



Morfología del Pie Infantil. Evolución y Ejercicio Físico

Universidad de Castilla- La Mancha

Programa de Doctorado en Ciencias del Deporte

Departamento de Actividad Física y Ciencias del Deporte

Facultad de Ciencias del Deporte

Tesis Doctoral presentada por

Laura Delgado Abellán

Para optar al título de Doctor en Ciencias de la Actividad
Física y del Deporte

Dirigida por el doctor

D. Luis M. Alegre Durán

Toledo, 2015

*En ocasiones tenemos que abandonar la vida que
habíamos planeado, porque ya no somos la misma
persona que hizo aquellos planes*

Agradecimientos:

Me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas e instituciones que han hecho posible este trabajo.

- En primer lugar, a Xavier Aguado, por haberme dado la oportunidad de formar parte del Grupo de Biomecánica Humana y Deportiva, por sus aportaciones científicas a este trabajo y por conseguir la financiación y el apoyo técnico que permitió llevarlo a cabo.
- En segundo lugar, a mi director, Luis Alegre, ayudarme en todo momento, con sus explicaciones y motivación en el día a día de este trabajo.
- A todos los compañeros del Grupo de Biomecánica Humana y Deportiva, porque son parte de este trabajo.
- En especial a Ester Jiménez, que no ha sido sólo me compañera de laboratorio, sino también en mi vida universitaria y que tanto me ha ayudado. Ha sido un placer poder compartir esta experiencia con ella, en las que han sido muchas las horas de trabajo que nos convirtieron en grandes amigas.
- A los colegios de Educación Primaria que han participado en la elaboración de este trabajo, gracias por su colaboración en la toma

de datos. Colegio San José y Colegio Público Condes de Fuensalida (en Fuensalida), C.P. Gregorio Marañón (en Huecas), C.P. Conde de Ruiseñada (en Portillo de Toledo), C.P. Nuestra Señora de la Paz (en Santa Cruz del Retamar), C.P. Nuestra Señora de la Redonda (en Villamiel), y a los Colegios Públicos Alfonso VI, La Candelaria, Ciudad de Aquisgrán y Santa Teresa de Toledo.

- A todos los sujetos de estudio que han participado de forma desinteresada haciendo posible el desarrollo de este trabajo.
- A INESCOP (Instituto Tecnológico del Calzado y Conexas), y ASIDCAT (Asociación de Investigación y Desarrollo del Calzado y Afines de Toledo) por su apoyo financiero y tecnológico.
- José Luis López Elvira por su contribución con el programa AreaCalc y su ayuda.
- A los grupos IGOID y GENUD Toledo de la UCLM, en especial a Leonor Gallardo, Ignacio Ara y María Plaza, por permitirnos utilizar parte de las muestras de sus estudios.
- Por último a mi familia y amigos por acompañarme en esta etapa comprendiendo el sacrificio que ha supuesto. En especial a mis padres y hermano por su apoyo en cada momento y sus consejos. Y a Alfredo, por escucharme y encontrarse a mi lado siempre, tanto en los buenos momento como en los malos.

Lista de Publicaciones:

Las referencias de los artículos y presentaciones en congresos que componen el cuerpo de la Tesis Doctoral se detallan a continuación:

Artículos:

- Delgado-Abellán L, Aguado X, Jiménez-Ormeño E, Mecerreyes L, Alegre LM. Efectos del ejercicio continuo e intermitente sobre la huella plantar. *Archivos de Medicina del Deporte*. 2012; **25**: 527-535.
- Delgado-Abellán L, Aguado X, Jiménez-Ormeño E, Mecerreyes L, Alegre LM. Foot morphology in Spanish school children according to sex and age. *Ergonomics*. 2014; **57**: 787-797.

Presentaciones en congresos:

- *Efectos del ejercicio intermitente sobre las dimensiones del pie*. VII Curso de Medicina y Traumatología del Deporte y VI Jornadas Regionales de Promoción de la Salud y el Ejercicio Físico celebradas en Toledo, 16 de Enero de 2010.
- *Morfología del pie en tres dimensiones: estudio de fiabilidad*. IV Jornadas Nacionales de Medicina del Deporte celebradas en el Hospital Universitario de San Joan de Reus (Tarragona), 18-19 de Noviembre de 2011.

Becas, contratos y proyectos que han financiado esta tesis

El trabajo que se desarrolla a continuación, así como los artículos que forman parte de esta investigación, son parte del trabajo desarrollado en los siguientes proyectos y contratos de investigación:

- *Morfología del pie de los niños toledanos*, (financiado por INESCOP (Instituto Tecnológico del Calzado y Conexas) y ASIDCAT (Asociación de Investigación y Desarrollo del Calzado y Afines de Toledo), 8 de Junio de 2009 al 7 de Enero de 2010. Investigador principal: Xavier Aguado Jódar.
- *Estudio morfométrico del pie infantil en Castilla- La Mancha*, (financiado por INESCOP (Instituto Tecnológico del Calzado y Conexas) y ASIDCAT (Asociación de Investigación y Desarrollo del Calzado y Afines de Toledo), 15 de Octubre de 2010 al 14 de Mayo de 2011. Investigador principal: Xavier Aguado Jódar.
- El Estudio 2 se ha realizado gracias al grupo IGOID, dentro del proyecto de Excelencia PEII 10-0111-8071 cofinanciado por la Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

Abreviaturas

Las abreviaturas de los convenios de unidades de medida y las abreviaturas de uso universal en estadística no se incluyen en esta relación al existir normas internacionales aceptadas sobre su uso.

| | |
|----------------|--|
| AA | Área del Antepié |
| AI | Índice del Arco |
| AM | Área del Mediopié |
| AnA | Anchura Antepié |
| AnM | Anchura Mediopié |
| AnR | Anchura REtrotié |
| AR | Área del Retrotié |
| ASIDCAT | Asociación de Investigación y Desarrollo del Calzado y Afines de Toledo |
| CA | Césped Artificial |
| CV | Coeficiente de Variación |
| IBV | Instituto de Biomecánica de Valencia |
| ICC | Coeficiente de Correlación Intraclase |
| IMC | Índice de Masa Corporal |
| IGOID | Investigación en la Gestión de Organizaciones e Instalaciones Deportivas |
| INESCOP | Instituto Tecnológico del Calzado y Conexas |
| LCD | Longitud del Pie con Dedos |
| LP | Longitud del Pie sin dedos |
| T | Tierra |
| WMA | World Medical Association |

Índice

| | |
|--|----|
| Índice de Tablas | 17 |
| Índice de Figuras | 19 |
| 1. Resumen | 21 |
| 2. Introducción | 27 |
| 2.1. Morfología del Pie | 28 |
| 2.1.1. <i>Morfología del Pie Infantil</i> | 39 |
| 2.1.2. <i>Diferencias entre Sexos</i> | 42 |
| 2.2. Influencia de la Actividad Física en el Pie | 44 |
| 2.2.1. <i>Cambios Agudos y Crónicos</i> | 45 |
| 2.3. Justificación de los Estudios | 51 |
| 3. Objetivos | 55 |
| 3.1. Objetivo General | 56 |
| 3.2. Objetivo Específicos | 56 |
| 4. Estudio 1. Estudio Morfológico del Pie Infantil. | 59 |
| 4.1. Introducción | 60 |
| 4.2. Metodología | 62 |
| 4.2.1. <i>Participantes</i> | 62 |
| 4.2.2. <i>Materiales e Instrumentos</i> | 63 |
| 4.2.3. <i>Procedimiento</i> | 66 |
| 4.2.4. <i>Variables</i> | 68 |

