividad no fue diferente entre grupos.

7.3. Pruebas de contraste

7.3.1. PCERT

Se compararon las medianas del **PCERT del grupo casos vs grupo control**. Para determinar la significación estadística se utilizó la prueba U de Mann-Whitney y el valor de P fue $< 0,001$.

Es decir, hubo mayor cansancio en los niños con pies pronadores respecto a los niños con pies neutros tras la actividad física. Por tanto, rechazamos la hipótesis nula y se afirma la hipótesis de investigación.

Se calculó el tamaño del efecto como medida de significación clínica. El valor obtenido fue 0,50. Se obtuvo un tamaño del efecto mediano, porque los valores fueron entre 0,3-0,8.

7.3.2. FPI

7.3.2.1 Comparación Intra-grupo

Se compararon las medianas del **FPI antes vs después de la actividad física** para ambos grupos. Para determinar la significación estadística se utilizó el test de Wilcoxon.

La diferencia fue estadísticamente significativa. Es decir, ambos grupos presentaron cambios significativos en los valores obtenidos antes y después de la actividad.

Se calculó el tamaño del efecto como medida de significación clínica. El grupo pies pronadores obtuvo un tamaño del efecto grande porque los valores fueron $> 0,8$. Y el grupo pies neutros obtuvo un tamaño del efecto mediano, porque los valores fueron entre 0,3-0,8. (*tabla 17*)

-FPI-		Valores Descriptivos	Significación (P)	Tamaño del Efecto
Grupo Control (Pies Neutros)	Dcho. antes	2,17 ± 1,17	0,002	0,38
	Dcho. después	2,62 ± 1,58		
	Izq. antes	2,33 ± 1,24	<0,001	0,45
	Izq. después	2,94 ± 1,52		
Grupo Casos (Pies Pronadores)	Dcho. antes	6,62 ± 0,85	<0,001	0,87
	Dcho. después	8,98 ± 1,13		
	Izq. antes	6,62 ± 0,96	<0,001	0,84
	Izq. después	8,83 ± 1,18		

Tabla 17: Valores descriptivos, significación estadística y tamaño del efecto, de las comparaciones del FPI derecho e izquierdo antes y después de la actividad física para ambos grupos

7.3.2.2 Comparación Inter-grupo

Se han comparado las variables **FPI** (derecho e izquierdo) **post-actividad**, para ambos grupos. Se utilizó la prueba U de Mann Whitney, y el valor de P para ambos grupos fue < 0,001. Es decir, los valores del FPI después de la actividad fueron diferentes entre el grupo pies neutros y el grupo pies pronadores

7.3.3. Arch Index

7.3.3.1 Comparación Intra-grupo

Se compararon los valores del **Arch Index** **antes vs después de la actividad física** para ambos grupos.

Para determinar la significación estadística del grupo control (para el pie derecho e izquierdo) y para el pie derecho del grupo casos se utilizó la prueba T de Student.

Para determinar la significación estadística del pie izquierdo del grupo casos se utilizó el test de Wilcoxon.

Para el Arch Index (derecho e izquierdo) del grupo control, la diferencia no fue estadísticamente significativa. Es decir, el grupo pies neutros no presentó cambios significativos en la huella plantar después de la actividad. (*tabla 18 y 19*)

Para el Arch Index (derecho e izquierdo) del grupo casos la diferencia fue estadísticamente significativa. Es decir, el grupo pies pronadores presentó cambios significativos tras la actividad. (*tabla 18 y 19*)

Se calculó el tamaño del efecto como medida de significación clínica. El grupo pies pronadores obtuvo un tamaño del efecto mediano porque los valores fueron entre 0,3-0,8. (*tabla 18*)

En definitiva, hubo cambios en la huella plantar tras la actividad para el grupo pies pronadores. Por el contrario, no hubo cambios en la huella plantar tras la actividad física para el grupo pies neutros.

-Arch Index-		Valores Descriptivos	Significación (P)	Tamaño del Efecto
Grupo Control (Pies Neutros)	Dcho. antes	0,21 ± 0,03	0,28	No significativo
	Dcho. después	0,22 ± 0,03		
	Izq. antes	0,21 ± 0,04	0,84	No significativo
	Izq. después	0,22 ± 0,04		
Grupo Casos (Pies Pronadores)	Dcho. antes	0,23 ± 0,05	<0,001	0,30
	Dcho. después	0,27 ± 0,06		
	Izq. antes	0,23 ± 0,05	<0,001	0,78
	Izq. después	0,27 ± 0,05		

Tabla 18: Valores descriptivos, significación estadística y tamaño del efecto, de las comparaciones del Arch Index antes y después de la actividad física para ambos grupos.

	ANTES		DESPUÉS	
	Pie derecho	Pie izquierdo	Pie derecho	Pie izquierdo
Arch Index Neutros	Arco alto	Arco alto	Arco normal	Arco normal
Arch Index Pronadores	Arco normal	Arco normal	Arco aplanado	Arco aplanado

Tabla 19: Interpretación de los valores del Arch Index para el grupo casos y el grupo control.

7.3.3.2 Comparación Inter-grupo

Se han comparado las variables **Arch Index** (derecho e izquierdo) **post-actividad**, para ambos grupos. Se utilizó la prueba T de Students, y el valor de P para ambos grupos fue $< 0,001$. Es decir, los valores del Arch Index después de la actividad fueron diferentes entre el grupo pies neutros y el grupo pies pronadores.

7.3.4. Ángulo de Clark.

7.3.4.1 Comparación Intra-grupo

Se compararon las medianas del **Ángulo de Clark antes vs después de la actividad física** para ambos grupos. Para determinar la significación estadística se utilizó el test de Wilcoxon.

Para el Ángulo de Clark (derecho e izquierdo) del grupo casos la diferencia fue estadísticamente significativa. Es decir, los niños del grupo pies pronadores presentaron cambios significativos tras la actividad. (*tabla 20 y 21*)

Para el Ángulo de Clark (del pie derecho) del grupo control, la diferencia no fue estadísticamente significativa. Respecto al pie izquierdo del grupo control la diferencia fue estadísticamente significativa. Es decir, el pie derecho de los niños pertenecientes al grupo pies neutros no mostraron cambios significativos tras la actividad, siendo estos cambios significativos en el pie izquierdo de los niños del grupo pies neutros.

Se calculó el tamaño del efecto como medida de significación clínica. El grupo pies pronadores obtuvo un tamaño del efecto grande porque los valores han sido $> 0,8$. Y el pie izquierdo del grupo pies neutros obtuvo un tamaño del efecto mediano, porque los valores fueron entre $0,3-0,8$. (tabla 20)

En definitiva, hubo cambios significativos en el ángulo de Clark para el grupo pies pronadores. Igualmente, no hubo cambios en el ángulo de Clark del pie derecho para el grupo pies neutros.

-Ángulo de Clark-		Valores Descriptivos	Significación (P)	Tamaño del Efecto
Grupo Control (Pies Neutros)	Dcho. antes	47,52 ± 7,69	0,25	No significativo
	Dcho. después	47,00 ± 8,26		
	Izq. antes	47,28 ± 7,36	0,01	0,31
	Izq. después	46,12 ± 8,31		
Grupo Casos (Pies Pronadores)	Dcho. antes	44,52 ± 11,82	<0,001	0,86
	Dcho. después	30,26 ± 14,72		
	Izq. antes	44,61 ± 8,83	<0,001	0,86
	Izq. después	31,19 ± 13,38		

Tabla 20: Valores descriptivos, significación estadística y tamaño del efecto, de las comparaciones del Ángulo de Clark antes y después de la actividad física para ambos grupos.

	ANTES		DESPUÉS	
	Pie derecho	Pie izquierdo	Pie derecho	Pie izquierdo
Ángulo Clark Neutros	Huella Cava	Huella Cava	Huella Cava	Huella Cava
Ángulo Clark Pronadores	Huella Normal	Huella Normal	Huella Plana	Huella Plana

Tabla 21: Interpretación de los valores del Ángulo de Clark para el grupo casos y el grupo control.

7.3.4.2 Comparación Inter-grupo

Se han comparado las variables **Ángulo de Clark** (derecho e izquierdo) **post-actividad** para ambos grupos. Para determinar la significación estadística se ha utilizado la prueba U de Mann-Whitney, y el valor de P para ambos grupos fue $< 0,001$. Es decir, los valores del Ángulo de Clark después de la actividad fueron diferentes entre el grupo pies neutros y el grupo pies pronadores

7.3.5. Pruebas físicas.

Se compararon los valores centrales de las tres repeticiones de una misma prueba física en ambos grupos para determinar si había diferencias significativas en el número de repeticiones que realizaban los niños.

Se compararon los valores centrales de los ejercicios de salto a la comba con desplazamiento, desplazamientos a 8 metros de distancia, circuito en Zig-Zag y salto con los pies juntos para ambos grupos. Para determinar la significación estadística se utilizó la prueba U de Mann-Whitney. Para alternancia piernas en banco sueco, se utilizó la prueba T de Students.

El valor de los resultados de todas estas pruebas no fue estadísticamente significativo. Es decir, ambos grupos obtuvieron resultados muy parecidos en las pruebas físicas. (*tabla 22*)

Los niños con pies pronadores no obtuvieron peores resultados a nivel estadístico en las pruebas físicas. Sin embargo, sí hubo diferencias descriptivas en los valores medios de cada una de las pruebas físicas. Es decir, los niños con pies pronadores obtuvieron menos repeticiones en las pruebas físicas respecto a los niños con pies neutros.

-Pruebas Físicas-	Descriptiva Grupo control	Descriptiva Grupo Casos	Significación (P)
Salto comba	28,70 ± 8,59	26,24 ± 7,50	0,17
Desplazamiento a 8m	9,30 ± 1,20	9,02 ± 1,31	0,23
Banco sueco	52,11 ± 12,45	47,9 ± 12,67	0,09
Circuito Zig-Zag	3,40 ± 0,74	3,36 ± 0,75	0,82
Salto con pies juntos	63,78 ± 10,41	62,36 ± 9,25	0,33

Tabla 22: Significación estadística de las comparaciones de las pruebas físicas para ambos grupos. Se añaden los valores descriptivos de ambos grupos para facilitar comprensión lectora.

7.3.6. Otras variables

Se compararon los valores medios de la variable **dolor en pies o piernas después de la actividad** en ambos grupos. Para determinar la significación estadística se utilizó la prueba exacta de Fisher, la diferencia fue estadísticamente significativa ($p < 0,001$). Es decir, hubo mayor número de niños/as del grupo pies pronadores que manifestaron dolor en los pies/piernas después de la actividad.

Se compararon los valores de la variable “**si los padres consideraban que su hijo/a se le cansaban los pies /piernas más de lo normal al hacer ejercicio**” entre ambos grupos. Para determinar la significación estadística se utilizó la prueba exacta de Fisher y el valor de P fue significativo, ($p = 0,023$). Es decir, la mayoría de padres del grupo de pies pronadores indicaron que su hijo/a se le cansaban las piernas tras el ejercicio.

Se compararon los valores de la variable “**si los padres consideraban que su hijo/a se quejaba de molestias o dolor en los pies después del ejercicio físico**” en ambos grupos. Para determinar la significación estadística se utilizó la prueba exacta de Fisher y el valor de P fue significativo, ($p = 0,029$). Es decir, hubo más padres del grupo pies pronadores que afirmaron que sus hijos/as se quejaban de dolores o molestias después del ejercicio y hubo más padres del grupo control que mostraron que no.

DISCUSIÓN

8. DISCUSIÓN

En este apartado abordaremos la discusión de los resultados obtenidos. Se explicará e interpretará el análisis estadístico descrito en el apartado anterior, tratando de ponerlo en relación con la situación actual, respecto al problema de investigación que venimos abordando, y considerando las opiniones, ideas e hipótesis, de los diversos autores que han debatido sobre esta temática. También reflexionaremos sobre las posibles limitaciones detectadas, además de identificar posibles líneas futuras de investigación.

Para ello, organizaremos este capítulo en varios apartados, que relacionaremos con los objetivos establecidos y con algunos aspectos metodológicos que iremos exponiendo a lo largo del capítulo.

Como ya hemos comentado, el objetivo principal de este estudio fue valorar si los niños con pies pronadores se cansan más que los niños con pies neutros tras los ejercicios de resistencia, y comprobar si se producen cambios en la postura del pie y en la huella plantar después de un aumento de las sollicitaciones mecánicas. Y a su vez, si estos cambios son mayores en el grupo pies pronadores respecto al neutro.

La presencia de artículos con esta temática en Podología es numerosa, sin embargo, no existe un consenso entre autores sobre si el pie pronador presenta algún tipo de desventaja en relación con el pie neutro. Observamos que en la mayoría de los casos la forma de valorar los pies fue realizada únicamente mediante la toma de la huella plantar, ya fuese con pedigráficas o con plataformas de presiones, a través exclusivamente del test del FPI, e incluso mediante el rendimiento motor en diferentes pruebas físicas. Realizado en edades diversas, sin tener en cuenta, por ejemplo, cómo la capacidad física básica se va estableciendo en función de la edad del sujeto. No obstante, fueron minoritarios los artículos que valoraron conjuntamente los cambios en la huella plantar y en la postura del pie antes y después de una actividad física, obteniendo una visión global y más acorde a la posición real del pie. Y a su vez, no han sido encontrados estudios que relacionen si la fatiga muscular desencadenada tras un ejercicio físico podría interpretarse en los niños como cansancio generalizado. Queremos resaltar que la mayoría de estas pruebas han sido llevadas a cabo en adultos y muy pocas en niños. De ahí, que nuestro

proyecto se centre en estos sujetos. Además de lo descrito, decidimos centrarnos en niños, dada la importancia que supone un desarrollo adecuado del pie y la extremidad inferior para el buen funcionamiento de todas las estructuras corporales, cómo método de prevención de futuras lesiones en cadena cinética ascendente, y/o mejoras en el rendimiento deportivo. Lo que podría llegar incluso a plantearnos la importancia del uso de ortesis plantares en estos casos. Por todo ello, consideramos que podría ser el primer estudio que valorara la influencia del tipo de pie en el cansancio percibido, y en el dolor muscular después de actividades de resistencia. Por tanto, consideramos que aquí es donde estriba la pertinencia y novedad del trabajo en cuestión.

Con este fin, decidimos elaborar nuestro estudio de investigación. Para ello, se completaron todos los pasos metodológicos, solventando todas las cuestiones que pudiesen delimitar la investigación, y aportándole la mayor calidad posible. Es por esto, que anterior a este estudio, se elaboró un “estudio piloto”, siendo éste de tipo analítico, transversal y observacional, publicado en la revista *European Journal of Podiatry* en el año 2015. Por lo tanto, podemos decir que los antecedentes que dieron paso a la realización de este trabajo, ayudaron a eliminar posibles sesgos que pudieron influir en los resultados anteriores.

Según los resultados del presente estudio y acorde a los objetivos establecidos, los niños con pies pronadores se cansaron más tras los ejercicios de resistencia respecto a los niños con pies neutros. A su vez, se produjeron cambios evidentes en la postura del pie y en la huella plantar de los niños que participaron en el estudio después de la actividad, siendo estos cambios más significativos en el grupo pies pronadores. Por el contrario, los resultados obtenidos respecto a las pruebas físicas de resistencia, no mostraron diferencias significativas, es decir, no manifestaron que los pies pronadores rindieran menos durante la actividad.

Para un análisis más detallado de los resultados, describiremos en primer lugar una breve explicación sobre la calidad y evidencia de las pruebas utilizadas según las recientes investigaciones. En segundo lugar, teniendo en cuenta que partimos de grupos homogéneos en cuanto a sexo, edad e IMC, realizaremos una breve discusión y aclararemos cuestiones sobre las características demográficas de la muestra. En tercer lugar, interpretaremos los datos obtenidos de cada variable respecto a cada uno de los

objetivos, relacionándolos con los diversos autores. En cuarto y último lugar, expondremos la aplicabilidad de los resultados de nuestra investigación, las limitaciones y puntos fuertes y las posibles perspectivas de futuro.

Para elaborar esta tesis con una buena base de evidencia y calidad científica, diseñamos una metodología acorde a lo observado en un exhaustivo análisis de numerosos artículos originales, revisiones sistemáticas, metaanálisis, etc., donde pudimos encontrar los puntos más relevantes y deficitarios llevados a cabo en otros estudios. Sin embargo, fue un tema confuso el identificar qué pruebas físicas serían las más eficaces para desencadenar la fatiga muscular que nos permitiera observar los cambios que se producen en los pies tras una actividad. También resultó complejo elegir la forma de cuantificar el cansancio manifestado tras el ejercicio y el método de clasificación del tipo de pie pronador/neutros, dada la discrepancia existente entre los diversos autores.