Índice

| | |
|--|-----|
| 4.2.5. Estadística..... | 71 |
| 4.3. Resultados | 73 |
| 4.3.1. Diferencias en la dimensiones del pie con la edad (medidas absolutas y normalizadas)..... | 73 |
| 4.3.2. Diferencias entre niños y niñas (medidas absolutas y normalizadas)..... | 77 |
| 4.3.3. Ajuste del calzado | 79 |
| 4.4. Discusión..... | 81 |
| 4.4.1. Diferencias en la dimensiones del pie con la edad (medidas absolutas y normalizadas)..... | 81 |
| 4.4.2. Diferencias entre niños y niñas (medidas absolutas y normalizadas)..... | 84 |
| 4.4.3. Ajuste del calzado | 86 |
| 4.5. Conclusiones | 88 |
| 5. Estudio 2. Efectos del Entrenamiento de Fútbol en Diferentes Superficies sobre la Morfología del Pie. | 91 |
| 5.1. Introducción..... | 92 |
| 5.2. Metodología..... | 95 |
| 5.2.1. Participantes | 95 |
| 5.2.2. Material e Instrumentos | 98 |
| 5.2.3. Procedimiento | 98 |
| 5.2.4. Variables | 98 |
| 5.2.5. Estadística..... | 99 |
| 5.3. Resultados | 100 |

| | |
|--|-----|
| 5.3.1. <i>Análisis Niños</i> | 100 |
| 5.3.2. <i>Análisis Niñas</i> | 102 |
| 5.3.3. <i>Ajuste de Calzado</i> | 103 |
| 5.4. <i>Discusión</i> | 105 |
| 5.4.1. <i>Análisis Niños</i> | 105 |
| 5.4.2. <i>Análisis Niñas</i> | 108 |
| 5.4.3. <i>Ajuste de Calzado</i> | 110 |
| 5.5. <i>Conclusión</i> | 113 |
| 6. Estudio 3. Efectos del Ejercicio Intermitente sobre las Dimensiones del Pie. | 115 |
| 6.1. <i>Introducción</i> | 116 |
| 6.2. <i>Metodología</i> | 119 |
| 6.2.1. <i>Participantes</i> | 119 |
| 6.2.2. <i>Procedimiento</i> | 120 |
| 6.2.3. <i>Instrumentos</i> | 121 |
| 6.2.4. <i>Variables</i> | 123 |
| 6.2.5. <i>Medidas</i> | 125 |
| 6.2.6. <i>Sesiones de Ejercicio</i> | 126 |
| 6.2.7. <i>Estadística</i> | 129 |
| 6.3. <i>Resultados</i> | 130 |
| 6.4. <i>Discusión</i> | 134 |
| 6.5. <i>Conclusiones</i> | 138 |
| 7. <i>Conclusiones</i> | 141 |

Índice

| | | |
|------|---|-----|
| 8. | Aplicaciones Prácticas y Futuras Líneas de Investigación | 145 |
| 8.1. | Aplicaciones Prácticas..... | 146 |
| | <i>8.1.1. Recomendaciones para el diseño de calzado específico a la edad y sexo</i> | 147 |
| 8.2. | Futuras Líneas de Investigación | 150 |
| 9. | Bibliografía | 153 |
| 10. | Anexos | 175 |

Índice de Tablas

| | | |
|-----------------|--|-----|
| Tabla 1 | Tabla 1. Arcos del pie (Adaptado de Patton & Thibodeau, 2013)..... | 34 |
| Tabla 2 | Tabla 2. Comparación de las variables para el pie derecho entre jugadores de fútbol y de rugby. (Adaptada de Soper, 2001)..... | 50 |
| Tabla 3 | Tabla 3. Características de los participantes en el estudio (Edad, sexo, peso y estatura). | 62 |
| Tabla 4 | Tabla 4. Coeficientes de correlación intraclase (ICC) y Coeficientes de variación (%). | 66 |
| Tabla 5 | Tabla 5. Diferencias significativas entre años consecutivos en el mismo sexo..... | 76 |
| Tabla 6 | Tabla 6. Diferencias entre niños y niñas (medidas absolutas y normalizadas)..... | 78 |
| Tabla 7 | Tabla 7. Der, Derecho; Izq, Izquierdo. Diferencias entre la Talla Real y la Talla Estimada (Estim)..... | 80 |
| Tabla 8 | Tabla 8. Características mecánicas de las superficies de juego (Modificada de Plaza-Carmona et al., 2013)..... | 96 |
| Tabla 9 | Tabla 9. Características de los participantes en el estudio (Edad, peso, estatura y años de entrenamiento)..... | 97 |
| Tabla 10 | Tabla 10. Media del grupo CA + T (Edad, peso, estatura y años de entrenamiento). | 101 |
| Tabla 11 | Tabla 11. Diferencias entre Talla Real y Talla Estimada. | 104 |

Índice

| | | |
|-----------------|--|-----|
| Tabla 12 | Tabla 12. Características de los participantes del estudio (Edad, peso y estatura)..... | 119 |
| Tabla 13 | Tabla 13. Resumen de las velocidades y volúmenes utilizados en cada sesión de entrenamiento. | 128 |
| Tabla 14 | Tabla 14. Fiabilidad día a día de las variables estudiadas | 130 |
| Tabla 15 | Tabla 15. Comparación entre hombres y mujeres en las variables del circuito antes del ejercicio..... | 132 |
| Tabla 16 | Tabla 16. Variables de la huella plantar antes y después de las sesiones de ejercicio..... | 133 |

Índice de Figuras

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 1 | Fig. 1. Huesos que conforman la estructura del pie (Thibodeau & Patton, 2007)..... | 30 |
| Figura 2 | Fig. 2. Arcos del pie (Modificada de Thibodeau & Patton, 2007)..... | 32 |
| Figura 3 | Fig. 3. Principales músculos que afectan al arco (modificada de Atlas Sobotta, 2000). | 33 |
| Figura 4 | Fig. 4. Análisis huella plantar: Pie Cavo. (Modificada de Kapandji, 2007). | 36 |
| Figura 5 | Fig. 5. Análisis huella plantar: Pie Plano. (Modificada de Kapandji, 2007). | 36 |
| Figura 6 | Fig. 6. Frecuencia de actividades físico-deportivas practicadas en día lectivo (Chillón et al., 2002)..... | 45 |
| Figura 7 | Fig. 7. Medias pre- y post-test del volumen del pie en las tres situaciones (permanecer tumbado, sentado y de pie). (Man et al., 2004)..... | 46 |
| Figura 8 | Fig. 8. Diferencias entre el pre- y post-test del volumen del pie en las cuatro situaciones (permanece de pie, andar, sentado y bicicleta estática). (McWhorter et al., 2006)..... | 48 |
| Figura 9 | Fig. 9. Digitalizador de Pies Modelo ACN06/01(A&CN, España). | 64 |
| Figura 10 | Fig. 10. Procedimiento del estudio. | 67 |
| Figura 11 | Fig. 11. Medidas Escáner. | 69 |

Índice

| | | |
|------------------|---|-----|
| Figura 12 | Fig. 12. Talla Zapato. Sistema de Escala Francesa (Adaptada de Mauch et al., 2009). | 70 |
| Figura 13 | Fig. 13. Relación entre altura y largo del pie en niños.... | 74 |
| Figura 14 | Fig. 14. Relación entre altura y largo del pie en niñas..... | 74 |
| Figura 15 | Fig. 15. Diferencias entre niños fútbol y niños escolares. | 102 |
| Figura 16 | Fig. 16. Diferencias entre niñas fútbol y niñas escolares.. | 103 |
| Figura 17 | Fig. 17. Procedimiento del estudio..... | 121 |
| Figura 18 | Fig. 18. Pasos del Protocolo de Aguado, Izquierdo & González (1997). | 122 |
| Figura 19 | Fig. 19. Variables de la huella plantar analizadas..... | 125 |
| Figura 20 | Fig. 20. Esquema del prueba circuito. | 127 |

Resumen

Resumen

1. Resumen

Objetivos: El objetivo general de esta tesis fue analizar cómo la actividad física afecta a la morfología del pie en niños y adultos. Los principales objetivos de los tres estudios que componen esta Tesis fueron: **(1)** Analizar las diferencias con la edad en la morfología del pie en una muestra de población del centro de España durante la etapa escolar (6-12 años). **(2)** Analizar la morfología del pie en una muestra de niños practicantes de fútbol en distintas superficies. **(3)** Cuantificar los cambios en la huella plantar producidos en tres sesiones de ejercicio con distintas configuraciones de volumen e intensidad.

Material y Métodos: En el **Estudio 1** participaron 497 niños y 534 niñas en edad escolar (6-12 años) a los cuales a parte del peso y altura se le tomaron once variables morfológicas del pie con un digitalizador 3D.

En el **Estudio 2** participaron un total de 43 niños sanos jugadores de fútbol que fueron divididos en grupos de acuerdo al sexo y al tipo de superficie sobre la que entrenaban. (17 niños y 12 niñas jugadores de fútbol en césped artificial y 14 niños jugadores de fútbol en campo de tierra) entre 10 y 11 años. Además participaron 32 niños y 15 niñas de la misma edad de una población escolar del centro de España. Al igual que

en el estudio anterior se tuvieron en cuenta el peso y altura y once variables morfológicas del pie tomadas con un digitalizador 3D.

En el **Estudio 3** participaron 20 estudiantes de Ciencias del Deporte (10 mujeres y 10 hombres) que tomaron parte en tres sesiones de ejercicio (Circuito, 2500 m y 30 minutos de carrera continua). En cada sesión se realizaba un registro de la huella plantar antes y después de la prueba obteniendo un total de diez medidas, a parte del peso y la estatura.

Resultados: En el **Estudio 1** se observó que las dimensiones del pie aumentan entre un 3-6% de media al año en todas las variables. Las edades en las que aparecían la mayoría de las diferencias entre niños y niñas fueron entre los 8-9 años y 9-10 años. Las niñas de esta población llevaban calzado que era una talla menor a su tamaño real.

En el **Estudio 2** se observó diferencias significativas entre el grupo de niños que practicaban fútbol con el grupo de niños escolares en la distancia del talón al 5º metatarso, distancia del empeine, altura escafoides y perímetro de ball. En cuanto a las niñas se encontraron diferencias significativas en el ancho de ball, el perímetro de ball, la distancia del talón al 5º metatarso y el perímetro de entrada entre la muestra de niñas que practicaban fútbol con las niñas escolares.

En el **Estudio 3** las tres sesiones provocaron cambios significativos en las dimensiones de la huella plantar (0.1- 9.1%) aunque sólo la anchura del mediopié fue sensible al número de apoyos en los 30 minutos de carrera (8.0%, $P < 0.01$).

Conclusiones: con los resultados de los tres estudios de esta tesis podemos afirmar que los pies de niños y niñas del centro de España evolucionan al mismo ritmo que en otras poblaciones produciéndose un aumento del 3-5% por año en las principales dimensiones del pie. La morfología de los pies de niños y niñas difiere a partir de los 8- 10 años. Y por último, que la práctica deportiva produce, tanto cambios crónicos en la morfología del pie, siendo los pies de niños/as jugadores de fútbol de menor tamaño que los de la población escolar, como agudos en la huella plantar, aumentando significativamente las áreas de contacto.

Palabras Clave: morfología del pie; digitalizador de pies 3D; actividad física; fútbol; población escolar; índice del arco (AI); calzado.

Resumen

Introducción

2. Introducción

El tema central y nexo de unión entre los diferentes estudios que conforman esta tesis es **el pie y la respuesta de su morfología al ejercicio**. Por lo tanto, a lo largo de esta Introducción realizaremos una revisión de la bibliografía que existe publicada en relación con nuestros estudios, tratando los siguientes temas: desarrollo de la morfología del pie infantil; influencia de la actividad física de forma crónica o aguda y en especial la práctica de fútbol.

2.1. Morfología del Pie

Sistema esquelético y bóveda plantar

El pie es una de las estructuras biológicas más complejas del cuerpo humano. Consta de 26 huesos (de tamaños y estructuras muy diversas), 31 articulaciones y 20 músculos que le son propios (Calais-Germain, 1994).

Al adaptarse a la bipedestación el ser humano, sus pies han adquirido ciertas características que lo hacen capaz de soportar el peso del cuerpo. Por ejemplo, el primer dedo del pie es bastante más sólido y menos móvil que el pulgar (Thibodeau & Patton, 2007). Por lo tanto, el

pie desempeña una doble función: soportar el peso del cuerpo y permitir el desarrollo dinámico del paso cuando se camina. Esto supone, simultáneamente, resistencia y flexibilidad. Sin embargo, generalmente, el pie se encuentra deformado, ya que se ve sujeto a las sollicitaciones mecánicas del peso del cuerpo y las del calzado, que a menudo, están lejos de ser los ideales (Calais-Germain, 1994).

Los huesos de los dedos de los pies tienen el mismo nombre que los de las manos: falanges. Los huesos de los pies equivalentes a los metacarpianos y los carpianos tienen nombres diferentes: metatarsianos y tarsianos. Sin embargo, el pie solamente tiene siete tarsianos, en contraste con los ocho carpianos que se encuentran en la mano (Thibodeau & Patton, 2007).

- Tarsianos: Huesos que forman el talón y la mitad proximal o posterior del pie; comprende calcáneo (hueso del talón y el de mayor tamaño), astrágalo (el más superior de los huesos del tarso; se articula con la tibia y el peroné; encajado entre los maléolos medial y lateral), navicular, cuboides, cuneiforme medial, intermedio y lateral (Patton & Thibodeau, 2013).
 - Metatarsianos: Huesos largos del pie; se enumeran desde el lado medial I, II, III; IV; V. Proporcionan soporte a los dedos del pie.
- Los tarsianos y metatarsianos están dispuestos de modo que forman tres arcos en el pie.

Introducción

- Falanges: huesos de los dedos del pie; dos en el primer dedo y tres en cada uno de los otros cuatro dedos; desde el hueso metatarsiano se denominan: proximal; medio y distal; se numeran I, II, III; IV; V.

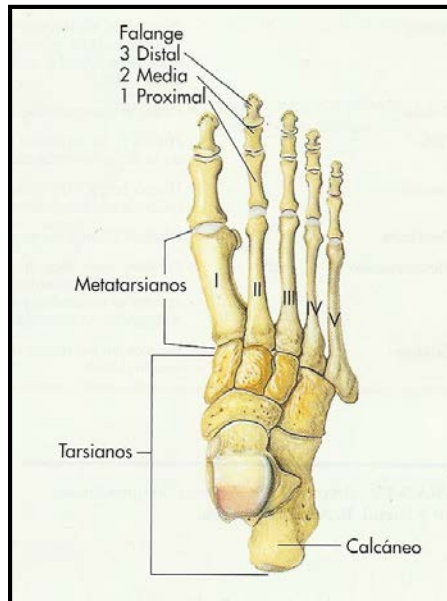


Fig. 1. Huesos que conforman la estructura del pie (Thibodeau & Patton, 2007).

La bibliografía demuestra que existe una proporción entre el ancho y longitud de los metatarsos y el ancho y longitud de las falanges (Dogan et al., 2007). Morrison et al. (2009) demostró una relación entre el ancho del antepié y la longitud del pie. Estas no son las únicas relaciones establecidas, son bastantes los estudios que han correlacionado datos morfológicos del pie con parámetros antropométricos. Por ejemplo, varios estudios han demostrado una

correlación entre la estatura del sujeto y su longitud del pie (Ozden et al., 2005; Reel et al., 2001; Fessler et al., 2005). Morrison et al. (2009) mostró que se podía predecir la altura del navicular con la estatura. Para finalizar Puszczalowska-Lizis (2011) encontró correlaciones entre el arco transversal con el peso, longitud de la extremidad inferior y longitud del pie.