Muchos de los diferentes sistemas de clasificación y puntuación del tipo de pie son en gran parte subjetivos. Por ello, se incorporaron aquellas medidas que nos parecieron ser fiables, validadas y sensibles a los cambios que queríamos observar en los pies después de una actividad física. Empleamos aquellas técnicas que podrían proporcionar una valoración más completa del pie, tanto a nivel postural (mediante el test del Foot Posture Index (90)) como a nivel de huella (mediante el Arch Index (92) y el ángulo de Clark (93)), y a su vez quisimos relacionar todo esto con el cansancio percibido por los niños (mediante la escala del PCERT(91)).

La huella plantar es uno de los métodos más usados para el examen del pie, además de ser ampliamente utilizada en el ámbito clínico. A través de ella, es posible observar determinadas características morfológicas, como son las zonas de presión del pie, y trazar medidas sobre la imagen (63), en nuestro caso se utilizó el Arch Index (92) y el ángulo de Clark (93).

El Arch index de Cavanagh y Rodgers (92) es capaz de mostrar datos interesantes sobre la expansión de la huella plantar. Representa la proporción del área del tercio medio de una huella en relación con el área total, excluyendo los dedos del pie. Una proporción más alta indica un pie más plano y una más baja un pie más cavo (92). Desde entonces, se ha descubierto que el Arch index tiene una fiabilidad excelente (2,104,105), está altamente correlacionado con la altura del escafoides (2,100) y las medidas angulares

(2,102) determinadas a partir de radiografías. Siendo sensible a las alteraciones de los pies relacionadas con la edad y la postura (41).

El ángulo de Clark, descrito en 1933 (93), es otra de las medidas comúnmente usadas para el examen de la huella en pedigráfica. Es un método no invasivo, fiable y útil para estudios de seguimiento (106,107). Una proporción más alta indica un pie más cavo y una más baja un pie más plano (93). Según Pita-Fernández et al (107), este ángulo es capaz de clasificar el pie en los 3 tipos de huella plantar, siendo el método más preciso para la valoración del pie plano con una sensibilidad del 89.8%. Según Teyhen et al (22), el ángulo de Clark presentó la mayor especificidad (90,7%), seguido del índice de Chippaux-Smirak y Staheli.

Sin embargo, según Gijón-Noguerón et al (122), la imagen de la huella plantar puede sobreestimar y desviar las preocupaciones de la postura pediátrica del pie, pues no todos los pies pronadores son pies planos y no todos los pies cavos tienen que ser pies supinadores (122). En un estudio llevado a cabo en 2011, Teyhen et al (22) afirmaron que las presiones plantares y el Arch Index sólo fueron capaces de explicar el 32% de las puntuaciones del FPI. Igualmente, Sánchez-Rodríguez et al (123) destacaron que el valor del FPI predijo una baja variación de las presiones plantares, a pesar de distinguir con facilidad los tres grupos de pies: neutros, pronados y supinados. La asociación de las mediciones de la huella plantar y las puntuaciones de FPI proporcionan un elemento muy válido, siendo un método de evaluación relativamente rápido, simple y multidimensional del pie estático como indicador del pie dinámico durante la marcha (22).

Por ello, consideramos más propicia la idea de incorporar junto a la huella plantar, un método de elección más global que calificara la postura del pie del sujeto. Es por ello, que se incorporó al estudio el FPI (90). Según Redmond (90), el FPI mostró ser una herramienta clínica válida para emitir un diagnóstico objetivo, cuya finalidad es cuantificar de manera fiable el grado de pronación, neutralidad y supinación del pie, valorando los 3 planos del espacio y aportando información de retropié, mediopié y antepié, facilitando su clasificación (100). No sólo transmitiendo información sobre la postura del pie de la persona, si no, también de su movilidad (124). El escrutinio del FPI demuestra que es repetible y válido (100) con una excelente fiabilidad entre evaluadores en la valoración del pie infantil (125,126). La fiabilidad interobservador para el FPI en la

población pediátrica se refleja en el valor Kappa ponderado consistente obtenido ($K_w = 0,86$) por Morrison y Ferrari (125), en una muestra de niños de 5 a 16 años. Gijón-Noguerón et al (126) corroboraron esta fiabilidad al demostrar que el FPI era una buena media para la población pediátrica logrando un valor Kappa ($K_w=0,88$). Lopezosa (127) mostró que la fiabilidad intraobservador del FPI resultó ser muy buena, obteniendo un 92,15%. Según Banweel et al (128), es la medida más válida para la valoración del pie plano en la población pediátrica, siendo una herramienta de evaluación biomecánica muy importante para los pies en entornos clínicos (129).

Lo más delicado en este aspecto fue determinar qué tipo de pruebas físicas eran las más adecuadas para observar cambios en la morfología del pie, que fueran relativamente fáciles de medir, de montar, de realizar, poco costosas económicamente y que no fueran un inconveniente para la salud del escolar. Nuestra mayor dificultad fue debida al poco conocimiento que teníamos en esta especialidad, pues está más vinculado a otras disciplinas como la actividad física y el deporte.

Conforme a lo mencionado en diversos artículos que valoraban los tipos de pies mediante diversos ejercicios, observamos que sometían a los individuos a la combinación de ejercicios de fuerza, resistencia, velocidad y flexibilidad, obteniendo en su mayoría resultados no significativos o insatisfactorios (27,29,30,32,33,75).

Creímos que algo podría estar siendo sesgo de estudio, para ello consideramos oportuno obtener conocimientos de un profesional de la educación física, ya que trabajan a diario con escolares y nos podría aportar información más específica y especializada sobre el tema, además de su experiencia profesional en el ámbito.

Tanto la fuerza, como la resistencia, la velocidad y la flexibilidad son capacidades físicas básicas que se van desarrollando a lo largo del crecimiento del niño (76). El llevar a cabo una u otra capacidad depende de la edad y en nuestro caso, del objetivo que pretendíamos estudiar.

Según Mora (82), hablamos de resistencia aeróbica cuando a lo largo de toda la actividad se dispone del oxígeno suficiente para la oxidación de los sustratos energéticos (glucosa y ácidos grasos), que serán necesarios para la contracción. La evolución de esta capacidad físico-motriz va ligada al crecimiento y transformaciones del aparato

cardiovascular. Así, el aumento del volumen del corazón durante esta fase de la vida infantil incrementará el Vo_2 máximo. Comienza a partir de los 6 años y experimenta su progreso máximo a los 10-11 años, permaneciendo estable hasta los 15 años (82). Por ello, consideramos que era la edad de estudio óptima.

En los Centros Públicos de Educación Infantil y Primaria Andaluces (a partir de ahora, C.E.I.P), los dos últimos cursos académicos corresponden a quinto y sexto de primaria, edad en la que los niños/as tienen entre 10 y 12 años. El siguiente curso académico es 1º de la Eso, escolarización correspondiente al Instituto de Educación secundaria (a partir de ahora, I.E.S), en vez del C.E.I.P. Aspecto que influyó en que la edad de intervención se redujera a 10 y 12 años, por la facilidad en la extracción de los datos.

Al ser la resistencia aeróbica una capacidad física que somete al músculo a un trabajo de repetición continuo, en el que se dispone del oxígeno suficiente para la contracción, consideramos que ésta era la capacidad física más útil para valorar los cambios que se producen en el pie, ya que el trabajo continuo con suficiente oxígeno termina cansando al organismo y por tanto, se desencadenaría la fatiga muscular esperada y el consecuente cansancio generalizado. Siguiendo las pautas establecidas para trabajar la resistencia como capacidad física en el escolar (82,83), acorde a los ejercicios de resistencia disponibles (84) (*ver apartado 3.2.2*), y a la ayuda del especialista en educación física, se establecieron las pruebas más relacionadas con los objetivos de nuestro estudio (*descrito en el apartado 6.9.2*).

A continuación, analizaremos exhaustivamente las variables intervinientes en el estudio, siguiendo el orden de los objetivos establecidos.

Antes de proceder al análisis exhaustivo de las variables intervinientes en el estudio, acorde a los objetivos establecidos, vamos a aclarar cuestiones sobre las características demográficas de la muestra. Ésta resultó ser homogénea en cuanto a sexo, edad e IMC ($p>0,05$) entre los dos grupos, el grupo pies pronadores y el grupo pies neutros. Este dato mostró ser importante para poder eliminar posibles sesgos en los resultados.

El IMC se incorporó en el estudio para excluir a aquellos niños que no mostraban un peso normal, es decir que no presentaban valores comprendidos entre los percentiles 5 y 84, según el programa Perseo del Ministerio de Sanidad y Consumo Español (88), el cual se basa en la edad y en los índices específicos de género y masa corporal (89), y de esta forma poder evitar la influencia que pudiera efectuar la masa corporal en el pie del niño.

Autores como Melero (130), Mickle et al (131), Wearing et al (132), Gómez (133), Chang et al (58), Pfeiffer et al (45) Pita-Fernández et al (107), Lin (31) Sadeghi-Demneh et al (134) Pourghasem (135) Mueller et al (136), Yin et al (137), Sadeghi-Demneh et al (138), Djaali et al (8) mostraron en sus hallazgos una relación significativa entre la masa corporal y alteraciones en pies y/o piernas. Mickle et al en 2006 (131), afirmaron que los niños con sobrepeso u obesidad presentaron un aumento de la adiposidad del pie asociándose a pies planos. Los marcadores de adipocitos plasmáticos así como adiponectina, leptina resistina, IL-6, TNF- α mostraron correlaciones significativas con la postura del pie de los niños, correlacionándose con una postura más aplanada (139).

De igual modo, Pfeiffer et al en 2006 (45), Zurita Ortega en 2007 (30), Yin et al en 2018 (137) y Morales-Asencio et al en 2019 (57), aseveraron en sus estudios que la prevalencia de pie plano fue mayor en los niños que presentaban obesidad o sobrepeso respecto a los que no, siendo estos resultados estadísticamente significativos ($p < 0,001$). Así mismo, Mueller et al en 2016 (136) examinaron el efecto del IMC en las presiones plantares durante la marcha en 10382 niños, se evidenció que a mayor arch index, mayor área de contacto, mayor presión máxima y mayor tiempo de fuerza en niños con sobrepeso u obesidad ($p < 0,001$), respecto a los de peso saludable.

Igualmente, Chang et al en 2010 (58), estudiaron la relación del sobrepeso, la obesidad, el sexo y la edad con la morfología del pie en 2083 niños de 7-12 años de escuelas públicas del Norte de Taiwán. Se demostró que los niños obesos o con sobrepeso eran 2,66 y 1,39 veces más propensos a tener pies planos, que los que tenían un peso normal. Igualmente, Pourghasem et al en 2016 (135) obtuvieron una correlación positiva entre el aumento del IMC y la prevalencia de pies planos: niño con peso normal (16,1%), con sobrepeso (26,9), con obesidad (30,8%) ($p < 0,05$).

No sólo en niños se ha encontrado esta relación. Pita-Fernández et al (107) aseveraron que la prevalencia de pie plano aumentó progresivamente a medida que aumentaba el IMC en una muestra aleatoria de pacientes de 40 años o más, siendo la prevalencia de pie plano del 9,2% en sujetos de peso normal, aumentando a 16,7% en aquellos con sobrepeso y a 31,4% en obesos.

Sin embargo, autores como Evans en 2011 (140) discreparon con los resultados que la mayoría de los autores obtuvieron. En su estudio llevado a cabo en Australia con 140 niños de 7-10 años, donde el objetivo era relacionar el pie plano infantil y la obesidad, los resultados mostraron que los niños con sobrepeso presentaban menos pies planos. Este estudio entra en conflicto con muchas investigaciones anteriores que abordaron la relación entre el peso de los niños y la morfología del pie. En 2015, Evans y Karimi (141) vuelven a estudiar la asociación entre el IMC y la postura del pie, mediante el FPI ampliando la muestra a 728 niños, no encontrando asociación entre el aumento del IMC y los pies planos. Con estos hallazgos se cuestionan la preocupación del aumento del IMC, como influencia de una postura del pie más aplanada y la validez de la huella frente a medidas de valoración más posturales.

Posteriormente en 2016, Hawke (142) junto con Evans, estudiaron la relación entre la postura del pie, el IMC y la edad en 30 niños (20 niñas y 10 niños) de 7-15 años. En esta investigación tampoco encontraron asociación entre la postura del pie, medido con el FPI (90). Coincidimos con Melero (130) en que la medida de valoración del pie, la diferencia de edad de los niños y el origen étnico pueden ser factores contribuyentes a esta clara disparidad entre los autores.

Un estudio de tesis doctoral llevado a cabo en la ciudad de Sevilla por Melero en 2017 (130), resaltó que los escolares de ascendencia americana mostraron un IMC corporal más elevado, presentando mayor tipología de pie plano-valgo ($p=0,006$), no encontrando resultados significativos en el resto de grupos de estudio. También refirió que el nivel socio-económico, cultural, y la región de procedencia eran factores influyentes.

Sin embargo, el estudio con mayor número de niños encontrados (3217 escolares), con datos obtenidos de 3 países diferentes (España, Inglaterra y Australia), que relacionen la postura del pie usando el FPI y la antropometría usando el IMC, confirmaron que el

aumento del IMC no se relacionó con pies planos en escolares (60). Coincidimos con Gijón-Noguerón et al (60), cuando afirmaron que la mayoría de los estudios que relacionan ambas cosas utilizan un método de evaluación basado en la huella plantar (8,19,131,136,139,143,144), método que bien puede representar la diseminación del tejido adiposo, en lugar de la morfología anatómica del pie, como lo hace más directamente el FPI. Es posible, que la mayor área de superficie de la huella del pie sea sólo la expansión del tejido blando, en lugar del aplanamiento del arco interno (140). Coincidimos con Evans en su afirmación de que la discordia existente entre los diferentes hallazgos de los investigadores, respecto a los valores obtenidos en investigaciones similares podría deberse en parte, al uso de diversos métodos de medición del pie (140).

La discrepancia sugerida por los diversos autores, sobre si el sexo y la edad eran variables que podrían provocar sesgo en los resultados, nos incitó a incorporarlas y a homogenizar la muestra respecto a ellas.

Melero en 2017(130) afirmó que el sexo influye en el tipo de pie, pues obtuvo en sus resultados que los niños tendían a tener el pie más plano (58,4%) respecto a las niñas, presentando éstas valores más elevados del ángulo de Clark. Pourghasem et al en 2016 (135) mostraron que la prevalencia de pie plano fue mayor en niños (con un 17,5%) que en niñas (con un 14,5%) de un total de 653 niños y 505 niñas de estudio. Así mismo, Yin et al en 2018 (137) identificaron que el sexo y el sobrepeso eran factores de riesgo para el pie plano ($p < 0,01$). De igual forma, Jannah et al en 2019 (145) encontraron una mayor prevalencia de pies planos en niños en comparación con las niñas del estudio ($p < 0,05$), no mostrando asociación entre la edad y el pie plano ($p > 0,05$).

Según Mora (82) y Sebastiani y González (83) a los 10-12 años, las tareas que requieren de un mayor esfuerzo de duración están plenamente desarrolladas y estables, sin existir diferencias entre ambos sexos (pre-pubertad). Según mostró Vieira et al (146), en su análisis durante la carrera, las estructuras del pie y las cargas plantares están en estado cambiante durante el crecimiento. A los 6 años presentaban valores diferentes de presión máxima, fuerza máxima, tiempo de contacto y área de contacto respecto a los niños de 4 y 5 años.

Árevalo-Mora (33) realizó un estudio similar al nuestro, y concluyó no haber encontrado diferencias entre sexos al comparar los resultados de las pruebas físicas según el tipo de pie a la edad de 10-12 años, edad que según el autor era la más apropiada, porque a esa edad no existen diferencias en la cualidad física básica de resistencia por sexo. Pues según Lin (31), el riesgo de padecer pie plano leve, moderado y severo se relaciona con el peso, con la altura y con la hiperlaxitud del individuo, pero no con el sexo cuando aún no están desarrolladas las capacidades físicas básicas. Así mismo, Hernandez-Álvarez et al (97) mostraron que el sexo producía diferencias significativas en la percepción de esfuerzo ($p < 0,01$), pero no la edad. En su estudio, las chicas informaron de una mayor percepción del esfuerzo que los chicos. Sin embargo, Ford et al (147) estudiaron el cansancio percibido en niños y niñas después de caminar y correr en el patio del colegio, no encontrando diferencias entre el sexo masculino y femenino respecto a la variable PCERT.