Las cabezas de todos los metatarsianos se sitúan en el plano plantar, pero los cuneiformes, el navicular y el astrágalo se van elevando, a medida que se extiende hacia atrás, de tal manera que el astrágalo se apoya sobre el calcáneo. La bóveda longitudinal se abre por este motivo, en dirección medial. La forma de cuña, que se observa en un corte transversal de los cuneiformes del pie y de las bases de los metatarsianos conforman el arco transversal del pie (Fig. 2). Es decir, los huesos de los pies se encuentran situados de modo que forman la bóveda plantar, conjunto arquitectónico que asocia con armonía todos los elementos osteoarticulares, ligamentosos y musculares del pie. La bóveda plantar está formada por tres arcos: dos arcos longitudinales, uno situado en la parte interna del pie que se conoce como arco longitudinal medial y otro que se encuentra a la largo del borde externo y se denomina arco longitudinal lateral y un arco transversal, que se extiende a través de la región metatarsiana. Estos arcos proporcionan gran resistencia y una

Introducción

base muy estable (Thibodeau & Patton, 2007). Gracias a sus modificaciones de curva y a su elasticidad, la bóveda es capaz de adaptarse a cualquier irregularidad del terreno y transmitir al suelo las fuerzas y el peso del cuerpo en las mejores condiciones mecánicas y en las circunstancias más diversas. Desempeña el papel de amortiguador indispensable para la flexibilidad de la marcha (Kapandji, 2007).

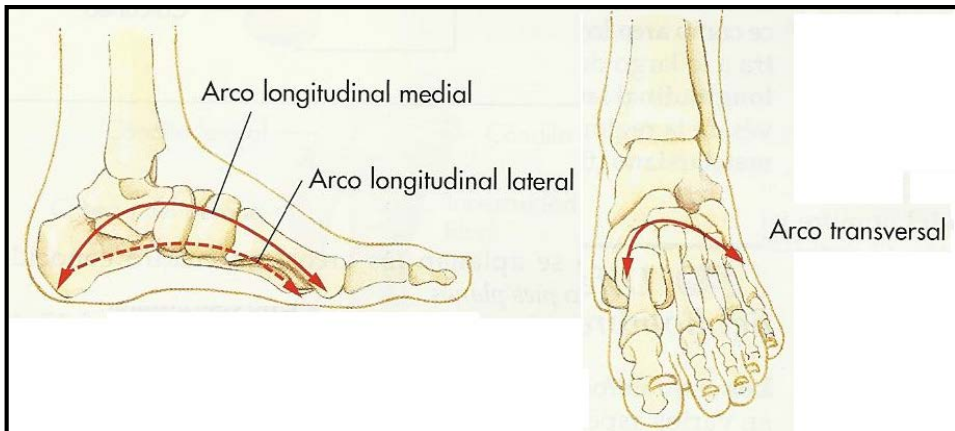


Fig. 2. Arcos del pie (Modificada de Thibodeau & Patton, 2007).

Los fuertes ligamentos y los tendones de los músculos de las piernas mantienen normalmente con firmeza los huesos de los pies en sus posiciones arqueadas (Fig. 3) y contribuyen al apoyo del arco longitudinal durante el paso (Jacob, 2001). Sin embargo, no es raro que esos ligamentos y tendones se debiliten. En ese caso se aplanan los arcos, un cuadro conocido como pies planos (Thibodeau & Patton, 2007; Vukašinović et al., 2011).

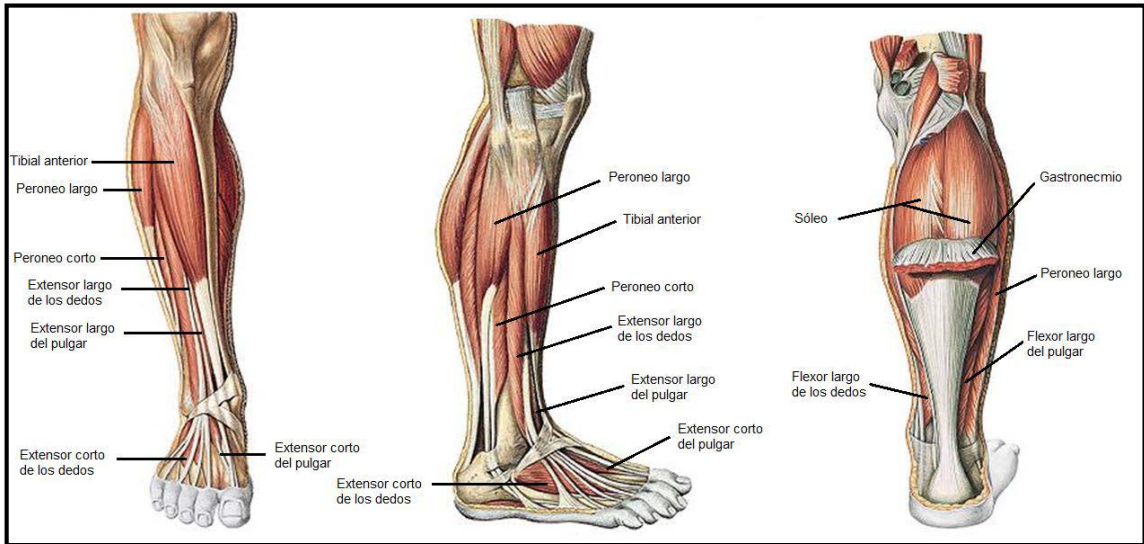


Fig. 3. Principales músculos que afectan al arco (modificada de Atlas Sobotta, 2000).

Las alteraciones que pueden acentuar o disminuir sus curvas repercuten gravemente en el apoyo en el suelo, de modo que alteran obligatoriamente la carrera y la marcha, o incluso la simple bipedestación (Kapandji, 2007).

Introducción

| | |
|----------------------|--|
| Arcos del Pie | Curvaturas de los hueso del pie y el tobillo que, junto con los músculos y otros tejidos blandos, soportan adecuadamente el peso del esqueleto |
| Arcos longitudinales | Disposición de los huesos tarsianos y metatarsianos para formar un arco desde la parte anterior a la posterior del pie |
| - Medial | Formado por calcáneo, astrágalo, navicular, cuneiformes y los tres metatarsianos mediales |
| - Lateral | Formado por calcáneo, cuboides y los dos metatarsianos laterales |
| Arco transverso | Los metatarsianos y la hilera distal de hueso del tarso (cuneiformes y cuboides) se articulan formando un arco a través del pie; los hueso se mantienen en su posición en estos arcos por medio de poderosos ligamentos de la planta del pie y por músculos y tendones |

Tabla 1. Arcos del pie (Adaptado de Patton & Thibodeau, 2013).

El pie tiene una estructura triangular con (Kapandji, 2007): un lado inferior, la base, subtendidas por los músculos y los ligamentos plantares; lado anterosuperior, donde se localizan los flexores dorsales del tobillo y los extensores de los dedos; lado posterior, que comprende los flexores plantares del tobillo y los flexores de los dedos. Una forma normal de la planta del pie, que condiciona su correcta adaptación al suelo, es el resultado de un equilibrio entre las fuerzas propias a cada uno de estos tres lados (Kapandji, 2007):

- Una acentuación de la curva plantar, provocando un pie cavo, puede deberse tanto a una retracción de los ligamentos plantares o a una contractura de los músculos plantares como a una insuficiencia de los músculos flexores del tobillo.

- Un aplanamiento de la curva plantar, o pie plano, se puede deber tanto a una insuficiencia de las formaciones ligamentosas o musculares plantares como a un tono exagerado de los músculos anteriores o posteriores.

El análisis de la huella plantar facilita el diagnóstico:

- El pie normal: presenta un arco longitudinal interno y una huella plantar bien definida con una zona del antepié ancha y una zona del retropié unidas por una zona externa más estrecha en el mediopié que se conoce como istmo (Fig. 4-I).
- El pie cavo: en relación a la huella normal (I), el inicio del cavo (II) se caracteriza por una prominencia convexa en el borde externo (m) y por un aumento de la profundidad el “golfo” (n) del borde interno; a continuación (III), el fondo del “golfo” alcanza el borde externo (p) dividiendo la huella en dos; en los pies cavos inveterados (IV), a las características precedentes se añade la desaparición de la huella de los dedos (q) debido a la garra de los mismos.

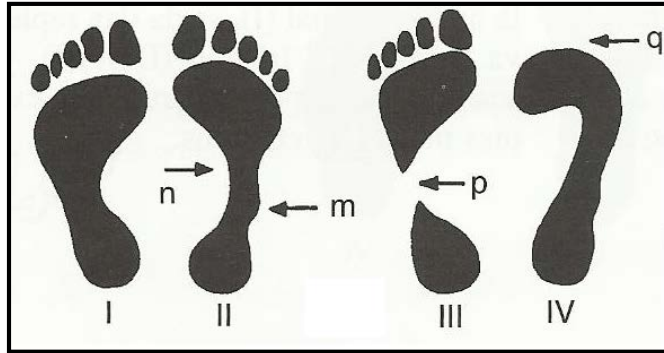


Fig. 4. Análisis huella plantar: Pie Cavo. (Modificada de Kapandji, 2007).

- El pie plano: en relación a la huella plantar normal (I), se da una repleción progresiva del “golfo” interno (II y III), y el pie plano acaba incluso por hacerse convexo (IV) en los pies planos inverterados.

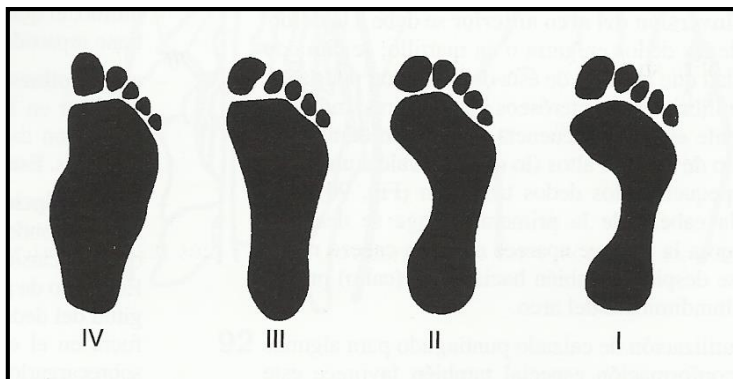


Fig. 5. Análisis huella plantar: Pie Plano. (Modificada de Kapandji, 2007).

El pie plano es la patología más común que se observa en ortopedia pediátrica (El et al., 2006; Vukašinović et al., 2011). El arco longitudinal del pie no está presente en el nacimiento y el pie infantil tiene un tejido graso en el arco. El arco normal del pie se desarrolla en la primera década de la vida (El et al., 2006). Por lo tanto, es amplia la

bibliografía que estudia la patología del pie plano en niños (Rao y Joseph, 1992; Cheng et al., 1997; Kouchi, 1998; García-Rodríguez et al., 1999; Echaría y Forriol, 2003; Leung et al., 2005; Pridalova y Riegerova, 2005; Revenga-Giertych et al., 2005; Stavlas et al., 2005; El et al., 2006; Mickle et al., 2006; Pfeiffer et al., 2006; Mauch et al., 2008a; Mauch et al., 2008b; Mickle et al., 2008; Chen et al., 2009; Mauch et al., 2009; Morrison et al., 2009; Bosch et al., 2010; Chang et al., 2010) aunque también existen estudios con adultos (Staheli et al. 1987; Sachithanandam & Joseph 1995).

Los factores que pueden influir en el desarrollo de pie plano son: la edad; el sexo; el peso (obesidad) y la actividad física realizada o el estilo de vida. Excepto el peso el resto de factores se desarrollan más adelante. Hay que destacar por lo tanto en este punto que con el aumento de peso también aumenta la prevalencia de pie plano, tal y como demuestra una extensa bibliografía (Riddiford-Harland et al., 2000; Dowling et al., 2001; Dowling et al., 2004; Mickle et al., 2006; Pfeiffer et al., 2006; Mauch et al., 2008a; Villarroya et al., 2008; Chen et al., 2009; Villarroya et al., 2009; Chang et al., 2010; Laguna et al., 2010; Chen et al., 2011b; Riddiford-Harland et al., 2011; Espinoza-Navarro et al., 2013; Ezema et al., 2013; Jiménez-Ormeño et al., 2013; Jankowicz-Szymanska & Mikolajczyk, 2015).

Articulaciones del pie

Las articulaciones del pie son numerosas y complejas; unen los huesos del tarso entre sí además de conectarlos con los metatarsos. Son las que a continuación se exponen (Kapandji, 2007):

- La articulación calcaneoastagalina, denominada también subastagalina
- La articulación mediotarsiana o de Chopart
- La articulación tarsometatarsiana o de Lisfran
- Y las articulaciones escfo-cuboidea y escfo-cuneales

Estas articulaciones tienen **doble función:**

1. Orientar el pie con respecto a los otros dos ejes (ya que la orientación en el plano sagital le corresponde a la tibiotarsiana) para que el pie se pueda orientar correctamente con respecto al suelo sea cual sea la posición de la pierna y la inclinación del terreno.
2. Modificar tanto la forma como la curva de la bóveda plantar para que el pie se pueda adaptar a las desigualdades del terreno además de crear, entre el suelo y la pierna, transmitiendo el peso del cuerpo, un sistema que amortigüe dando al paso elasticidad y flexibilidad.

Por lo tanto, el papel que desempeñan estas articulaciones es primordial. Por el contrario, las articulaciones de los dedos metatarsofalangios e interfalángicas son mucho menos importantes que sus equivalentes en la mano. Sin embargo, una de ellas desempeña un papel esencial en el desarrollo del paso: la articulación metatarsofalángica del primer dedo.

2.1.1. Morfología del Pie Infantil

Los pies de niños y niñas muestran diferencias en estructura y función en comparación con los pies de los adultos (Müller et al., 2012). El pie es el nexo de unión entre el cuerpo y el suelo y por lo tanto tiene una tarea fundamental para el desarrollo general del sistema musculoesquelético (Bosch et al., 2010). Durante la infancia el sistema musculoesquelético sufre numerosos cambios tanto en la estructura muscular como ósea. El pie presenta una gran adaptabilidad a factores internos y externos, especialmente en edades tempranas (Mauch et al., 2009). En estudios previos, se muestra que la edad crítica en el crecimiento del pie es a los 6 años y que se estabiliza a partir de los 12 años (Cheng et al., 1997; García-Rodríguez et al., 1999; El et al., 2006). Durante la edad de crecimiento la morfología del pie cambia de forma progresiva creciendo

más en longitud que en anchuras (Müller et al., 2012; Bosch et al., 2010).