Dadas las ligeras discrepancias entre las variables sexo, edad e IMC, decidimos homogenizar la muestra respecto a estas tres variables, asegurándonos así posibles sesgos en los resultados obtenidos.

8.1. Objetivo principal: Valorar si los niños con pies pronadores se cansan más respecto a los niños con pies neutros tras la práctica deportiva.

La percepción del esfuerzo percibido no se encuentra muy investigada hasta donde conocemos en el ámbito de la Podología infantil. A diferencia del adulto, donde la escala de Borg (94) está mundialmente extendida en el estudio de la percepción del cansancio, como control sistemático del entrenamiento y del nivel de esfuerzo y estrés del organismo.

De acuerdo con el primer objetivo establecido, se compararon los valores del PCERT para ambos grupos, los resultados mostraron una diferencia estadísticamente significativa ($p=0,001$). Por tanto, los niños con pies pronadores se cansaron más respecto a los niños con pies neutros, tras los ejercicios de resistencia establecidos. Por lo que, afirmamos la hipótesis de investigación y rechazamos la nula (H_0).

Boozari et al en 2013 (12) intentaron cuantificar la fatiga muscular para estudiar la influencia que podría tener en las FRS en 17 mujeres con pies pronadores y 17 mujeres con pies neutros, mediante ciclos de estiramiento-acortamiento que simularan el funcionamiento real de los músculos en la marcha. Ante la imposibilidad de cuantificar la fatiga, utilizaron la escala de esfuerzo percibido de Borg, no encontrando relación entre la fatiga y las FRS entre ambos grupos. Los resultados encontrados discrepan con los nuestros, la muestra estudiada se refiere a adultos y la escala utilizada difiere a la nuestra.

En 2010, Ford et al (147) estudiaron el esfuerzo percibido mediante la escala del PCERT en 1500 metros de caminata y carrera a una velocidad seleccionada, con 54 niños de 8-11 años de edad. Sus resultados mostraron no haber diferencias significativas en la escala del esfuerzo PCERT entre las dos actividades ($p>0,05$).

Hernández-Álvarez et en 2010 (97) analizaron la percepción del esfuerzo percibido (mediante el PCERT) en clases de educación física para evaluar la intensidad del ejercicio físico, donde participaron 1853 estudiantes entre 10 y 18 años. Desde nuestro punto de vista, la escala utilizada en los estudios es muy válida para este tipo de valoración

y edad, pero no podemos comparar sus resultados con los de nuestro estudio, pues la muestra estudiada, los objetivos y las variables de estudio difieren completamente.

Resulta notablemente complicado comparar nuestros resultados con los obtenidos en otros estudios, dada la singularidad de relacionar los tipos de pies y el cansancio entre grupos pronadores y neutros. En un estudio más reciente, Gómez-Benítez et al (148) mostraron que los niños con pies pronadores se cansaron más que los niños con pies neutros tras la tarea física realizada. Con una media de 5,69 puntos en la escala para el grupo control y 7,35 puntos para el grupo pies pronadores $p=0,04$, siendo estos resultados estadísticamente significativos ($p<0,005$). Estos resultados coinciden con lo observado en nuestra investigación.

Sin embargo, coincidimos con numerosos estudios (96–99,147) en que el PCERT es un test lo suficientemente válido para expresar la propia percepción del niño sobre el grado de fatiga o intensidad del esfuerzo. Imaginamos que dado el poco acercamiento que existe entre este test y la Podología, no hemos encontrado artículos que expliquen los resultados que hemos obtenido. Sin embargo, se han encontrado artículos algo similares en adultos que estudian la fatiga muscular desencadenada en las FRS en diversas actividades atléticas.

Consideramos que estos valores elevados de cansancio en los niños con pies pronadores podría deberse a lo afirmado por Rueda (39), Prat et al (65), Stovitz y Coetzee (149) y Hintermann y Nigg (150) (citado en Salazar Gómez (66)).

La función anormal del pie altera biomecánicamente su relación con el resto de estructuras osteo-articulares y crea un cambio en las fuerzas de la extremidad inferior. Las estructuras contráctiles tendrían que trabajar más duramente para conseguir la misma función. El pie pronador, por su propia estructura, presenta en descarga un antepié supinado, el cual en muchas ocasiones está bloqueado. Sin embargo, una vez que se le somete a carga, el aumento del grado de divergencia astrágalo-calcánea, provoca que el pie se inestabilice rápidamente en las distintas fases de la marcha. Esto provoca un aumento considerable del tiempo de amortiguación y de la velocidad de desplazamiento hacia pronación, como consecuencia del recorrido tan grande que tiene que hacer el primer metatarsiano para poder llegar al suelo. Esto se acompaña de un momento

torsional en rotación interna de la tibia, situación crucial para producir una sobrecarga en la rodilla y una coaptación ósea exagerada a nivel externo (39).

Todo esto provoca que los músculos se activen antes, a mayor intensidad, y durante periodos más largos. A nivel de la pierna, se intenta frenar el recorrido interno ofreciendo resistencia a dicho movimiento mediante la contracción de la cadena muscular antero-externa. Los ligamentos calcáneo-escafoideo plantar, astrágalo-calcáneo e interóseos se elongan permitiendo la eversión del retropié y abducción del astrágalo. La persistencia de esta postura favorece a la excesiva tensión del tendón de Aquiles, que por su función desplaza al calcáneo en flexión plantar, perdiendo su inclinación normal. Esto produce una pronación por encima de los valores de normalidad y un mayor esfuerzo para soportar el ALI del pie, produciéndose una sobrecarga que asciende del pie a todo el MMII (149).

El pie pronador por su propia estructura es inestable en las distintas fases de la marcha. Si a esta inestabilidad mecánica le sumamos actividades que precisan de mayor gasto energético, como son los ejercicios de resistencia, la fatiga muscular que se desencadenará podría ser intensa, asociándose a elevadas concentraciones de ácido láctico en el tejido muscular (71) y alteraciones iónicas en el sarcolema, con la consecuente disminución del consumo muscular de oxígeno, de la contracción muscular y de alteraciones tisulares que se encuentran implicadas en el sistema músculo-esquelético (151).

El gasto energético general es una característica de cada individuo al enfrentarse a sus capacidades básicas. Se considera una actividad poco costosa si se hace adecuadamente. Sin embargo, la marcha consume energía en el sujeto sano, y es una fuente de agotamiento para quienes presentan disfunciones importantes (73). Según los datos observados por Kim et al (152), los pies planos sintomáticos tuvieron una ineficiencia energética del 45% durante la marcha, en comparación con los pies neutros. En su estudio midieron el grado de ineficiencia cinética de la marcha en niños con pies planos y con pies neutros.

Posteriormente en 2019, Djaali et al (8) asociaron un mayor consumo de oxígeno en pies planos y un menor en pies neutros ($p < 0,001$), la aparición de fatiga muscular aumentó el consumo de oxígeno, y con ello el gasto de energía al caminar. El efecto global

fue una disminución de la energía disponible y de la fuerza de contracción muscular durante el ejercicio (71). Se redujo la capacidad de absorción energética y de generar tensión durante la contracción excéntrica, tan sólo manteniéndose conservada la capacidad de estiramiento fibrilar (151).

Así mismo, Bisiaux y Moretto (72) determinaron estas modificaciones baropodométricas tras la fatiga muscular por medio de las concentraciones de lactato sanguíneo. Además, el registro electromiográfico de distintos músculos implicados en la carrera, añadió información adicional sobre el aumento de la fatiga muscular durante el ejercicio. Coincidimos con Sanjari et al (34) cuando expresaron que la fatiga de los músculos intrínsecos del pie, podría provocar una caída del navicular y un mayor contacto del pie con el suelo.

De la misma manera, el análisis electromiográfico de superficie del pie, realizado a una muestra de militares corriendo en una cinta rodante durante 2 km, mostró una fatiga precoz en el músculo peroneo largo, lo que les ocasionó desviaciones medio-laterales durante el ejercicio, modificando posteriormente la posición del pie (153).

Chang-Ryeol et al (16) investigaron el papel que juega la fatiga muscular en las presiones plantares, antes y después del ejercicio en individuos con pies planos, y expresaron que la presión se incrementó de $5,52 \pm 1,97$ psi a $12,75 \pm 2,56$ psi en la zona media del pie. Igualmente, Escamilla-Martínez et al (21) hallaron cambios significativos en los patrones de presión plantar, aumentaron de los $17,92 \pm 4,18$ N/cm² a $19,24 \pm 5,12$ N/cm² tras 30 min de carrera continua en sujetos con pies neutros.

Según Fukano et al (154), la recuperación de las estructuras del pie tras una maratón puede tardar más de una semana, pues la altura del navicular en sus sujetos de estudio estuvo disminuida durante los 8 días siguientes a la maratón ($p < 0,001$). Dato que nos hace pensar que la fatiga producida en un tejido, como consecuencia de la repetición continua produce en éste cambios biológicos. Tal como expresan McPoil y Hunt (28), cuando los niveles de tensión son elevados se produce una adaptación del tejido a estas tensiones. Siempre que exista un tiempo de recuperación de los periodos de estrés, estos cambios serán adaptativos, ya sea aumentando el diámetro del tejido e incrementando su rigidez y deformación, antes de llegar a su límite de ruptura (lesión), es decir, el tejido soportará su máxima tensión antes de llegar a lesionarse (28). Por tanto, pensamos que la

carga adicional en estos músculos podría asociarse con el cansancio generalizado expresado por los niños.

8.2. Objetivo secundario n°1: Comprobar si hay cambios en la postura del pie de los niños después de la actividad física en ambos grupos

Como ya se ha comentado con anterioridad, el test que nos permitió analizar los cambios en la postura del pie de los niños fue el FPI-6 (90).

Acorde al 1° objetivo secundario, se compararon los valores medios del **FPI antes vs FPI después** de la actividad física en ambos grupos. Los resultados mostraron que la postura del pie en el niño presenta cambios significativos después de una actividad deportiva que requiere de un gasto energético, como son los ejercicios de resistencia. Es decir, ambos grupos presentaron cambios relevantes entre el antes y el después de la actividad.

Los niños con pies neutros obtuvieron una media de FPI para el pie derecho antes de la actividad de $2,17 \pm 1,17$ que ascendió a $2,62 \pm 1,58$ después de la actividad, y para el pie izquierdo $2,33 \pm 1,24$ aumentando después de la actividad a $2,94 \pm 1,52$ (véase tabla 17).

Los niños con pies pronadores obtuvieron una media de FPI para el pie derecho antes de la actividad de $6,62 \pm 0,85$ que se incrementó a $8,98 \pm 1,13$ después de la actividad, y para el pie izquierdo $6,62 \pm 0,96$ ascendiendo después de la actividad a $8,83 \pm 1,18$ (véase tabla 17).

Estos cambios cuantificados mediante el FPI revelaron que existe una tendencia a la pronación global del pie después del ejercicio realizado. Podríamos relacionar estos cambios obtenidos con la fatiga muscular y con un mayor estrés de la zona tras la actividad física. Según expresan Levinger et al (11), los cambios detectados en su estudio cinemático mostraron un mayor estrés en aquellas estructuras que intervinieron en el control de los movimientos de pronosupinación durante la fase de apoyo de la marcha.

Según Peláez-Menacho et al (20), la variación a una postura más pronada, permite una mayor capacidad de adaptación al terreno respecto a la supinación, lo que proporcionaría una mayor amortiguación del impacto y una menor absorción de otras estructuras.

En 2013, Escamilla-Martínez et al (21) evaluaron en 30 hombres corredores habituales sanos la postura del pie mediante el FPI, y lo compararon con los valores obtenidos en las presiones plantares antes y después de una carrera continua de 60 minutos a ritmo moderado (3.3 m/s). Sus resultados mostraron que la carrera continua induce a cambios en el apoyo del talón, relacionándose con una mayor postura de pronación. Los resultados concuerdan con los obtenidos en nuestro estudio, y por tanto, coincidimos cuando reflejan que el pie sufre cambios tras la actividad física y que sería un factor influyente en el riesgo de lesión. Este hecho se corrobora con lo obtenido por Peláez-Menacho (20), en su estudio los valores del FPI ascendieron de 4,74 (pie derecho) y 4,21 (pie izquierdo) pre-actividad a 5,95 (pie derecho) y 5,79 (pie izquierdo) tras 3 horas de ciclismo de montaña ($p < 0,05$). De la misma manera, Cowley y Marsden (23) estudiaron a 30 corredores de media maratón. Midieron el FPI una semana antes de la carrera y 5 min después de acabarla, las puntuaciones del FPI aumentaron significativamente ($p < 0,001$) después de la maratón. Mostrando unos valores más altos en el pie izquierdo respecto al derecho.

En la misma línea, Bravo-Aguilar et al (15) manifestaron que la postura del pie puede modificarse después de 45 minutos de carrera, tras estudiar el FPI antes y después de la actividad ($p < 0,001$). No obstante, los resultados mostraron una evolución hacia una posición más neutral en vez de más pronada como la mayoría de autores expresaron. El tipo de zapatilla utilizada, ya sea por ser “supinadoras” o tener un extra de estabilización, podría haber influido en los datos conseguidos.

Sin embargo, los resultados obtenidos por los diversos estudios no son totalmente comparables con nuestra investigación, pues las edades de las muestras estudiadas difieren mucho con la nuestra, ya que nos centramos en niños y no en adultos. Tanto Escamilla-Martínez (21), Peláez-Menacho (20), Bravo-Aguilar (15) y Cowley y Marsden (23), realizaron sus estudios sobre sujetos sanos sin diferir en tipologías de pies. Valorar un grupo patológico como son los pies pronadores y poder compararlo con un grupo

control, nos permite certificar si esos cambios en la postura son fisiológicos en los sujetos sanos y no un mecanismo patológico que pueda desencadenar desventaja mecánica en estos pies. De ahí, la importancia de incorporar un grupo control como punto de referencia del estudio. Por ello, comparamos nuestros resultados con los obtenidos por Gómez-Benítez et al (148), los cuales con una muestra inferior de sujetos compuesta por niños con pies pronadores (n=20) y pies neutros (n=16), la postura del pie se modificó ($p<0,05$) tras ejercicios de resistencia, después de comparar el antes con el después de la actividad.

8.3. Objetivo secundario n°2: Comprobar si hay cambios en la huella plantar de los niños después de la actividad física en ambos grupos

Además de lo anteriormente descrito, se decidió tomar una pedigrafía para observar la huella plantar, y a partir de ella realizar medidas con el fin de obtener más información sobre la huella. Para obtener resultados más concluyentes se tomaron como medidas de interés el Arch Index y el Ángulo de Clark, dada la fiabilidad y sensibilidad que ofrecen (2,92,93,107).

Acorde al 2º objetivo secundario, se compararon los valores medios del **Arch Index antes y después** de la actividad física y del **Ángulo de Clark antes y después** de la actividad física en ambos grupos. Los resultados mostraron que la huella plantar se modificó significativamente después de la actividad realizada.

8.3.1 Para el Arch Index

En el grupo pies pronadores, los pies sufrieron modificaciones significativas en la huella ($p<0,001$), a diferencia del grupo pies neutros que no mostraron cambios relevantes tras la actividad ($p=0,28$ para el pie derecho y $p=0,84$ para el pie izquierdo) (véase tabla 18).

Si realizamos una interpretación de los valores del Arch Index para ambos grupos, el grupo pies neutros mostró un “arco normal” después de la actividad. Sin embargo, el grupo pies pronadores modificó su huella, mostrando previo a la actividad un “arco normal” y después de ella un “arco aplanado” (*véase tabla 19*). Aspecto clínicamente importante si lo extrapolamos al tratamiento de la patología en la vida diaria.

8.3.2 Para el Ángulo de Clark

En el grupo pies pronadores, los pies presentaron variaciones importantes en la huella tras la actividad ($p < 0,001$). Respecto al grupo control, el pie derecho no manifestó variaciones significativas en la huella ($p = 0,25$), a diferencia del pie izquierdo que si lo mostró ($p = 0,01$) (*véase tabla 20*).

Si realizamos una interpretación de los valores del Ángulo de Clark para ambos grupos, el grupo pies neutros mantuvo una huella cava en todo momento. Sin embargo, el grupo pies pronadores mostró previo a la actividad una huella normal y después de ella una huella plana (*véase tabla 21*).