Estudios anteriores sobre la morfología del pie han trabajado con muestras amplias de población infantil (Rao y Joseph, 1992; Cheng et al., 1997; Kouchi, 1998; García-Rodríguez et al., 1999; Echaría y Forriol, 2003; Leung et al., 2005; Pridalova y Riegerova, 2005; Revenga-Giertych et al., 2005; Stavlas et al., 2005; El et al., 2006; Pfeiffer et al., 2006; Mauch et al., 2008a; Mauch et al., 2008b; Mickle et al., 2008; Chen et al., 2009; Mauch et al., 2009; Morrison et al., 2009; Bosch et al., 2010; Chang et al., 2010). Sin embargo, en la mayoría de estos estudios únicamente se analizó la evolución de la huella plantar o el tipo de pie y cómo podía influir la edad, sexo y el uso del calzado en la prevalencia de pie plano. El principal hallazgo que han mostrado estos estudios es que la prevalencia de pies planos disminuye con el aumento de la edad (Rao and Joseph, 1992; García-Rodríguez et al., 1999; Echaría and Forriol, 2003; Leung et al., 2005; Revenga-Giertych et al., 2005; Stavlas et al., 2005; El et al., 2006; Pfeiffer et al., 2006; Mauch et al., 2008b; Chen et al., 2009; Bosch et al., 2010; Chang et al., 2010; Chang et al., 2012, Wozniacka et al., 2013). Los datos de los estudios demuestran que el arco longitudinal se modifica de forma evidente hasta los 6-7 años (Müller et al., 2012) existiendo una correlación negativa

entre el índice del arco (AI) y la edad (Staheli, 1987; Rao & Joseph, 1992; Echarri & Forriol, 2003; Mickle et al., 2006; Pfeiffer et al., 2006; Chen et al., 2009; Chang et al., 2010), por lo que a partir de esta edad el pie plano puede ser considerado patológico.

La fiabilidad de estos métodos para valorar la planta del pie ha sido probada y demostrada constantemente (Igbigbi & Msamati, 2002; Chen et al., 2011a; Lara Diéguez et al., 2011). Sin embargo, para la industria y el diseño de calzado estos datos pueden ser considerados de utilidad práctica limitada al no facilitarnos datos globales de la morfología del pie.

Existen estudios que han utilizado otros sistemas de medición diferentes a los nombrados hasta ahora en sus metodologías, como el escáner (Pfeiffer et al., 2006; Krauss et al., 2008; Mauch et al., 2008a; Mauch et al., 2008b; Chen et al., 2009; Mauch et al., 2009) con el cual podemos obtener mayor información sobre la morfología del pie. Sin embargo, sólo tres han descrito y analizado reducidas medidas morfológicas del pie (Krauss et al., 2008; Mauch et al., 2008b; Chen et al., 2009). Por ejemplo, en el estudio realizado por Chen et al. (2009) analizaron la morfología del pie en una muestra de más de 1000 niños/as de 5 a 13 años utilizando un sistema 3D y mostraron diferencias tanto en las dimensiones del pie entre chicos y chicas como entre ambos pies (derecho-izquierdo), pero este estudio fue llevado a cabo en Taiwán

población que puede diferir de una población Europea. Debemos tener en cuenta el lugar de procedencia de la población ya que se ha demostrado que además de por factores que ya hemos nombrado (edad, sexo, peso, calzado) la evolución de la morfología del pie puede estar influida por la raza o por factores ambientales (Igbigbi & Msamati, 2002; Mauch et al., 2008b; Gurney et al., 2009; Sacco et al., 2015) como demostraron Igbigbi & Msamati (2002) al contrastar una población africana con caucásicos, Mauch et al. (2008b) al comparar la morfología del pie entre poblaciones de dos continentes diferentes (alemanes y australianos) y Gurney et al. (2009) al comparar la geometría del pie y presiones plantares de tres poblaciones (caucásica, maoríes y de las islas del Pacífico).

2.1.2. Diferencias entre Sexos

Varios estudios han demostrado previamente que los pies de hombres y mujeres difieren tanto en talla como en forma (Manna et al., 2001; Fessler et al., 2005; Leung et al., 2005; Stavlas et al., 2005; Krauss et al., 2008; Mickle et al., 2008; Luo et al., 2009; Morrison et al., 2009; Bosch et al., 2010; Krauss et al., 2010; Hong et al., 2011; Singla et al., 2015; Tomassoni et al., 2014), lo cual, manifiesta que no existe una escala

algebraica que muestre los pies de las mujeres como versiones más pequeñas de los pies masculinos (Krauss et al., 2008; Luo et al., 2009).

Estas diferencias entre sexos se hacen evidentes a partir de los 9-12 años (Kouchi, 1998; Leung et al., 2005; Morrison et al., 2009; Bosch et al., 2010) ya que hasta entonces los pies de ambos sexos siguen un crecimiento similar. Algunos estudios como el de Cheng et al. (1997) y Stavlas et al. (2005) sugieren edades más tempranas, siendo a partir de los 3 y 6 años respectivamente cuando aparecen las diferencias significativas entre niños y niñas. Por lo tanto, según la bibliografía revisada, los pies de las mujeres son proporcionalmente más estrechos que los pies de los hombres (Krauss et al., 2008; Luo et al., 2009; Bosch et al., 2010; Hong et al., 2011; Krauss et al., 2005). En la mayoría de estos estudios se comparan los pies de hombres y mujeres con la misma longitud y se observan que los pies masculinos tienen mayores valores para las dimensiones de anchuras, alturas y circunferencias.

Además de las diferentes proporciones morfológicas, algunos estudios han revisado la prevalencia de pies planos según el sexo, porque como ya hemos visto en apartados anteriores el sexo es un factor que puede influir en el desarrollo de pie plano. La bibliografía revisada muestra una mayor prevalencia de pies planos en niños que en niñas (Stavlas et al., 2005; Mickle et al., 2008; Chen et al., 2009; Chang et al., 2010; Cetin et al., 2011; Espinoza-Navarro et al., 2013).

Todas estas diferencias deberían tenerse en cuenta en el diseño de calzado, para dar un mejor ajuste y confort, además de evitar lesiones o deformidades patológicas (Manna et al., 2001; Krauss et al., 2008; Luo et al., 2009; Hong et al., 2011).

2.2. Influencia de la Actividad Física en el Pie

La práctica de actividad física tiene efectos sobre el cuerpo humano tanto fisiológicos como morfológicos. En este caso nosotros nos centraremos principalmente en aquellos cambios, agudos o crónicos, que se producen en el pie.

Entre los deportes o actividad física más populares y comúnmente practicados se encuentra el fútbol y la carrera a pie o “*running*” (Wong et al., 2007; Wiegerinck et al., 2009; Ho et al., 2010; Hong et al., 2011). El fútbol cuenta con más de 240 millones de jugadores en todo el mundo (Wong et al., 2007). Además, entre los niños es el deporte más practicado como podemos observar en el estudio de Chillón et al. (2002) (Fig. 6). En cuanto al *running* podemos decir que su práctica ha aumentado en las últimas tres décadas (Nagel et al., 2008; Ho et al., 2010; Willems et al., 2012) debido principalmente a su fácil acceso y a sus efectos beneficiosos para la salud y el desarrollo

cardiopulmonar (Nagel et al., 2008; Fourchet et al., 2012; Tessutti et al., 2012; Willems et al., 2012).

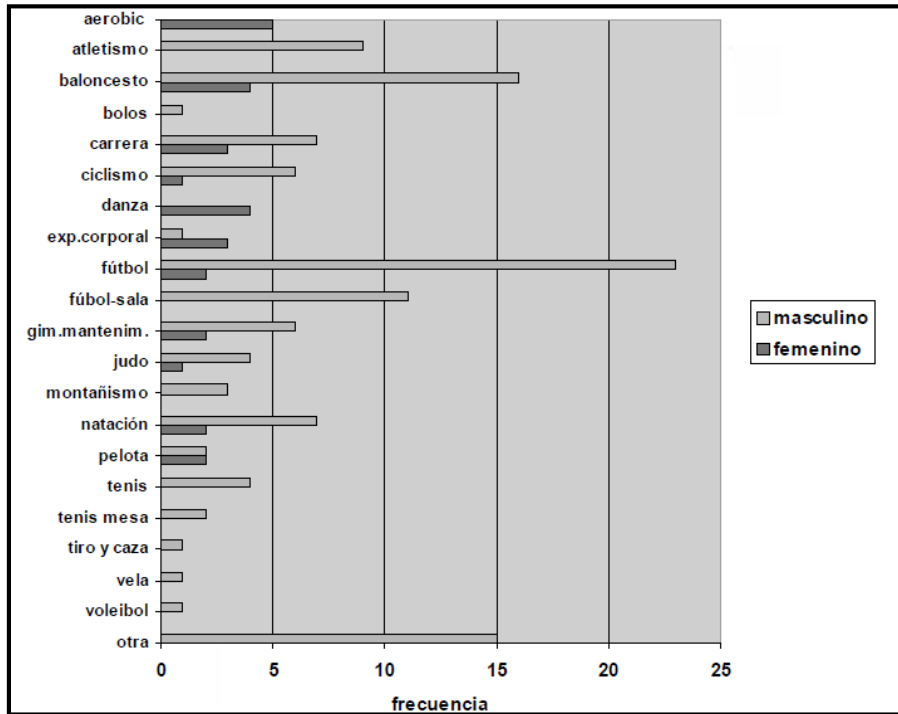


Fig. 6. Frecuencia de actividades físico-deportivas practicadas en día lectivo (Chillón et al., 2002).

2.2.1. Cambios Agudos y Crónicos

Los estudios encontrados sobre cambios transitorios o agudos en la morfología del pie podemos agruparlos en tres bloques: cambios sin actividad física, cambios con el soporte de peso y cambios con actividad física.

Introducción

Antes de explicar aquellos estudios que han analizado cambios en el pie con carga de peso o con actividad física es interesante observar aquellos estudios que han analizado los cambios que se producen en días consecutivos o sin actividad física. En general en estos estudios no hay cambios en las variables medidas de forma repetida durante el mismo día (Moholkar & Fenelon, 2001) o días sucesivos bajo las mismas condiciones (Pasley & O'Connor, 2008). En el estudio de Man et al. (2004) se observa que en las dos situaciones sin carga (30 minutos en decúbito supino y 30 minutos sentado) no se generaban diferencias, sin embargo en la situación de carga (30 minutos de pie) sí había diferencias entre el antes y el después de la prueba.

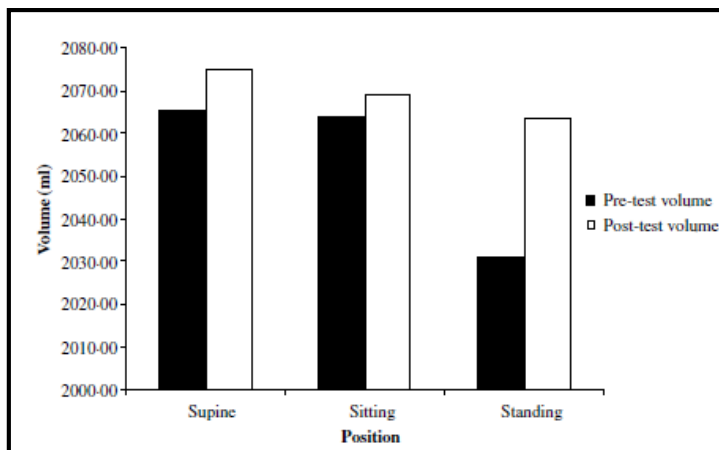


Fig. 7. Medías pre- y post-test del volumen del pie en las tres situaciones (permanecer tumbado, sentado y de pie). (Man et al., 2004).

Este estudio nos lleva a analizar el siguiente bloque sobre aquellos trabajos que han estudiado situaciones de carga. Los resultados

observados tras las diferentes situaciones de carga siguen una misma tendencia, mostrando en la mayoría de ellos cambios significativos en la estructura externa del pie (Cheng et al., 1997; Tsung et al., 2003; Houston et al., 2006; Cappaert et al., 2007 y Xiong et al., 2008). Por último, en cuanto a los estudios que han analizado cambios en el pie con actividad física podemos decir que en general sí se producen diferencias significativas entre el antes y el después de la actividad física (Chalk et al., 1995; Cloughley & Mawdsley, 1995; McWhorter et al., 2003; McWhorter et al., 2006), aunque estos cambios no se dan siempre tras cualquier actividad o de la misma forma. Hay que destacar el estudio de McWhorter et al. (2006) en el que analizan los cambios producidos tras 12 minutos en cuatro situaciones diferentes; tras las actividades de carga si se observan cambios significativos en el volumen del pie (permanecer de pie y andar). Sin embargo, en las de descarga no había cambios (sentado y bicicleta estática). Estos resultados sugieren que las actividades sin carga producen un menor aumento del volumen del pie que las actividades con carga.

Introducción

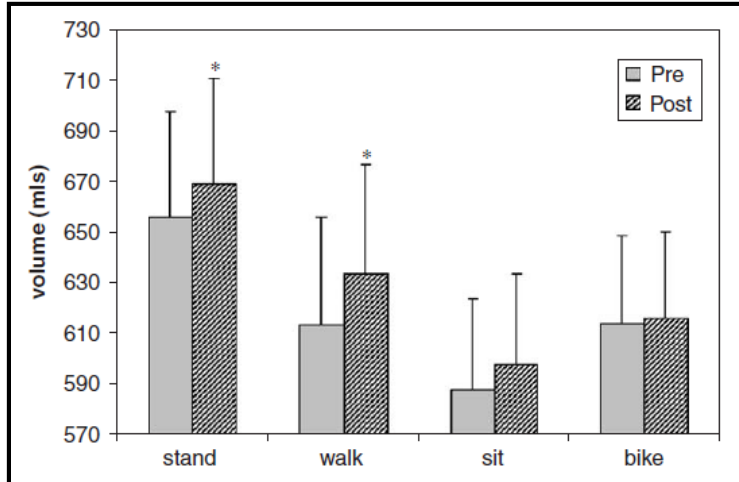


Fig. 8. Diferencias entre el pre- y post-test del volumen del pie en las cuatro situaciones (permanecer de pie, andar, sentado y bicicleta estática). (McWhorter et al., 2006).

Estos cambios en el volumen del pie nos indican la imposibilidad por parte del sistema circulatorio de mantener el retorno venoso (Chalk et al., 1995; McWhorten et al., 2003) aumentando la presión capilar y por lo tanto la filtración de sangre a los espacios intersticiales (Coughley & Mawdsley, 1995; Man et al., 2004).

Según Berdejo-del-Fresno et al. (2013) es de esperar que las modificaciones agudas se hagan crónicas en el tiempo en una persona deportista que somete sus pies a una gran carga y esfuerzo. Además hoy en día los deportistas de alto rendimiento comienzan a edades más tempranas, cuando el sistema músculo-esquelético es aún inmaduro lo que puede llevar a cambios específicos en la estructura del cuerpo (Aydog et al., 2005a). Lichota et al. (2013) destaca la actividad física

como uno de los factores más importantes que puede afectar en el arco del pie, y dependiendo del tipo de actividad física realizada se pueden producir cambios diferentes en el pie (Inoubli, 2010; Lichota et al., 2013). Existen estudios que han demostrado cambios crónicos en la morfología del pie según el tipo de deporte realizado (Soper et al., 2001; Aydog et al., 2004; Kulthanan et al., 2004; Aydog et al., 2005a; Aydog et al., 2005b; López et al., 2005; López-Elvira et al., 2006; Grabara, 2008; Inoubli, 2010; Mantini, 2012; Ozer & Barut, 2012; Berdejo-del-Fresno et al., 2013; Durić et al., 2013; Lichota et al., 2013). En ellos se han analizado gran variedad de deportes, como la danza, rugby, taekwondo, balonmano, voleibol, atletismo, etc. En este apartado queremos destacar aquellos estudios que han analizado las diferencias en la huella plantar entre futbolistas y no deportistas (López et al., 2005; Grabara, 2008; Inoubli, 2010; Mantini, 2012; Ozer & Barut, 2012). López (2005) y Grabara (2008) observaron que no existían diferencias, sin embargo, Inoubli (2010), Mantini (2012) y Ozer & Barut (2012), sí mostraron diferencias entre ambos grupos. En el estudio de Soper et al. (2001) se comparó a futbolistas con jugadores de rugby mostrando diferencias significativas en todas las variables (Tabla 2).