A pesar de que los resultados mostraron que el pie izquierdo del grupo control se modificó notablemente tras la actividad física, hay que reconocer que la huella según su tipología, sigue permaneciendo igual previo a la actividad. Consideramos que no sólo debemos hablar de significación estadística, también de la relevancia clínica producida en los pies pronadores, pues este grupo ha pasado de tener una huella normal a una huella aplanada (*véase tabla 21*). Tal como expresa Hollander et al (19) en su estudio, aunque haya poca asociación entre las características de la huella y la biomecánica de la carrera en niños, las alteraciones observadas en los pies de estudio pueden ser de gran interés clínico.

Cuando hacemos referencia al concepto de huella plantar, incluimos las dos medidas de valoración utilizadas en el estudio. Delgado Abellán et al (17), Berdejo del Fresno et al (18), Abián Vicén et al (25) y Anbarian y Hamed (14), afirmaron que los cambios producidos a nivel de la huella, podrían deberse a una expansión del tejido

blando, consecuente al desbalance ligamentoso y muscular, cuando se ven incrementadas las solicitaciones mecánicas del pie.

En 2013 Delgado Abellán et al (17) evaluaron la huella plantar antes y después de ejercicios de velocidad mediante el Arch Index, mostrando cambios significativos en las dimensiones de la huella. Cambios que según Escamilla-Martínez et al (21) podrían ser producidos por una expansión de los tejidos blandos probablemente relacionados con la fatiga muscular ocasionada por el ejercicio físico moderado. Además, según Anbarian y Hamed (14), la fatiga producida por la carrera tuvo modificaciones en la distribución de las presiones plantares de los corredores de arcos altos y bajos de estudio. Observaron un aumento de la presión máxima en la zona del 1º metatarsiano y una reducción en las zonas del 4º y 5º metatarsiano después de la actividad en los sujetos con pies de arcos bajos.

De igual manera, Stolwijk et al (155) indicaron que la presión plantar de 62 sujetos adultos después de realizar 199,8 km durante 4 días consecutivos se modificó, siendo las variaciones más llamativas en los últimos días de caminata. Las mediciones se tomaron antes y después de la actividad, permitiéndoles calcular como el tiempo de contacto del pie aumentó ligeramente de $638,5 \pm 24,2$ a $675,4 \pm 22,5$ ($p < 0,001$).

Chang-Ryeol et al (16) también observaron modificaciones en las presiones plantares antes y después del ejercicio en individuos con pies planos, y expresaron que la presión se incrementó de $5,52 \pm 1,97$ psi a $12,75 \pm 2,56$ psi en la zona media del pie.

Berdejo del Fresno et al en 2013 (18) afirmaron que, si la actividad deportiva fuese continuada, causaría modificaciones en la huella plantar de las jugadoras, produciéndose mayor homogeneidad en sus huellas por la disciplina practicada. Huang et al (156) también observaron modificaciones en la presión plantar de jugadores de bádminton en comparación con sujetos que no practicaban esta disciplina deportiva.

Así mismo, Martínez-Nova et al (157) aseveraron que corredores, jugadores de baloncesto y balonmano, modificaban su huella plantar en función de la disciplina realizada ($p=0,008$). También la natación y el fútbol (158) son disciplinas que modificaron la huella, respecto a sujetos que no realizaban ningún tipo de actividad ($p < 0,001$)(158). Según Sulowska et al (67), para controlar los movimientos pronosupinarios del pie es clave el fortalecimiento de los grupos musculares, por ello,

observaron una postura del pie más neutral tras realizar ejercicios de fortalecimiento de los músculos cortos durante 6 semanas(67).

Por ello, consideramos, que el pie es una marioneta de las estructuras musculoligamentosas que lo sostienen. El trabajo de fortalecimiento muscular soportaría dichas estructuras, y sobrellevaría con mayor facilidad el estrés producido en aquellas piezas que intervienen en el control de los movimientos de pronosupinarios (11).

Por otro lado, autores como Hollander et al en 2018 (19) examinaron a 101 niños de 10-14 años y relacionaron el arch index mediante la toma de la huella dinámica con la biomecánica de la carrera, no encontrando asociación significativa entre ambos objetivos de estudio ($p=0,072$). Igualmente, Peláez-Menacho et al (20) no encontraron diferencias en el Arch index del pie izquierdo ($p>0,005$) y sí para el pie derecho ($p<0,05$), tras comparar los valores pre- post actividad. Sin embargo, los presentes estudios no son totalmente comparables con nuestro trabajo, pues tal como expresan en sus limitaciones, se obtendrían resultados más específicos si incluyeran un grupo control.

Según Gijón-Noguerón et al en 2018 (122), los valores obtenidos únicamente mediante la obtención de la huella plantar no se relacionan con la interpretación real del pie. Mostraron en sus estudios una correlación negativa entre los valores obtenidos en el FPI y la medición de la huella plantar mediante el ángulo de Clark ($\rho = -0,505$ izquierdo, $p<0,001$). De los niños con pies cavos según el Ángulo de Clark, el 73.3% tenían pies normales según el FPI; y de los niños con pies planos severos según el Ángulo de Clark, el 78.98% tenían pies pronados según el FPI, siendo estos resultados estadísticamente significativos ($p> 0,001$).

La asociación de las mediciones de la huella plantar y las puntuaciones de FPI proporcionan un punto de vista estático y dinámico. Para Teyhen et al (22), los valores obtenidos en las presiones plantares y en el Arch Index sólo fueron capaces de explicar el 32% de las puntuaciones del FPI. Justificaciones que nos llevaron a unir los conceptos, de huella y postura, ambos unidos nos ofrecen una visión más global, a la misma vez más real y posiblemente más válida de la estructura morfo-funcional del pie.

8.4. Objetivo secundario nº3: Determinar si los posibles cambios son más llamativos en los niños con pies pronadores respecto a los neutros

Según el 3º objetivo secundario, se determinó si los posibles cambios en la postura del pie y en la huella plantar tras la práctica deportiva fueron más llamativos en niños con pies pronadores respecto a los niños con pies neutros.

En relación con la huella plantar, los niños con pies pronadores sufrieron mayores modificaciones respecto al grupo control tras los ejercicios de resistencia ($p < 0,001$). Sin embargo, en la postura del pie no se ha podido demostrar que dichos cambios fuesen mayores en el grupo con pies pronadores.

Se decidió valorar minuciosamente el cambio exacto que sufrió la postura del pie tras la actividad física. La diferencia de puntuación obtenida entre el antes y después de la actividad fue de 0,45-0,61 puntos para el grupo pies neutros y de 2,21-2,36 puntos para el grupo pies pronadores.

El cambio fue mayor en los individuos con pies pronadores respecto a los neutros, aunque los datos mostraron que el cambio producido fue significativo para ambos grupos. Hay que reconocer que el grupo pies neutros mantuvo un valor de FPI neutro en todo momento, no ocurriendo lo mismo en el grupo pies pronadores, que sus valores oscilaron de categoría tras la actividad, pasando de ser pies pronadores moderados a pronadores severos según los define el FPI (90).

Boozari et al en 2013 (12) estudiaron la acción de la fatiga muscular en las FRS en 17 adultos con pies planos y 17 con pies neutros, antes y después de la actividad física. Con respecto a lo explicado en el párrafo anterior, coincidimos con dichos autores cuando expresan que, aunque estadísticamente ambos grupos obtuvieron el mismo comportamiento biomecánico después de la actividad, ellos observaron diferencias en los resultados obtenidos.

El grado de significación estadística no tiene por qué ser el límite que marque el mayor o menor riesgo de futura lesión. Pequeñas y no significativas diferencias podrían

marcar un incremento sustancial del riesgo, tal como explican Abián Vicén et al (25) en su investigación, en la que incluyeron 8 pies planos extremos y 7 pies cavos extremos y los sometieron a una batería de pruebas para valorar el mayor o menor riesgo de lesión en una tipología de pies extrema.

Los resultados del estudio de Boozari et al en 2013 (12) mostraron que los pies planos presentaban una disminución de las FRS después del ejercicio. Según los autores, esto podría estar causado por la fatiga desencadenada. Las articulaciones del pie se vuelven más flexibles debido a la acción pobre de los músculos, lo que impediría realizar un brazo de palanca adecuado, favoreciendo al riesgo de lesión. Boozari et al (12) coinciden con Barnes et al (10) cuando afirman que los individuos con arcos bajos fueron más flexibles y presentaron más absorción de impacto tras la actividad física, lo que hace situar al pie pronador en cierta diferencia respecto al neutro tras la actividad. Así mismo, Cornwall and McPoi en 2011 (124) mostraron en su estudio que una postura del pie más "pronada" medido con el FPI, tuvo una mayor movilidad vertical, medio-lateral y global del pie en comparación con los sujetos con una postura del pie más "supinada". Lo que hace que las estructuras musculares trabajen más intensamente para controlar la movilidad.

Autores como Queen et al en 2009 (13) mostraron que los pies pronadores presentaron una modificación de la carga tras la tarea realizada, un aumento de la superficie de contacto y de las fuerzas máximas respecto a los pies neutros, tras estudiar las diferencias en la carga de 12 adultos con pies neutros y 10 adultos con pies pronadores mediante plataformas de presiones en cuatro tareas específicas del deporte, siendo todos estos resultados estadísticamente significativos. Por lo tanto según los autores, la presión plantar está influenciada por el tipo de pie y depende de la tarea atlética practicada, o sea, si la tarea atlética provoca más gasto energético, el cambio en la presión plantar debería ser mayor.

De igual manera, Levinger et al (11) analizaron el movimiento tridimensional y las presiones plantares de 10 adultos con pies neutros y 9 con pies planos. Afirmaron que los pies planos sufrieron una prolongada eversión del calcáneo, un aumento de la rotación interna de la tibia y de la abducción del antepié, y una disminución de la eficiencia de la marcha y de la absorción de choque, respecto a los pies neutros. Modificaciones que,

según los autores, podría afectar al movimiento de articulaciones más proximales como rodilla y cadera. Chang-Ryeol et al en 2012 (16) estudiaron a 20 individuos con pies planos antes y después de la actividad física para investigar el papel que juega la fatiga muscular. Los resultados mostraron que en la zona media del pie la presión se incrementó de $5,52 \pm 1,97$ psi a $12,75 \pm 2,56$ psi después del ejercicio. Aspectos similares encontraron Levinger et al en 2010 (11). Sin embargo, el estudio de Chang-Ryeol et al (16) no es comparable con el nuestro, pues precisaría de un grupo control para que los resultados fuesen más concluyentes.

Como hemos mencionado, son numerosos los autores que expresan en sus resultados diferencias en el comportamiento de los pies pronadores respecto a una tipología neutra. A pesar de ello, es difícil concretar si el pie pronador presenta algún tipo de desventaja respecto al pie neutro.

A pesar de los resultados obtenidos en nuestro estudio, tenemos que reconocer que los niños con pies pronadores pasaron tras la actividad física, de ser pronadores moderados a pronadores severos, según los define el FPI (90).

Cuando hablamos de pies pronadores, hablamos de pies que biomecánicamente presentan una alteración funcional, pues el mecanismo normal de las fases de la marcha se encuentra alterado. Por tanto, habría que considerar la funcionalidad de un pie pronador severo, según afirma Salazar Gómez (66) y Shih et al (46) la transferencia de carga en una tipología de pies extremos es imposible que se haga correctamente en las diferentes fases de la marcha, pues las modificaciones en toda la cadena cinética de la extremidad inferior podría originar alteraciones biomecánicas en sentido ascendente.

Conocer el papel que juega la pronación como factor de riesgo de sufrir lesión, es un aspecto que se encuentra en controversia entre los autores. Queen et al (13), Boozari et al (12) y Levinger et al (11) aseveraron que una mayor pronación durante la marcha provoca que los músculos se activen antes, a mayor intensidad y durante períodos más largos, siendo incapaces de realizar su trabajo óptimo de absorción de las FRS y volviéndose más vulnerables a la lesión. Lopezosa et al (159) afirmaron que las lesiones más típicas en jugadores de baloncesto tenían relación con la tipología de pies. Igualmente, Caín et al (160) relacionaron valores de FPI elevados, como ocurre en los pies pronadores severos, con un mayor riesgo de lesión ($p=0,008$). Lesiones que según

De la Rubia (1) se asocian con una alta frecuencia al pie pronador, como son: la fascitis, la aquileítis, periostitis tibial, síndrome de la pata de ganso y de la cintilla ileotibial, condromalacia rotuliana, meniscopatías, síndrome del piramidal y lumbalgias.

Según Pérez-Morcillo en 2019 (161), los valores de pronación severos, medidos con el FPI, se asociaron con una probabilidad de lesión del 86,6% (n=58) y en los pronadores moderados del 60,8% (n=110), respecto a los neutros 25,1% (n=64) ($p < 0,001$), tras realizar un estudio de casos y controles con 600 corredores amateurs. La asociación la realizaron mediante una regresión logística simple por variable, ajustándola posteriormente a un modelo de regresión multivariable. El modelo logístico multivariante mostró que el pronador severo presentó OR 20,02 IC 95% para tener lesión.

Sin embargo, no todos los autores coinciden en lo mismo. Ramskov et al (162) no encontraron diferencias significativas en el riesgo acumulativo de lesiones entre los corredores con pies pronadores y neutros después de 125 km de carrera ($p = 0,29$). Burns et al (163) tampoco hallaron relación entre los pies pronadores y el riesgo de lesión, detectando un aumento significativo de lesiones en temporada de competición en los atletas con un tipo de pie en supinación.

Igualmente, en un estudio donde se evaluaron los diferentes tipos de pie durante 1 año de seguimiento para determinar si los cambios en la postura del pie era un factor de riesgo de lesión (75), se reveló que los pronadores tenían un número significativamente menor de lesiones en 1000 km de funcionamiento que los neutrales (75). No obstante, las lesiones más frecuentes entre todos los sujetos fueron: el síndrome de estrés tibial medial, dolor patelofemoral, síndrome de la banda iliotibial, tendinopatía de Aquiles, etc. Síndromes que según asevera Kirby (51), están muy asociados a problemas con la pronación del pie. Los resultados mostrados son poco comparables con los de nuestro estudio, ya que el proceso de evaluación fue prospectivo en 1 año de evolución y las edades de los sujetos difieren de la nuestra.

Llegados a este punto y valorando el impacto que supone la prevalencia de las lesiones en relación al pie pronador, consideramos importante mencionar un estudio realizado en 2019 (8) sobre las diferencias del gasto energético de los diferentes tipos de pies mediante un análisis de gases (monitoreando la FC y el consumo de O_2 al caminar). Sus resultados mostraron un menor consumo de oxígeno en estudiantes con pies neutros

($0,186 \pm 0,019\text{ml}$) y un mayor consumo en pies pronados ($0,269 \pm 0,036\text{ml}$) ($p < 0,001$). Aspecto que nos hace reflexionar sobre la importancia de asociar otros conceptos al estudio del pie pronador, como el análisis de gases y la percepción del cansancio. Esto podría ser de gran utilidad a la hora de comprender el funcionamiento del pie y su relación con el resto de las estructuras, y nos permitiría una mejor comprensión y desarrollo de estrategias de prevención específica del tipo de pie y de su posible repercusión futura.

8.5. Objetivo secundario nº4: Comparar si ambos grupos obtienen resultados similares o no tras las pruebas físicas de resistencia

Otro de los objetivos secundarios establecidos en nuestro estudio fue comprobar si ambos grupos obtuvieron resultados diferentes tras las pruebas físicas de resistencia.

Los resultados obtenidos indicaron que ambos grupos obtuvieron valores muy similares en las pruebas físicas de resistencia ($p > 0,05$). Sin embargo, tenemos que reconocer que existieron diferencias descriptivas (*véase tabla 22*) en los valores obtenidos en cada una de las pruebas físicas entre ambos grupos. Es decir, los niños/as con pies pronadores obtuvieron menos repeticiones en las pruebas físicas respecto a los niños con pies neutros.

Es preciso destacar que aunque esta diferencia no fue estadísticamente significativa, de acuerdo a lo que dice Rueda (26), un gran número de patologías estructurales no se manifiestan de forma inmediata, sino a largo plazo, cuando nuestro organismo resulta insuficiente para reparar los daños causados por un desajuste mecánico. Consideramos que la teoría del estrés de tejidos de Mc Poil y Hunt (64) podría dar una explicación de lo que puede ocurrir en estos casos. Cuando las fuerzas actúan sobre los tejidos, provocan una tensión y con ello dolor. En un principio, todas las estructuras vivas son capaces de soportar la tensión; primero se deforman de cierta manera, pero sin perder su forma original, después se deforman completamente sin volver a su forma original una vez que la fuerza haya cesado, por último cuando el tejido no puede soportar la fuerza deformante se rompe (se fractura) (64). Por supuesto, todo esto siempre dependerá de la

alteración mecánica que presente el sujeto, el grado de deformidad de la misma, el tiempo de evolución, la intensidad de la actividad, los periodos de descanso, etc.

Desde nuestro punto de vista, es posible que los niños de nuestro estudio a esa edad tengan un pie que biomecánicamente no esté totalmente equilibrado, aunque todavía sea asintomático y aparentemente funcione con normalidad. A la larga, la situación podría agravarse desencadenando un desequilibrio irreparable. Evidentemente, una detección precoz por un especialista evitaría la evolución a una situación realmente patológica.

Es difícil comparar nuestro trabajo con los encontrados, pues todos estudian el rendimiento de los diferentes tipos de pie en diferentes actividades físicas y pruebas motrices, mientras que nosotros sólo hemos incluido la capacidad física de resistencia. No obstante, nuestros hallazgos coinciden a groso modo con lo que la mayoría de los autores afirman. (27,29,30,32,33)

Kaufman et al (27) valoraron si el tipo de pie era un factor influyente en la actividad física en 50 sujetos con pies planos y 50 con pies neutros, tras realizar una serie de ejercicios físicos de agilidad, equilibrio y velocidad. Sus resultados mostraron que el rendimiento físico en los dos grupos del estudio era similar y no dependía de la morfología del pie.

De igual manera, Arévalo-Mora et al en 2013 (33) realizaron un estudio muy parecido donde incluyeron 187 individuos de 10-12 años para evaluar si algún tipo de pie (normal, cavo, plano) tenía mayor rendimiento en pruebas motrices de saltos de longitud, triples saltos, equilibrios y circuitos de agilidad. En sus conclusiones señalaron que el tipo de pie no repercutía en el rendimiento motor en ese tipo de pruebas y ningún tipo de pie fue mejor que otro, a excepción de los pies cavos que obtuvieron mejores resultados.

Zurita Ortega et al (30), mostraron que los niños con pies cavos consiguieron mejores resultados en salto vertical (Squat jump test) que los niños con pies neutros, y los pies pronadores la más baja velocidad, valor no comparable con nuestros resultados puesto que no hemos incluido la capacidad física básica de velocidad.

Tudor et al en 2009 (29) estudiaron a 219 niños de 11-15 años. Los separaron en 4 grupos en función del grado de aplanamiento del arco y los sometieron a una serie de

pruebas físicas, salto, velocidad, equilibrio y otras como flexión de los dedos y ponerse de puntillas. No encontraron correlación entre la altura del arco y las 17 habilidades motoras realizadas. De igual manera, afirmaron que no existía desventaja en el rendimiento deportivo tras comparar los grupos de pies extremos (arcos muy altos y arcos muy bajos).

Kumala et al en 2019 (32), estudiaron las diferencias en el rendimiento físico en atletas de 14-17 años con pies planos y pies neutros mediante ejercicios de fuerza, equilibrio y velocidad. El diagnóstico de la huella plantar determinó cada grupo de estudio. No se encontraron diferencias en el rendimiento físico de cada una de las pruebas en ambos grupos ($p > 0,05$). Autores como Roohi et al (35) sometieron a un grupo formado por pies pronadores y a otro grupo por pies neutros a pruebas de velocidad, agilidad valoraciones estáticas y dinámicas, tan sólo encontraron diferencias entre los grupos respecto a las pruebas de agilidad y equilibrio estático ($p < 0,05$), no encontrando diferencias en las pruebas de velocidad y equilibrio dinámico ($p > 0,05$). Todos estos resultados son difíciles de comparar con los nuestros, ya que en nuestro trabajo sólo incluimos la capacidad física básica de resistencia a diferencia de todos éstos que incluyen varias.

Lin et al (31) discreparon con los resultados de otros autores, pues afirmaron haber obtenido peores puntuaciones en los pies planos moderados y severos respecto a los neutros y cavos en diferentes tareas atléticas. Valoraron el rendimiento en función de las repeticiones que realizaba el niño en 30 segundos. Resulta importante destacar aquí que las tareas atléticas utilizadas en el estudio se han llevado a cabo en niños de 2-6 años y según Mora (82), a esa edad no es aconsejable el trabajo de las diferentes capacidades relacionadas con la aptitud físico motriz, pues hasta los 6 años las capacidades físicas básicas no están desarrolladas. Además, la forma de evaluar el rendimiento en función de las repeticiones que realizaba el niño en 30 segundos es considerado un ejercicio de tipo anaeróbico, y según Mora (82) y Sebastiani y González (83), está totalmente contraindicado la aplicación de cargas anaeróbicas durante la infancia, pues el resultado puede ser pernicioso, sabiendo que nos referimos a cargas de carácter láctico, sistematizadas y orientadas hacia un fin específico. Los trabajos anaeróbicos de este estilo no empezarán a combinarse con el trabajo aeróbico hasta los 16-17 años. Por tanto, desde nuestro punto de vista, los resultados mostrados son debatibles en varios aspectos.

8.6. Otras variables del estudio.

Se compararon los valores de la variable “*Si el niño refería dolor en los pies o piernas durante y/o después del ejercicio físico*” para ambos grupos. De un total de 42 niños con pies pronadores, 26 mostraban dolor y de un total de 63 niños con pies neutros tan solo 5 presentaba dolor. Siendo la frecuencia de niños/as del grupo casos que manifestaban dolor después de la actividad, estadísticamente significativa respecto a los niños/as del grupo control (*véase figura 22 y figura 23*).

La variable dolor muscular también se incluyó en el estudio, dado los numerosos artículos que mencionan la relación pies pronadores-dolor.

Con el fin de tener referencias descriptivas de si había algún tipo de relación entre los diferentes tipos de pies y el dolor muscular, se decidió anotar si había o no dolor durante la actividad en las piernas (por debajo de rodilla) o en el pie. Según expresaron Lee et al (9) el dolor más típico en los niños de estudio con dolores de pies se localizaba en la parte anterior y posterior de la pantorrilla, y el talón. 14 de los 20 niños (el 70%) se quejaron de dolor en más de dos regiones. Así mismo, Barnes et al (10) expresaron que el dolor en los pies planos en su mayoría se situaba en la cara plantar del pie y en la parte posterior de la pantorrilla.

De acuerdo a lo que refleja Kirby (164), la relación entre los dolores musculares y el tipo de pie puede deberse a que un pie pronador presenta un desequilibrio entre los músculos agonistas y antagonistas (en concreto, tibial anterior y tibial posterior) y músculos peroneos (largo y corto). El hecho de que el pie esté en una posición de pronación, requiere más esfuerzo de los músculos supinadores del pie, pues esa posición favorece a la desventaja mecánica de los músculos supinadores y al mismo tiempo ofrece a los peroneos una ventaja mecánica. Según Lee et al (9), el músculo tibial posterior es el músculo principal que mantiene la bóveda plantar y el control de la pronación. Si a eso le sumamos que los sujetos de estudio son niños que en su mayoría presentan pies pronadores flexibles o semiflexibles, la fatiga muscular se desencadenará con mayor facilidad. Según Evans et al (165), los padres suelen asociar estos episodios de “growing pains” o dolores de crecimiento con períodos de mayor actividad física. Explicación que podría servir para justificar los datos obtenidos en nuestro estudio, pues pensamos que tal

carga adicional en estos músculos de la pierna podría asociarse con el dolor por uso excesivo.

Kerr et al en 2019 (166) investigaron los parámetros cinemáticos que podían estar relacionados con el pie plano sintomático en 110 niños de 5-18 años. Los pies planos sintomáticos revelaron diferencias significativas con respecto al grupo de pies asintomáticos. Sus resultados mostraron que los movimientos del pie en el plano trasverso estaban estrechamente asociados con la presencia de síntomas en el pie plano, y se acompañaban de alteraciones en el movimiento del tobillo, rodilla y cadera.

De acuerdo con esto, Park et al en 2018 (167) compararon la actividad de varios músculos entre ellos el tibial anterior y peroneo largo, en pies neutros y pies planos, mediante un electromiógrafo de superficie, comparando los datos pre-actividad con post-actividad. En sus resultados mostraron una mayor actividad del músculo peroneo largo en el grupo pies neutros ($p < 0,05$), aspecto significativo ya que dicho músculo es un plantarflexor del primer radio, el cual frena el momento de pronación de la ASA. Si esta situación no se produce correctamente, la ASA pronará desencadenando mayor dorsiflexión del primer radio y a su vez, mayor insuficiencia del vector de fuerza del peroneo lateral largo.

Por el contrario, Mahmoud et al en 2017 (143) analizaron la relación de los pies planos y la fuerza de los músculos inversores y eversores, mediante ejercicios concéntricos de 60 segundos en cadena cinética abierta con un dinamómetro, realizado en sujetos entre 18 y 47 años de edad. Los resultados mostraron no encontrar diferencias significativas entre el grupo pies pronadores y el grupo pies neutros. Muy parecido al artículo anterior y también en 2017, Mahmoud et al (144) estudiaron la relación entre los pies planos y los músculos flexores y dorsal-flexores del pie, siguiendo el procedimiento del trabajo anterior igualmente no encontraron diferencias entre ambos grupos.

Que los resultados no hayan sido los esperados por los autores, podría deberse a que los sujetos no estuvieran correctamente agrupados, como ya hemos explicado el diagnóstico sólo a través de la huella plantar es escaso para determinar una clasificación correcta de la tipología de pies. Además, los ejercicios en descarga no representaban a un individuo de pie, caminando o corriendo. Incluso los tiempos que se establecieron para

los ejercicios concéntricos pudieron ser insuficientes para desencadenar la fatiga esperada y los rangos de edades eran excesivamente amplios.

En 2003 Evans (168) publicó un excelente artículo de investigación de tipo experimental de caso único, en él buscaba la relación causa-efecto de 8 niños con edades comprendidas entre 3 y 10 años que tenían dolores musculares tras la actividad física y signos de excesiva pronación del pie. En su estudio alternó periodos de tiempo con y sin tratamiento. Todos los niños del estudio presentaron una reducción sustancial en la escala subjetiva del dolor (EVA) cuando llevaban soportes plantares y la postura del pie estaba controlada respecto a los periodos que no los llevaban. Evans (168), concluyó que al disminuir la postura de pronación mediante ortesis plantares, se reducían los dolores musculares, por tanto estableció una evidencia científica de la relación causal entre el pie pronador y los dolores musculares.

De igual manera, Lee et al (9) en 2015 evaluaron el efecto de las ortesis plantares (mediante ortesis invertida) en pies pronadores con dolores musculares (mediante la escala EVA). Analizaron la frecuencia y el grado del dolor antes del tratamiento, al mes y a los 3 meses después de instaurarlo. Tanto la frecuencia como el grado del dolor mostraron una mejoría estadísticamente significativa ($p < 0,001$). El grado del dolor evolucionó desde antes del tratamiento ($6,25 \pm 2,00$), al mes siguiente de instaurarse el tratamiento ($3,60 \pm 2,5$) y a los 3 meses después ($2,40 \pm 2,03$). Considerando la reducción de los dolores musculares un efecto de las ortesis plantares.

Además Kirby y Green (169) en referencia a su artículo sobre los dolores infantiles, afirmaron que el 90% de los niños que tenían síntomas en las extremidades inferiores y un cierto grado de pronación en los pies, disminuyeron sus dolores con ortesis plantares. La inestabilidad mecánica del pie durante actividades que precisan de mayor gasto energético puede ser una causa importante de dolores en algunos niños, pues según Evans et al (170) un aumento de la movilidad articular ligamentosa (definida con el test de Beighton, mostrando $>5/9$ de corte) fue indicador del dolor en las piernas de los niños del estudio, aspecto importante pues mostró resultados significativos de que el aumento de la movilidad articular, predictor de “growing pains”.

Así mismo, Sadeghi-Demneh et al en 2016 (134) mostraron en su estudio que aquellos niños que presentaban una tipología de pies más aplanada se asociaban a talón más pronado, menor rango de dorsiflexión y mayor dolor en sus pies durante la actividad física. Sadeghi-Demneh et al (134) y Alghadir et al (139) realizaron una correlación entre la incidencia de pies pronados y el dolor en los pies de los niños tras la actividad.

Respecto a las variables *“si los padres consideraban que a su hijo se le cansaban las piernas más de lo normal o se quejaba de molestias o dolor después del ejercicio”* se encontraron diferencias entre los dos grupos respecto a las dos variables expresadas ($p < 0,05$).

Existe correlación entre lo que los padres expresaron, lo que los niños manifestaron y los resultados obtenidos. Sin embargo, ninguno de estos niños presentó tratamiento en el momento del estudio, pues era uno de los criterios de exclusión establecidos.

Es frecuente pensar entre la población, que es normal presentar cansancio generalizado y dolor muscular no incapacitante cuando estamos “a pie parado”, caminando durante un rato seguido o tras la práctica deportiva. A veces, hasta que no se agudiza, se cronifica o incapacita, resulta difícil que el individuo busque solución o incluso prevención. Zurita Ortega et al (30) expresaron que a veces el miedo de acudir al especialista y que les impida realizar actividades deportivas, influye en el hecho de que los niños no informen de su dolencia.

En cuanto a la variable *“Hace deporte extraescolar”*, decir que la inmensa mayoría de los niños realizaban deporte fuera del horario escolar. Del grupo control 44 realizaban actividad física, siendo 19 los que no hacían ningún tipo de deporte, y del grupo casos 27 realizaban actividad, siendo 15 los que no. El deporte más practicado fue el fútbol, seguido de la gimnasia rítmica, igualmente Zurita Ortega et al (30) expresaron que el fútbol fue la actividad deportiva más practicada, aunque su mayor proporción correspondió a individuos que no realizaban ninguna actividad deportiva.

Respecto a *“las veces a la semana que los niños realizaban actividades físicas”*, es importante resaltar que la mayoría de los niños realizaban deporte una media de $1,6 \pm 1,32$ horas para el grupo casos y $1,17 \pm 1,01$ horas para el grupo control. Según la OMS

(171) los niños y jóvenes de 5 a 17 años deben realizar actividades como mínimo tres veces por semana durante unos 60 minutos/diarios. Deben ser actividades vigorosas y de tipo aeróbica que refuercen los músculos y huesos, por tanto, los niños de nuestro estudio no cumplieron con los requisitos impartidos por la OMS, ellos justificaron este hecho a que les resultaba difícil alternar el deporte con los estudios.

8.7. Aplicabilidad de los resultados

Realizar una tesis doctoral con todo el esfuerzo que supone y la cantidad de información que se reúne, para no describir un apartado sobre la aplicabilidad que podría tener en la práctica clínica diaria, sería indudablemente poco productivo a nivel científico.

La culminación de esta tesis es intentar facilitar a numerosos profesionales del ámbito de la podología infantil y pediatría la típica frase que nos cuestionamos con relativa frecuencia en consulta: ¿TRATAR O NO TRATAR?

El tratamiento precoz ocupa un lugar fundamental para impedir trastornos biomecánicos futuros en el niño, por esto el rol del podólogo es primordial. Por regla general, la mayoría de los padres tienen poco conocimiento acerca del pie pronador y de las consecuencias futuras que ocasiona, por lo que acuden a consulta cuando el proceso patológico se encuentra avanzado.

Una detección precoz de este tipo de pie evitaría la evolución a una alteración realmente patológica. Por ello, recomendamos en base a los resultados de este estudio que todos aquellos niños con pies pronadores de tipo flexible, semiflexible o rígido que presenten factores asociados, como un aumento del cansancio durante/post actividad, y/o dolor en pies o parte posterior de las piernas, deberían de ser analizados en un exhaustivo análisis todas las estructuras del pie y del MMII, para establecerles el tratamiento más idóneo. Este estudio no investiga el hecho de que con tratamiento ortopodológico los niños se cansen menos o tengan menos dolores, pero puede servir de base para futuras investigaciones.

Los resultados de este estudio establecen una relación directa entre los cambios que se producen en el pie a nivel de postura y de huella y la aparición de cansancio y dolor en niños con pies pronadores. Datos más que suficientes para recomendar a todos los niños con este tipo de sintomatología, la valoración de un estudio biomecánico llevado a cabo por un podólogo.

«Tratar los pies en la infancia es tratar parte de su futuro. Andar es vivir y andar bien es prolongar la vida »(4).

8.8. Limitaciones y fortalezas del estudio

En este subapartado hablaremos de las carencias y los posibles sesgos con los que nos hemos encontrado a lo largo del periodo de investigación:

- *La población de estudio:* Formada por sujetos de varios colegios de la provincia de Cádiz, debido a que el área geográfica es reducida, es difícil extrapolar nuestros resultados a la población en general.
- *Efecto del voluntario:* Está determinado por el grado de colaboración del escolar en el estudio.
- *Relación pruebas físicas y tipología de pies:* La escasa información sobre estudios que valoren los diferentes tipos de pie exclusivamente con pruebas de resistencia, podría haber influido en que las estaciones llevadas a cabo en los ejercicios de resistencia no fueran las más apropiadas para obtener resultados concluyentes.
- *Variable dolor:* Hubiese resultado interesante cuantificar la variable dolor mediante una escala validada en niños.

Por otro lado, también se debe tener presente los puntos a favor en el desarrollo de este trabajo:

- *Homogeneidad de los grupos:* Todos los sujetos resultaron ser homogéneos según el sexo, la edad, el IMC y la variable descriptiva “¿Cuántas veces a la semana hacen deporte los niños?”. En el análisis exploratorio previo se registraron los valores de las variables dependientes utilizadas (FPI, Arch Index y Ángulo de Clark) pre-actividad, lo que permite un punto de partida diferente entre grupos.
- *Cansancio y tipología de pies:* incorporar el estudio del cansancio percibido tras un ejercicio físico a la Podología, y específicamente intentar relacionar si la fatiga muscular consecuencia de las variaciones de los pies pronadores podría interpretarse en los niños como cansancio generalizado.

- *Tomar mediciones de la postura del pie y de la huella:* Esto ha permitido obtener unos resultados más concluyentes sobre las modificaciones que sufre el pie en los tres planos del espacio, permitiéndonos una valoración más real y posiblemente más válida de la estructura morfo-funcional del pie.
- *Tomar mediciones pre-actividad y post-actividad:* Esto ha permitido comparar las variables intragrupos e intergrupos. Aspecto que encontramos incompletos en algunos de los artículos encontrados.

8.9. Prospectiva de futuro

Teniendo en cuenta los objetivos cumplidos en este trabajo de investigación, la principal prospectiva a la vista de los resultados sería:

- Ampliar el campo de actuación y extender el estudio por más colegios, para tener una muestra más representativa de la población infantil en general.
- Aumentar la edad de los sujetos.
- Valorar la postura del pie mediante el FPI y la huella plantar tras un periodo de descanso, para observar si las modificaciones y el dolor expresado tras la actividad física revierten a su estado inicial, una vez que la musculatura haya descansado. Utilizar periodos de seguimientos más largos (valoraciones antes, al mes y a los tres meses, valoraciones antes y después del trimestre).
- Repetir el estudio variando la actividad física, realizándolo en diversas disciplinas deportivas que tengan como capacidad física básica la resistencia.
- Esta tesis podría servir de base para que en futuras investigaciones se analice si el cansancio y el dolor de los pies y/o piernas disminuye con el uso continuado de tratamiento ortopedológico en sujetos con pies pronadores.

CONCLUSIONES

9. CONCLUSIONES

1. Los niños con pies pronadores incluidos en este estudio se cansaron más respecto a los niños con pies neutros tras los ejercicios de resistencia
2. La postura del pie y la huella plantar de los niños incluidos en este estudio se modificó significativamente tras realizar una actividad física que requería un gasto energético, como son los ejercicios de resistencia.
3. No hubo evidencia significativa de que los cambios producidos en la postura del pie de los niños incluidos en este estudio tras la actividad física, fuesen mayores en el grupo pies pronadores respecto al grupo control.
4. Hubo evidencia significativa de que los cambios producidos en la huella plantar de los niños incluidos en este estudio con pies pronadores fue mayor respecto al grupo control tras los ejercicios de resistencia.
5. Los niños con pies pronadores de nuestro estudio obtuvieron resultados similares respecto al grupo control en los ejercicios de resistencia de tipo aeróbicos establecidos

BIBLIOGRAFÍA

10. BIBLIOGRAFÍA

1. De la Rubia A. Lesiones del corredor : manual para prevenir y curar los problemas del running. Madrid: La esfera; 2017. p. 360.
2. Menz HB, Munteanu SE. Validity of 3 clinical techniques for the measurement of static foot posture in older people. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2005;35(8):479–86.
3. Viladot Voegeli A, Viladot Pericé R. 20 Lecciones Sobre Patología Del Pie. 2º ed. Barcelona: Ediciones Mayo; 2009. p. 324.
4. Rodriguez Valverde E. ¿Dolor de espalda y rodilla?. ¡La respuesta está en los pies!. Vindobona. 2012. p. 242.
5. Pascual, J. Pie plano y sus fundamentos mecánicos. En: XV Jornadas de Podología Canarias: “Últimos avances en Ortopedia y Biomecánica del pie”. Canarias: Colegio Oficial de Podólogos de Canarias, Podomorfos; 2008.
6. Moreno de la Fuente JL. Podología Deportiva. 2º ed. Barcelona: Elsevier/ Masson; 2005. p. 416.
7. Moreno de la Fuente JL. Podología general y biomecánica. 2º ed. Barcelona: Elsevier/ Masson; 2009. p. 336.
8. Djaali W, Kusumaningtyas S, Ibrahim E, Sukur A, Mighra BA, Jakarta UN, et al. Analysis of energy expenditure during walking using the oxygen consumption method based on the arch type of the students at the sports science faculty of universitas Negeri Jakarta. In: European Alliance for Innovation n.o, editor. Proceedings of the 3rd International Conference on Environmental Risks and Public Health, ICER-PH 2018. Makassar, Indonesia; 2019.
9. Lee HJ, Lim KB, Yoo JH, Yoon SW, Jeong TH. Effect of foot orthoses on children with lower extremity growing pains. *Ann Rehabil Med.* 2015;39(2):285–93.

10. Barnes A, Wheat J, Milner CE. Fore- and Rearfoot Kinematics in High- and Low-Arched Individuals During Running. *Foot Ankle Int.* 2011;32(07):710–6.
11. Levinger P, Murley G, Barton C, Cotchett M, McSweeney S, Menz H. A comparison of foot kinematics in people with normal and flat arched feet using the Oxford Foot Model. *Gait Posture.* 2010;32(4):519–23.
12. Boozari S, Jamshidi AA, Sanjari MA, Jafari H. Effect of functional fatigue on vertical ground-reaction force in individuals with flat feet. *J Sport Rehab.* 2013;22(3):177–83.
13. Queen RM, Mall NA, Nunley JA, Chuckpaiwong B. Differences in plantar loading between flat and normal feet during different athletic tasks. *Gait Posture.* 2009;29(4):582–6.
14. Anbarian M, Esmaeili H. Effects of running-induced fatigue on plantar pressure distribution in novice runners with different foot types. *Gait Posture.* 2016;48:52-56.doi: 10.1016 /j.gaitpost.2016.04.029.
15. Bravo-Aguilar M, Gijón-Noguerón G, Luque-Suarez A, Abian-Vicen J. The influence of running on foot posture and in-shoe plantar pressures. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2016;106(2):109–15.
16. Chang-Ryeol L, Myung-Kwon K, Mi S. The Relationship between Balance and Foot Pressure in Fatigue of the Plantar Intrinsic Foot Muscles of Adults with Flexible Flatfoot. *J Phys Ther Sci.* 2012;24(8):699–701.
17. Delgado-Abellán L, Aguado X, Jiménez-Ormeño E, Mecerreyes L, Alegre L. Efectos del ejercicio continuo e intermitente sobre la huella plantar. *Arch Med Deport.* 2012;148:601–8.
18. Berdejo del Fresno D, Lara Sánchez AJ, Martínez López EJ, Cachón Zagalaz J, Lara Diéguez S. Footprint modifications according to the physical activity practiced. *Rev.int.med.cienc.act.fís.deporte.* 2013;13(49):19–39.

19. Hollander K, Stebbins J, Albertsen IM, Hamacher D, Babin K, Hacke C, et al. Arch index and running biomechanics in children aged 10–14 years. *Gait Posture*. 2018;61:210-214.doi: 10.1016 /j.gaitpost.2018.01.013.
20. Peláez-Menacho A, Parra- Cortés L, Munuera -Martínez P V. Cambios en la postura del pie tras la actividad deportiva en ciclistas de montaña masculinos: estudio piloto. *Rev Esp Podol*. 2016;27(1):10–7.
21. Escamilla-Martínez E, Martínez-Nova A, Gómez-Martín B, Sánchez-Rodríguez R, Fernández-Seguín LM. The effect of moderate running on foot posture index and plantar pressure distribution in male recreational runners. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2013;103(2):121–5.
22. Teyhen DS, Stoltenberg BE, Eckard TG, Doyle PM, Boland DM, Feldtmann JJ, et al. Static Foot Posture Associated With Dynamic Plantar Pressure Parameters. *J Orthop Sport Phys Ther*. 2011;41(2):100–7.
23. Cowley E, Marsden J. The effects of prolonged running on foot posture: A repeated measures study of half marathon runners using the foot posture index and navicular height. *J Foot Ankle Res*. 2013;6(1):20.doi: 10.1186 /1757-1146-6-20.
24. Murley GS, Menz HB, Landorf KB. Foot posture influences the electromyographic activity of selected lower limb muscles during gait. *J Foot Ankle Res*. 2009;2(1):35.
25. Abián Vicén J, Alegre Durán LM, Lara Sánchez AJ, Jiménez Linares L, Aguado Jódar X. Fuerzas de reacción del suelo en pies cavos y planos. *Arch Med Deport*. 2005;22(108):285–92.
26. Murphy DF, Connolly DAJ, Beynnon BD. Risk factors for lower extremity injury: a review of the literature. *Br J Sports Med*. 2003;37(1):13–29.
27. Kaufman K, Brodine S, Shaffer R, Johnson C, Cullison T. The effect of foot structure and range of motion on musculoskeletal overuse injuries. *Am J Sport Med*. 1999;27(5):585–93.

28. Orejana M, Monzó F. Modelo de estrés de tejidos. Aplicaciones clínicas en la patología del pie. *Rev Esp Podol.* 2018;29(2):101–12.
29. Tudor A, Ruzic L, Sestan B, Sirola L, Prpic T. Flat-footedness is not a disadvantage for athletic performance in children aged 11 to 15 years. *Pediatrics.* 2009;123(3):e386-92.
30. Zurita Ortega F, Martínez Martínez A, Zurita Ortega A. Influencia de la tipología del pie en la actividad físico deportiva. *Fisioterapia.* 2007;29(2):74–9.
31. Lin CJ, Lai KA, Kuan TS, Chou YL. Correlating factors and clinical significance of flexible flatfoot in preschool children. *J Pediatr Orthop.* 2001;21(3):378–82.
32. Kumala MS, Tinduh D, Poerwandari D. Comparison of Lower Extremities Physical Performance on Male Young Adult Athletes with Normal Foot and Flatfoot. *Phys Med Rehabil J Surabaya.* 2019;1(1):6–13.
33. Arévalo-Mora JF, Reina-Bueno M, Munuera P V. Influence of Children's Foot Type on Their Physical Motor Performance. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2016;106(1):15–21.
34. Sanjari MA, Boozari S, Jamshidi AA, Nikmaram MR. Fatigue Effect on Linear Center of Pressure Measures during Gait in People with Flat Feet. *Asian J Sport Med.* 2016;7(4):e34832.
35. Roohi B, Hedayati S, Aghayari A. The effect of flexible flat-footedness on selected physical fitness factors in female students age 14 to 17 years. *J Hum Sport Exerc.* 2013;8(3):788–96.
36. Kapandji IA. Fisiología articular: esquemas comentados de mecánica humana. Tomo 3: Tronco y raquis. 6º ed. Barcelona: Panamericana; 2012. p. 370.
37. Root ML. Exploración biomecánica del pie. Madrid: Ortocen; 1991. p. 149.
38. Kirby KA. Biomechanics of the normal and abnormal foot. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2000;90(1):30–4.

39. Rueda Sánchez M. Podología : los desequilibrios del pie. Barcelona:Paidotribo; 2004. p. 286.
40. Consejo General de Colegios Oficiales de Podólogos. Guía práctica de exploración y biomecánica. CGCOP. Madrid, España; 2010.
41. Scott G, Menz HB, Newcombe L. Age-related differences in foot structure and function. *Gait Posture*. 2007;26(1):68–75.
42. Dimeglio A. Ortopedia infantil cotidiana. Barcelona: Masson SA; 1991. p. 464.
43. Staheli LT. Planovalgus foot deformity. Current status. *J Am Podiatr Med Assoc*. 1999;89(2):94–9.
44. Pauk J, Ezerskiy V, Raso J V, Rogalski M. Epidemiologic factors affecting plantar arch development in children with flat feet. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2012;102(2):114–21.
45. Pfeiffer M, Kotz R, Ledl T, Hauser G, Sluga M. Prevalence of flat foot in preschool-aged children. *Pediatrics*. 2006;118(2):634–9.
46. Shih Y-F, Chen C-Y, Chen W-Y, Lin H-C. Lower extremity kinematics in children with and without flexible flatfoot: a comparative study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2012;13(1):31.doi: 10.1186/1471-2474-13-31.
47. Padilla Urrea V. Evaluación del tratamiento ortopodológico en el pie plano flexible en niños de tres a cinco años de edad [Trabajo Fin de Master]. REDUCA (Enfermería, Fisioterapia y Podología). Madrid: Universidad Complutense de Madrid; 2011.
48. Chang HW, Lin CJ, Kuo LC, Tsai MJ, Chieh HF, Su FC. Three-dimensional measurement of foot arch in preschool children. *Biomed Eng Online*. 2012;11(1):76.doi: 10.1186/1475-925X-11-76.
49. Parra JI, Bueno A. El pie plano, las recomendaciones del podologo infantil al pediatra. *Rev Pediatr Aten Primaria*. 2011;13(49):113–25.

50. Chacón F. Parámetros Antropométricos del Pie del Escolar. [Tesis Doctoral]. Sevilla:Universidad de Sevilla; 2012.
51. Kirby K. Foot and Lower Extremity Biomechanics: A Ten Year Collection of Precision Intricast Newsletters. Payson,Arizona: Precision Intricast, Incorporated; 1997.
52. Castillo-Lopez JM. Efecto de los soportes plantares con cuña rotadora externa en las marchas rotadoras internas en el niño [Tesis doctoral]. Sevilla: Universidad de Sevilla; 2007.
53. Niki H, Ching RP, Kiser P, Sangeorzan BJ. The effect of posterior tibial tendon dysfunction on hindfoot kinematics. *Foot Ankle Int.* 2001;22(4):292–300.
54. Mosca VS. Flexible flatfoot in children and adolescents. *J Pediatr Orthop.* 2010;4(2):107–21.
55. Benhamú S. Factores predictivos de la laxitud ligamentosa en la población adulta.[Tesis Doctoral]. Sevilla: Universidad de Sevilla; 2011.
56. Gomez Gamez A. Repercusiones Baropodométricas tras el ajuste manipulativo de una disfunción osteopática de ilíaco posterior. [Tesis Doctoral]. Sevilla: Universidad de Sevilla; 2016.
57. Morales-Asencio JM, Medina-Alcántara MF, Ortega-Avila A, Jimenez-Cebrian AM, Páez-Moguer J, Cervera-Marin JA, et al. Anthropometric and psychomotor development factors linked to foot valgus in children aged 6 to 9 years. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2019;109(1):30–5.
58. Chang J-H, Wang S-H, Kuo C-L, Shen HC, 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(4):447–52.
59. Martínez-Nova A, Gijón-Noguerón G, Alfageme-García P, Montes-Alguacil J, Evans AM. Foot posture development in children aged 5 to 11 years: A three-year prospective study. *Gait Posture.* 2018;62:280–4.

60. Gijon-Nogueron G, Martinez-Nova A, Alfageme-Garcia P, Montes-Alguacil J, Evans AM. International normative data for paediatric foot posture assessment: A cross-sectional investigation. *BMJ Open*. 2019;9(4):e023341.
61. Sgarlato TE. A compendium of podiatric biomechanics. San Francisco: California of Podiatric Medicine; 1971. p. 468.
62. Lee MS, Vanore J V, Thomas JL, Catanzariti AR, Kogler G, Kravitz SR, et al. Diagnosis and treatment of adult flatfoot. *J Foot Ankle Surg*. 2005;44(2):78–113.
63. Ramos J. Detección precoz y confirmación diagnóstica de alteraciones podológicas en población escolar.[Tesis Doctoral]. Sevilla:Universidad de Sevilla; 2007.
64. McPoil TG, Hunt GC. Evaluation and Management of Foot and Ankle Disorders: Present Problems and Future Directions. *J Orthop Sport Phys Ther*. 1995;21(6):381–8.
65. Sánchez-Lacuesta J, Prat J, Hoyos J V, Viosca E, Soler C, Comín M. Biomecánica de la marcha humana normal y patológica. 2º Ed. Valencia: IBV; 1999. p. 444.
66. Salazar Gómez C. Pie plano, como origen de alteraciones biomecánicas en cadena ascendente. *Fisioterapia*. 2007;29(2):80–9.
67. Sulowska I, Oleksy Ł, Mika A, Bylina D, Sołtan J. The influence of plantar short foot muscle exercises on foot posture and fundamental movement patterns in long-distance runners, a non-randomized, non-blinded clinical trial. *PLoS One*. 2016;11(6):e0157917.
68. Satvati B, Karimi M, Tahmasebi B, Pool F. Standing stability evaluation in subjects with flat foot. *J Res Rehabil Sci*. 2013;8(8):1277–84.
69. Sahrman SA. Diagnóstico y tratamiento de las alteraciones del movimiento. 1º ed. Badalona: Paidotribo; 2006. p. 480.
70. Barbany J. Fisiología del ejercicio físico y del entrenamiento. Barcelona: Paidotribo; 2002. p. 185.

71. Earle RW, Baechle TR. Manual- NSCA- fundamentos del entrenamiento personal. 1º ed.Barcelona: Paidotribo; 2008. p. 800.
72. Bisiaux M, Moretto P. The effects of fatigue on plantar pressure distribution in walking. *Gait Posture*. 2008;28(4):693–8.
73. Viel E, Asencio G. La marcha humana, la carrera y el salto :biomecánica, exploraciones, normas y alteraciones. Reeducción y rehabilitación. Barcelona: Masson; 2002. p. 273.
74. Cárdenas D, Conde-González J, Perales JC. Fatigue as a subjective motivational state. *Rev Andal Med Deport*. 2017;10(1):31–41.
75. Nielsen RO, Buist I, Parner ET, Nohr EA, Sørensen H, Lind M, et al. Foot pronation is not associated with increased injury risk in novice runners wearing a neutral shoe: a 1-year prospective cohort study. *Br J Sports Med*. 2014;48(6):440–7.
76. Castañer M, Camerino O. La educación física en la enseñanza primaria. Barcelona: INDE Publicaciones; 2001. p. 251.
77. Bompa TO. Periodización. Teoría y metodología del entrenamiento. Barcelona: Hispano Europea, S.A.; 2003. p. 432.
78. Kuznetsov V V. Metodología del entrenamiento de la fuerza para deportistas de alto nivel. Buenos Aires: Stadium S.R.L; 1984. p. 209.
79. Grosser M, Starischka S, Zimmermann E. Principios del entrenamiento deportivo. Barcelona: Roca; 1988.
80. Delgado M, Gutierrez A, Castillo MJ. Entrenamiento físico-deportivo y alimentación. Barcelona: Paidotribo; 2007. p. 268.
81. Álvarez del villar C. La preparación física del fútbol basada en el atletismo. Madrid: S.L Gymnos; 1992. p. 841.
82. Mora J. Teoría del entrenamiento y del acondicionamiento físico. Cádiz: COPLEF Andalucía; 1995. p. 412.

83. Sebastiani E, Gonzalez C. Cualidades físicas. Barcelona: Inde; 2000. p. 104.
84. Generele E, Plana C. Teoría y práctica del Acondicionamiento Físico. Madrid: Pila Teleña; 1997.
85. Argimon JM, Jiménez J. Métodos de investigación clínica y epidemiológica. 3º ed. Madrid: Elsevier. 2004.
86. Polit DF, Hungler BP. Investigación Científica en Ciencias de la Salud. Mexico:MacGraw-Hill; 2000. p. 725.
87. Milton JS, Tsokos JO. Estadística para biología y ciencias de la salud. Madrid: Interamericana McGraw Hill; 2001.
88. Ministerio de sanidad servicios sociales e igualdad. Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición. Programa Perseo. [Internet]. Actualizada el 3 de Febrero de 2014. [cited 2014 Oct 19]. Available from: http://www.perseo.aesan.mssi.gob.es/es/programa/secciones/programa_perseo.shtml.
89. Acerca del índice de masa corporal para niños y adolescentes | Peso Saludable | DNPAO | CDC [Internet]. [cited 2018 Dec 6]. Available from: https://www.cdc.gov/healthyweight/spanish/assessing/bmi/childrens_bmi/acerca_indice_masa_corporal_ninos_adolescente.
90. Redmond AC, Crane YZ, Menz HB. Normative values for the Foot Posture Index. J Foot Ankle Res. 2008;1(1):6.doi: 10.1186 / 1757-1146-1-6.
91. Yelling M, Lamb K, Swaine I. Validity of a pictorial perceived exertion scale for effort estimation and effort production during stepping exercise in adolescent children. Eur Phys Educ Rev. 2002;8(2):157–75.
92. Cavanagh PR, Rodgers MM. The arch index: A useful measure from footprints. J Biomech. 1987;20(5):547–51.
93. Clarke HH. An objective method of measuring the height of the longitudinal arch in foot examinations. Res Q Am Phys Educ Assoc. 1933;4(3):99–107.

94. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med sci Sport Exerc.* 1982;14(5):377–81.
95. Williams JG, Eston R, Furlong B. PCERT: a perceived exertion scale for young children. *Percept Mot Skills.* 1994;79(3):1451–8.
96. Roemmich JN, Barkley JE, Epstein LH, Lobarinas CL, White TM, Foster JH. Validity of PCERT and OMNI walk/run ratings of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38(5):1014–9.
97. Hernández-Álvarez J, Del-Campo-Vecio J, Martínez-de-Haro V, Moya-Morales J. Percepción de esfuerzo en educación física y su relación con las directrices sobre actividad física. *Rev.int.med.cienc.act.fís.deporte.* 2010;10(40):609–19.
98. Marinov B, Mandadjieva S, Kostianev S. Pictorial and verbal category-ratio scales for effort estimation in children. *Child Care Health Dev.* 2007;34(1):35–43.
99. Rodríguez I, Zambrano L, Manterola C. Validez de criterio de las escalas de medición de esfuerzo percibido en niños sanos: una revisión sistemática y metaanálisis. *Arch Argent Pediatr.* 2016;114(2):120–8.
100. Redmond AC, Crosbie J, Ouvrier RA. Development and validation of a novel rating system for scoring standing foot posture: The Foot Posture Index. *Clin Biomech.* 2006;21(1):89–98.
101. Munuera P V, Domínguez G, Reina M, Trujillo P. Bipartite hallucal sesamoid bones: Relationship with hallux valgus and metatarsal index. *Skeletal Radiol.* 2007;36(11):1043–50.
102. Yalçın N, Esen E, Kanatli U, Yetkin H. Evaluación del arco longitudinal medial: una comparación entre el sistema dinámico de medición de la presión plantar y el análisis radiográfico. *Acta Orthop Traumatol Turc.* 2010;44(3):241–5.
103. Munuera P V, Domínguez G, Castillo JM. Radiographic study of the size of the first metatarso-digital segment in feet with incipient hallux limitus. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2007;97(6):460–8.

104. Queen RM, Mall NA, Hardaker WM, Nunley JA. Describing the medial longitudinal arch using footprint indices and a clinical grading system. *Foot Ankle Int.* 2007;28(4):456–62.
105. Menz HB, Fotoohabadi MR, Wee E, Spink MJ. Visual categorisation of the arch index: A simplified measure of foot posture in older people. *J Foot Ankle Res.* 2012;5(1):10.doi: 10.1186/1757-1146-5-10.
106. Ramos J, Munuera P, Palomo I. Exploración complementaria en Podología clínica: huella plantar. *Podol Clínica.* 2001;2(2):66–7.
107. Pita-Fernández S, González-Martín C, Seoane-Pillado T, López-Calviño B, Pértega-Díaz S, Gil-Guillén V. Validity of Footprint Analysis to Determine Flatfoot Using Clinical Diagnosis as the Gold Standard in a Random Sample Aged 40 Years and Older. *J Epidemiol.* 2015;25(2):148–54.
108. Farber DC, Deorio JK, Steel MW. Goniometric versus computerized angle measurement in assessing hallux valgus. *Foot Ankle Int.* 2005;26(3):234–8.
109. Ramos Ortega J. Determinación de la posición de la cala en base a los parámetros del miembro inferior del ciclista. [Tesis Doctoral]. Sevilla: Universidad de Sevilla; 2009.
110. Fernandez Seguí LM. Cambios en el pie cavo tras el estiramiento plantar con corrientes rectangulares bifásicas simétricas. [Tesis Doctoral]. Sevilla: Universidad de Sevilla; 2010.
111. Távara-Vidalón P, Lafuente-Sotillos G, Manfredi-Márquez MJ. Relación del hallux limitus avanzado con el patrón rotador interno y el ángulo de la marcha. *Rev Esp Podol.* 2017;28(1):13–20.
112. Reina-Bueno M. Efecto de las Ortesis personalizadas para control de pronación en la evolución del Hallux Abductus Valgus leve y moderado en mujeres.[Tesis Doctoral]. Sevilla: Universidad de Sevilla; 2012.

113. Gómez-Aguilar E. Diferencias de longitud entre miembros inferiores y su relación con el pie. Propuesta de protocolo de exploración clínica. [Tesis Doctoral]. Sevilla: Universidad de Sevilla; 2017.
114. López-Elvira J, López-Plaza D, López-Valenciano A, Alonso-Montero C. Influence of footwear on foot movement during walking and running in boys and girls aged 6-7. FEADDEF. 2017;31:128–31.
115. 18º Asamblea Médica Mundial. Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial. Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos. Helsinki: World Medical Association; 1964.
116. Comisión Nacional para la protección de personas objeto de experimentación biomédica y de la conducta. Informe de Belmont. Principios éticos y recomendaciones para la protección de las personas objeto de experimentación. 1979.
117. Ley 14/1986 de 25 abril, General de Sanidad. BOE, nº101, (Abril 6, 1986).
118. Consejo de Europa. Convenio de Asturias y Bioética. Convenio para la protección de los derechos humanos y la dignidad del ser humano con respecto a las aplicaciones de la biología y la medicina. Convenio sobre los derechos humanos y la biomedicina. Oviedo: Ministerior de Asuntos Exteriores; 1997.
119. Ley 41/2002 de 14 de Noviembre, básica reguladora de la autonomía del paciente y de derechos y obligaciones en materia de información y documentación clínica. BOE, nº 274, (Noviembre 15, 2002).
120. Ley Orgánica 15/1999 de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal. BOE nº 298, (Diciembre 13, 1999).
121. Real Decreto 1720/2007, de 21 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Desarrollo de la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal. BOE, nº 1719, (enero, 2008).

122. Gijon-Nogueron G, Marchena-Rodriguez A, Montes-Alguacil J, Evans AM. Evaluation of the paediatric foot using footprints and foot posture index: A cross-sectional study. *J Paediatr Child Health*. 2019;85(7):2433–7.
123. Sánchez-Rodríguez R, Martínez-Nova A, Escamilla-Martínez E, Pedrera-Zamorano JD. Can the Foot Posture Index or their individual criteria predict dynamic plantar pressures? *Gait Posture*. 2012;36(3):591–5.
124. Cornwall M, McPoil TG. Relationship between static foot posture and foot mobility. *J Foot Ankle Res*. 2011;4(1):4.doi: 10.1186 / 1757-1146-4-4.
125. Morrison SC, 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):26–30.
126. Gijon-Nogueron G, Montes-Alguacil J, Alfageme-Garcia P, Cervera-Marin JA, Morales-Asencio JM, Martinez-Nova A. Establishing normative foot posture index values for the paediatric population: A cross-sectional study. *J Foot Ankle Res*. 2016;9(1):1.
127. Lopezosa E. Análisis estatico de los cambios en la pronación y supinación por medio del foot posture index en sujetos sanos y jugadores de baloncesto.[Tesis Doctoral]. Málaga: Universidad de Málaga; 2012.
128. Banwell HA, Paris ME, Mackintosh S, Williams CM. 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):21.doi: 10.1186/s13047-018-0264-3.
129. Cho Y, Park JW, 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.
130. Melero González G. Indicadores culturales y antropométricos relacionados con la salud podológica del escolar, según la nacionalidad. [Tesis Doctoral]. Sevilla: Universidad de Sevilla; 2017.
131. Mickle KJ, Steele JR, Munro BJ. The feet of overweight and obese young children: Are they flat or fat? *Obesity*. 2006;14(11):1949–53.

132. Wearing SC, Hills AP, Byrne NM, Henning EM, McDonald M. The arch index: a measure of flat or fat-feet? *Foot Ankle Int.* 2004;(25):575–81.
133. Gómez A. Repercusión de la manipulación de una disfunción osteopática de ilíaco posterior sobre la morfología de la huella plantar. [Tesis para la obtención del Diploma en Osteopatía]. Madrid: Escuela de Osteopatía de Madrid; 2003.
134. Sadeghi-Demneh E, Azadinia F, Jafarian F, Shamsi F, Melvin J, Jafarpishe M, et al. Flatfoot and obesity in school-age children: a cross-sectional study. *Clin Obes.* 2016;6(1):42–50.
135. 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(5):554–7.
136. Mueller S, Carlsohn A, Mueller J, Baur H, Mayer F. Influence of Obesity on Foot Loading Characteristics in Gait for Children Aged 1 to 12 Years. *PLoS One.* 2016;11(2):e0149924.
137. Yin J, Zhao H, Zhuang G, Liang X, Hu X, Zhu Y, et al. Flexible flatfoot of 6–13-year-old children: A cross-sectional study. *J Orthop Sci.* 2018;23(3):552–6.
138. Sadeghi-Demneh E, Melvin J, Mickle K. Prevalence of pathological flatfoot in school-age children. *Foot.* 2018;37:38–44.
139. Alghadir AH, Gabr SA, Rizk AA. Plasmatic adipocyte biomarkers and foot pain associated with flatfoot in schoolchildren with obesity. *Rev Assoc Med Bras.* 2019;65(8):1061–6.
140. Evans AM. The paediatric flat foot and general anthropometry in 140 Australian school children aged 7 - 10 years. *J Foot Ankle Res.* 2011;4(1):12.doi: 10.1186/1757-1146-4-12.
141. Evans AM, 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(1):46.doi: 10.1186/s13047-015-0101-x.

142. Hawke F, Rome K, Evans AM. 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(1):14.doi: 10.1186/s13047-016-0144-7.
143. Mahmoud MA, Kattabei OMA. Effect of Flat Foot Deformity on Strength of Selected Lower Limb Muscles: Cross Sectional Observational Study. *Med J Cairo Univ.* 2017;85(7):2433–7.
144. Mahmoud MA, Kattabei OMA. Effect of Flat Foot Deformity on Strength of Planter Flexor and Dorsiflexor Muscles: Cross Sectional Observational Study. *Med J Cairo Univ.* 2017;85(8):3023–8.
145. Jannah SM. The relationship between age, gender, and body mass index to the prevalence of flatfoot in primary school children in laweyan. In: YAYASAN ALIANSI CENDEKIAWAN INDONESIA TAILANDIA, editor. *Proceedings of International Conference on Applied Science and Health (No4,2019).* 2019. p. 689–93.
146. Vieira TN, Mesquita PR, Neri SGR, de David AC. Plantar pressure distribution during running in early childhood. *Gait Posture.* 2018;65:149–50.
147. Ford P, Bailey R, Coleman D, Stretch D, Winter E, Woolf-May K, et al. Energy expenditure and perceived effort during brisk walking and running in 8- to 10-year-old children. *Pediatr Exerc Sci.* 2010;22(4):569–80.
148. Gómez-Benítez M, Roldán-Carnerero M, Barranco-Hidalgo O, Ramos-Ortega J, Bellido-Fernández L, Gómez-Benítez A, et al. Modificaciones en el pie pronador del niño tras actividades de resistencia y su relación con el cansancio físico. *Eur J Pod.* 2015;1(1):1–5.
149. Stovitz SD, Coetzee JC. Hyperpronation and foot pain: Steps toward pain-free feet. *Phys Sportsmed.* 2004;32(8):19–26.
150. Hintermann B, Nigg BM. Pronation in runners. Implications for injuries. *Sports Med.* 1998;26(3):169–76.

151. Jiménez J. Lesiones musculares en el deporte. *Rev Int Cienc Deporte*. 2006;2(3):55–67.
152. Kim HY, Shin HS, Ko JH, Cha YH, Ahn JH, Hwang JY. Gait analysis of symptomatic flatfoot in children: An observational study. *Clin Orthop Surg*. 2017;9(3):363–73.
153. Gefen A. Biomechanical analysis of fatigue-related foot injury mechanisms in athletes and recruits during intensive marching. *Med Biol Eng Comput*. 2002;40(3):302–10.
154. Fukano M, Inami T, Nakagawa K, Narita T, Iso S. Foot posture alteration and recovery following a full marathon run. *Eur J Sport Sci*. 2018;18(10):1338–45.
155. Stolwijk NM, Duysens J, Louwerens JWK, Keijsers NLW. Plantar pressure changes after long-distance walking. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42(12):2264–72.
156. Huang P, Liang M, Ren F. Assessment of long-term badminton experience on foot posture index and plantar pressure distribution. *Appl Bionics Biomech*. 2019;2019:8082967.doi: 10.1155/2019/8082967.
157. Martínez-Nova A, Gómez-Blázquez E, Escamilla-Martínez E, Pérez-Soriano P, Gijon-Nogueron G, Fernández-Seguín LM. The foot posture index in men practicing three sports different in their biomechanical gestures. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2014;104(2):154–8.
158. Lopezosa-Reca E, Gijon-Nogueron G, Garcia-Paya I, Ortega-Avila AB. Does the type of sport practised influence foot posture and knee angle? Differences between footballers and swimmers. *Res Sport Med*. 2018;26(3):345–53.
159. Lopezosa-Reca E, Gijon-Nogueron G, Morales-Asencio JM, Cervera-Marin JA, Luque-Suarez A. Is There Any Association Between Foot Posture and Lower Limb-Related Injuries in Professional Male Basketball Players? A Cross-Sectional Study. *Clin J Sport Med*. 2020;30(1):46–51.
160. Cain LE, Nicholson LL, Adams RD, Burns J. Foot morphology and foot/ankle injury in indoor football. *J Sci Med Sport*. 2007;10(5):311–9.

161. Pérez-Morcillo A, Gómez-Bernal A, Gil-Guillen VF, Alfaro-Santafé J, Alfaro-Santafé JV, Quesada JA, et al. Association between the Foot Posture Index and running related injuries: A case-control study. *Clin Biomech.* 2019;61:217–21.
162. Ramskov D, Jensen ML, Obling K, Nielsen RO, Parner ET, Rasmussen S. No association between q-angle and foot posture with running-related injuries: a 10 week prospective follow-up study. *Int J Sports Phys Ther.* 2013;8(4):407–15.
163. Burns J, Keenan AM, Redmond A. Foot type and overuse injury in triathletes. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2005;95(3):235–41.
164. Kirby K. *Foot and Lower Extremity Biomechanics III: Precision Intricast Newsletters, 2002-2008.* Payson, Arizona: Precision Intricast; 2008. p. 142.
165. Evans AM, Scutter SD, Lang LMG, Dansie BR. “Growing pains” in young children: A study of the profile, experiences and quality of life issues of four to six year old children with recurrent leg pain. *Foot.* 2006;16(3):120–4.
166. Kerr CM, Zavatsky AB, Theologis T, Stebbins J. Kinematic differences between neutral and flat feet with and without symptoms as measured by the Oxford foot model. *Gait Posture.* 2019;67:213–8.
167. Park DJ, Park SY. Comparison of Subjects with and without Pes Planus during Short Foot Exercises by Measuring Muscular Activities of Ankle and Navicular Drop Height. *J Korean Soc Phys Med.* 2018;13(3):133–9.
168. Evans AM. Relationship between “growing pains” and foot posture in children: single-case experimental designs in clinical practice. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2003;93(2):111–7.
169. Kirby KA, Green DR. *Foot and Ankle Disorder in Children.* SJ De Valentine. Evaluation and Nonoperative Management of Pes Valgus. New York: Churchill Livingstone; 1992. p. 295-327.
170. Evans AM, Berde T, Karimi L, Ranade P, Shah N, Khubchandani R. Correlates and predictors of paediatric leg pain: a case-control study. *Rheumatol Int.* 2018;38(7):1251–8.

171. OMS . La actividad física en los jóvenes. Estrategia mundial sobre el régimen alimentario, actividad física y salud [Internet]. [cited 2014 Aug 26]. Available from: http://www.who.int/dietphysicalactivity/factsheet_young_people/es/

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA

11. PRODUCCIÓN CIENTÍFICA RELACIONADA CON LA TESIS

1. Artículo: Gómez-Benítez MA, Gómez-Benítez A, Ramos-Ortega, J. (en lectura por los editores de la Revista Española Podología)

2. Artículo: Gómez-Benítez MA , Ramos-Ortega J, Gómez-Benítez A, Castillo-Lopez JM, Bellido-Fernández L, Munuera-Martínez PV. Fatigue in children with pronated feet after aerobic exercises. J Am Podiatr Med Assoc 2020. (aceptado para publicar).

3. Ponencia: “Variación de la Pronación tras la actividad física del niño”. V Simposium Internacional de Biomecánica y Podología Deportiva. Celebrado en Málaga el 16 y 17 de Junio de 2017.

4. Artículo: Gómez Benítez MA, Roldán Carnerero M, Barranco Hidalgo O, Ramos Ortega J, Bellido Fernández L, Gómez Benítez A y Munuera Martínez P. Modificaciones en el pie pronador del niño tras actividades de resistencia y su relación con el cansancio físico. European Journal of Podiatry 2015; 1(1):1-7. ISSN: 2445-1835.

5. Ponencia: “Modificaciones en el pie pronador del niño tras actividades de resistencia y su relación con el cansancio físico”. IV Simposium Internacional de Biomecánica y Podología Deportiva de Valencia. Celebrado en Valencia el 12 y 13 de Junio de 2015.

ANEXOS

12. ANEXOS

Anexo I



HOJA DE FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

ESTUDIO: MODIFICACIONES EN EL PIE PRONADOR DEL NIÑO TRAS ACTIVIDADES DE RESISTENCIA Y SU RELACIÓN CON EL CANSANCIO FÍSICO

INFORMACIÓN

Estimados padres, madres y tutores/as.

Nos ponemos en contacto con ustedes para darles a conocer la actividad que se va a desarrollar en los Colegios de Jimena de la Frontera y sus barriadas, con motivo de la **Tesis Doctoral** correspondiente al **Programa de Doctorado de Ciencias de la Salud**.

Con este programa de investigación le proponemos que su hijo/a participe en el estudio científico que vamos a llevar a cabo, relacionado con una alteración de aparición frecuente en el pie, el pie valgo. La causa principal en la mayoría de los casos es un exceso de movimiento de las articulaciones de la parte posterior del pie.

A lo largo de los años se ha discutido mucho si el pie valgo presenta algún tipo de desventaja mecánica respecto al pie neutro en la actividad deportiva, sin llegar a veces a conclusiones concretas.

Con este estudio se pretende valorar:

1. La relación que existe entre el cansancio después de una actividad física y los pies pronadores en el alumnado de 10-12 años.
2. Si los niños con pies valgos o pies pronadores presentan algún tipo de desventaja respecto a los niños con pies neutros en la actividad deportiva.

PROTOCOLO DE EXPLORACIÓN

- ✚ Para obtener los datos necesarios para este estudio se rellenará una ficha con datos personales de su hijo/a (nombre, apellidos, fecha de nacimiento etc.)
- ✚ Los niños/as realizarán una serie de ejercicios de resistencia muy similares a los practicados en las clases de educación física.
- ✚ Antes y después de los ejercicios de resistencia, la actividad consistirá únicamente en observar la postura del pie y en tomar la huella plantar con un pedígrafo. Es un instrumento totalmente inofensivo en forma de caja con dos tapas una inferior y otra superior. Al abrirlo queda como un libro donde el sujeto apoya el pie y queda marcada la imagen de la huella plantar.(ver foto 1)
- ✚ La actividad propuesta no entraña ningún riesgo para el alumno/a del Centro; pero sí es posible obtener datos que ayuden a mejorar el rendimiento deportivo de su hijo/a y obtener una mejor eficacia en la forma de andar en el futuro.



FOTO 1: Pedígrafo

OTROS ASPECTOS QUE USTED DEBE SABER

- ✚ El programa de investigación será llevado a cabo por la Graduada en Podología M^a Ángeles Gómez Benítez con la colaboración del Maestro en Educación Física Manuel Roldán Carnerero y tutorizado por los Profesores Dr. D. Pedro V. Munuera Martínez y Dr. D. Javier Ramos Ortega de la Facultad de Enfermería, Fisioterapia y Podología de la Universidad de Sevilla.
- ✚ Es posible que se tomen fotografías del pie o de la actividad durante la prueba. Estas pueden ser vistas posteriormente por personal en formación, o incluso por otros profesionales de la salud en distintos foros. En ningún caso se tomarán imágenes que pudieran revelar la identidad del sujeto de la foto.
- ✚ Los resultados obtenidos en este estudio podrán ser divulgados a la comunidad científica, bien en forma de comunicación, ponencia o conferencia, en forma de póster, o de publicación en revista científica.
- ✚ Los datos obtenidos se les podrán comunicar a los padres, madres o tutores/as que lo deseen. Se respetará siempre el **anonimato** de los participantes conforme a las normas éticas y protección de datos pertinentes.

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 hijo/as.

Si antes de firmar este documento desea más información, no dude en pedirla.

Atentamente, le enviamos un cordial saludo.

M^o Ángeles Gómez Benítez.

Graduada en Podología por la Universidad de Málaga.

Máster Nuevas Tendencias Asistenciales en CCS.

Máster en Biomecánica y Ortopodología en la Universidad de Sevilla.

Doctorando por la Universidad de Sevilla

SE RUEGA QUE RESPONDAN A LAS PREGUNTAS DE LA HOJA ADJUNTA.



HOJA DE FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

ESTUDIO: MODIFICACIONES EN EL PIE PRONADOR DEL NIÑO TRAS ACTIVIDADES DE RESISTENCIA Y SU RELACIÓN CON EL CANSANCIO FÍSICO

DECLARACIONES Y FIRMAS

Por favor, conteste las siguientes cuestiones simplemente con SI, NO o NO SABE:

	SI	NO	NOSABE
¿Su hijo está usando plantillas ortopédicas actualmente?			
¿Las ha usado antes?			
¿Considera usted que su hijo/a se le cansan las piernas más de lo normal al hacer ejercicio?			
¿Se queja su hijo/a de molestias o dolor en los pies después del ejercicio físico?			
¿Ha sufrido su hijo/a alguna operación del pie?			

Fecha de Nacimiento de su hijo/a:	
Teléfono de contacto:	

D/Dña.....con DNI..... como Padre/madre/tutor legal del alumno/a..... del curso.....autorizo a que se le realice este estudio de forma gratuita a mi hijo/a.

Firma.....

Jimena de la frontera a.....de.....201...

Le agradecemos sinceramente su colaboración en este proyecto de investigación.

Anexo II

HOJA DE RECOGIDA DE DATOS

N°:

Pre-ActividadDatos de Filiación

1. Nombre y Apellidos: _____
2. Fecha de Nacimiento: ____/____/____ Edad: _____
3. Sexo: Niño Niña
4. Centro Educativo : _____ Curso: _____
5. Fecha de Exploración: ____/____/____

Datos de la hoja de exploración

1. ¿Haces algún deporte? SI NO ¿Cuál? _____
2. ¿Cuántas veces a la semana? _____ veces/semana.
3. IMC: _____ kg
(_____)² m² = _____; Percentil: _____
4. FPI-6.

Peso Bajo	
Peso Normal	
Sobrepeso	
Obesidad	

	Pie.derecho	P.izquierdo
Inversión/Eversión de calcáneo.		
Curva supra e infra maleolar externa.		
Add/Abd Antepié respecto a Retropié		
Altura del ALI.		
Prominencia de región Talo-Navicular.		
Palpación del astrágalo.		
RESULTADO		

5. Tipo de pie según FPI-6

Pre.Actividad	Pronador severo	Pronador moderado	Neutro	Supinador moderado/ severo
----------------------	-----------------	-------------------	--------	----------------------------

6. Pruebas Físicas (3 series, 3-5min descanso tras cada serie)

Serie 1

1°- Carrera Suave

2°- Salto a la comba con desplazamiento _____ saltos/30 seg

3°- Realizar desplazamientos tocando las líneas a 8 m de distancia
_____ veces ha tocado la línea/30seg4°- Alternancia de piernas en banco sueco _____ veces ha alternado
piernas/30seg5°- Mini-circuito en zig-zag _____ veces ha realizado el
circuito/30seg

6°- Salto con los pies juntos _____ saltos/30seg

Serie 2

1°- Carrera Suave

2°- Salto a la comba con desplazamiento _____ saltos/30 seg

3°- Realizar desplazamientos tocando las líneas a 8 m de distancia
_____ veces ha tocado la línea/30seg4°- Alternancia de piernas en banco sueco _____ veces ha alternado
piernas/30seg5°- Mini-circuito en zig-zag _____ veces ha realizado el
circuito/30seg

6°- Salto con los pies juntos _____ saltos/30seg

Serie 3

1°- Carrera Suave

2°- Salto a la comba con desplazamiento _____ saltos/30 seg

3°- Realizar desplazamientos tocando las líneas a 8 m de distancia
_____ veces ha tocado la línea/30seg4°- Alternancia de piernas en banco sueco _____ veces ha alternado
piernas/30seg5°- Mini-circuito en zig-zag _____ veces ha realizado el
circuito/30seg

6°- Salto con los pies juntos _____ saltos/30seg

Anexo III

Pegar pegatina con los datos de filiación.

Nombre y Apellido. Centro escolar y curso.

Post-Actividad

TEST

Marca en la escala el número más apropiado en función de lo **cansado que estás** y lo **dura que te ha parecido la actividad**.



Anexo IV

Pegar pegatina con los datos de filiación.
Nombre y Apellido. Centro escolar y curso.

Post-Actividad

1. FPI-6.

Post-Actividad	Pie Derecho	Pie Izquierdo
Inversión/Eversión de calcáneo.		
Curva supra e infra maleolar externa.		
Add/Abd Antepié respecto a Retropié		
Altura del ALI.		
Prominencia de región Talo-Navicular		
Palpación del astrágalo.		
RESULTADO		

2. Tipo de pie según FPI-6

Post.Actividad	Pronador severo	Pronador moderado	Neutro	Supinado moderado/severo

3. Toma de huella plantar de ambos pies (grapapar junto a este folio)

Anexo V

DICTAMEN FAVORABLE DEL COMITÉ ÉTICO DE INVESTIGACIÓN BIOMÉDICA DE ANDALUCÍA

JUNTA DE ANDALUCÍA

CONSEJERÍA DE IGUALDAD, SALUD Y POLÍTICAS SOCIALES
Dirección General de Calidad, Investigación, Desarrollo e Innovación
Comité Coordinador de Ética de la Investigación Biomédica de Andalucía

DICTAMEN ÚNICO EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ANDALUCÍA

D/D^a: Jose Salas Turrents como secretaria/a del CEI de los hospitales universitarios Virgen Macarena-Virgen del Rocío

CERTIFICA

Que este Comité refrendará de oficio en la reunión celebrada en el día 28/11/2014 la propuesta de Joaquín Piedra para realizar el estudio de investigación titulado:

Título del estudio:	Modificaciones en el ple pronador de niño tras actividades de resistencia. ,(Ple pronador y actividades de resistencia.)
Protocolo, Versión:	pdf
HIP, Versión:	pdf
CI, Versión:	pdf

Y que considera que:

Se cumplen los requisitos necesarios de idoneidad del protocolo en relación con los objetivos del estudio y se ajusta a los principios éticos aplicables a este tipo de estudios.

La capacidad del/de la Investigador/a y los medios disponibles son apropiados para llevar a cabo el estudio.

Están justificados los riesgos y molestias previsibles para los participantes.

Que los aspectos económicos involucrados en el proyecto, no interfieren con respecto a los postulados éticos.

Y que este Comité considera, que dicho estudio puede ser realizado en los Centros de la Comunidad Autónoma de Andalucía que se relacionan, para lo cual corresponde a la Dirección del Centro correspondiente determinar si la capacidad y los medios disponibles son apropiados para llevar a cabo el estudio.

Lo que firmo en a 12/12/2014



D/D^a: Jose Salas Turrents , como Secretario/a del CEI de los hospitales universitarios Virgen Macarena-Virgen del Rocío

CERTIFICA

Que este Comité refrendará de oficio en la sesión a celebrar el 28/11/2014 la propuesta del/de la Promotor/a Joaquín Piedra, para realizar el estudio de investigación titulado:

Título del estudio:	Modificaciones en el pie pronador de niño tras actividades de resistencia. ,(Pie pronador y actividades de resistencia.)
Protocolo, Versión:	pdf
HIP, Versión:	pdf
CI, Versión:	pdf

Lo que firmo en a 12/12/2014