Por último, en el estudio de Yamaner et al. (2011), se analizó la morfología del pie teniendo en cuenta el pie dominante, mostrando

Introducción

diferencias entre el grupo de pie dominante derecho o izquierdo y entre pie dominante y no dominante.

| Variable | Jugador de Fútbol (n=146) | Jugador de Rugby (n=122) |
|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Altura | 174.3 ± 6.4 | 178.1 ± 6.1* |
| Peso | 65.7 ± 9.2 | 82.5 ± 12.8* |
| Máx Anchura Retropié | 5.6 ± 0.6 | 5.9 ± 0.5* |
| Máx Anchura Mediópie | 3.2 ± 1.1 | 4.1 ± 1.3* |
| Máx Anchura Antepié | 9.8 ± 0.7 | 10.2 ± 0.8* |
| Longitud el Pie | 26.1 ± 1.5 | 27.2 ± 1.4* |
| Índice Impresión del Pie | 0.33 ± 0.11 | 0.40 ± 0.13* |

Tabla 2. Comparación de las variables para el pie derecho entre jugadores de fútbol y de rugby. (Adaptada de Soper et al., 2001).

En la mayoría de estos estudios se ha analizado únicamente la curvatura del arco, y no el pie en su totalidad (Aydog et al., 2004; Kulthanan et al., 2004; Aydog et al., 2005a; Aydog et al., 2005b; Inoubli, 2010; Berdejo-del-Fresno et al., 2013; Durić et al., 2013; Lichota et al., 2013) comprobando como la práctica deportiva incide en la formación del arco; los resultados de estos estudios difieren según el deporte analizado.

2.3. Justificación de los Estudios

Como hemos visto a lo largo de la Introducción, existe una amplia bibliografía relacionada con la morfología del pie y los cambios con la actividad física, la cual nos ha servido de base para el desarrollo de nuestros estudios.

La presente tesis está formada por tres estudios, relacionados entre ellos, cuyo hilo conductor es **el pie y la respuesta de su morfología al ejercicio** como ya hemos nombrado con anterioridad.

A continuación justificaremos en orden cada uno de los estudios estableciendo relaciones entre ellos.

En primer lugar los Estudios 1 y 2 “Estudio Morfológico del Pie Infantil” y “Efectos del Entrenamiento de Fútbol en Diferentes Superficies sobre la Morfología del Pie”, surgieron como respuesta a la escasez de investigaciones actuales de la morfología del pie en **tres dimensiones** en la etapa escolar de población española y que observasen los **cambios crónicos** producidos **en la morfología del pie** debido a la práctica de **fútbol**.

En cuanto al Estudio 3 “Efectos del Ejercicio Intermitente sobre las Dimensiones del Pie”, no hemos encontrado trabajos que hayan estudiado los **efectos del volumen y la intensidad** de los apoyos sobre las dimensiones del pie. Además, varios de los estudios anteriores sólo

Introducción

se centraron en evaluar el volumen total del pie sin analizar la zona de contacto del pie con el suelo. El análisis de la **huella plantar**, además de informar de forma indirecta sobre los cambios en las dimensiones del pie, nos puede mostrar si existen cambios transitorios en el apoyo entre antes y después del ejercicio.

Analizar los cambios que se producen en la morfología del pie (3D) y en el área de contacto, debido al desarrollo o a la actividad física puede ser útil para el diseño de calzado adaptado a la edad y la práctica deportiva, ya que las variaciones en la morfología del pie y en la huella plantar implican modificaciones en el ajuste del calzado.

Introducción

Objetivos

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

El objetivo general de esta tesis fue analizar cómo la actividad física afecta a la morfología del pie en niños y adultos.

3.2. Objetivo Específicos

A continuación exponemos los objetivos específicos de cada uno de los estudios que forman la tesis:

Estudio 1. Estudio Morfológico del Pie Infantil

Analizar las diferencias con la edad en la morfología del pie en una muestra de población del centro de España durante la etapa escolar (6-12 años).

Estudio 2. Efectos del Entrenamiento de Fútbol en Diferentes Superficies sobre la Morfología del Pie

Analizar la morfología del pie en una muestra de niños practicantes de fútbol en distintas superficies.

Estudio 3: Efectos del Ejercicio Intermitente sobre las Dimensiones del Pie

Cuantificar los cambios en la huella plantar producidos en tres sesiones de ejercicio con distintas configuraciones de volumen e intensidad.

Objetivos

Estudio 1. Estudio Morfológico del Pie Infantil

4. Estudio 1. Estudio Morfológico del Pie Infantil.

4.1. Introducción

El calzado se utiliza básicamente para proteger el pie y ayudar en su función, y para ello es fundamental que proporcione un buen ajuste (Janisse, 1992; Lake, 2000; Xiong et al., 2008). Existe una relación directa entre un buen ajuste del calzado y su comodidad (Xiong et al., 2008), y sólo se consigue si las dimensiones internas del calzado son similares a la forma del pie (Janisse, 1992; Mauch et al., 2009). En el calzado diseñado para niños, un buen ajuste es todavía más importante ya que puede influir en el desarrollo normal del pie, e incluso causar deformidades en la edad adulta (Rao y Joseph, 1992; Sachithanandam y Joseph, 1995; Echarri y Forriol, 2003; Sacco et al., 2015). Actualmente, en el calzado para niños, el procedimiento habitual es el escalado lineal a partir de hormas de pies de adultos, y a partir de esas hormas crear distintas tallas. Sin embargo, las proporciones del pie infantil no se corresponden con las del pie adulto (Mauch et al., 2009), lo que da lugar a un calzado que puede no estar adaptado de forma óptima.

Como hemos descrito anteriormente estudios previos sobre la morfología del pie han trabajado con muestras amplias de población infantil (Chen et al., 2009; Mauch et al., 2009). Sin embargo, en la

mayoría de estos estudios únicamente se analizó la evolución de la huella plantar o el tipo de pie siendo para la industria y el diseño de calzado estos datos de utilidad práctica limitada.

Por lo tanto, el objetivo general de este estudio fue analizar las diferencias con la edad en la morfología del pie (3D) en una muestra de población del centro de España durante la etapa escolar (6-12 años).

Como objetivo específico se planteó analizar el ajuste del calzado, realizando una comparación entre la talla real del zapato utilizada y la estimada a partir de la longitud del pie.

4.2. Metodología

4.2.1. Participantes

Participaron 497 niños y 534 niñas en edad escolar (6-12 años) con las características que aparecen en la Tabla 3.

| | Sexo | Peso (SD) | Estatura (SD) |
|----------------|--------------|---------------|---------------|
| 6 años | Niños (n=66) | 24.17 (3.93) | 1.20 (0.06) |
| | Niñas (n=67) | 23.52 (5.17) | 1.19 (0.06) |
| 7 años | Niños (n=76) | 27.57 (5.99) | 1.25 (0.06) |
| | Niñas (n=86) | 27.10 (5.89) | 1.26 (0.05) |
| 8 años | Niños (n=82) | 31.29 (6.83) | 1.32 (0.06) |
| | Niñas (n=88) | 30.77 (7.48) | 1.29 (0.05) |
| 9 años | Niños (n=79) | 36.53 (8.76) | 1.36 (0.06) |
| | Niñas (n=85) | 33.82 (6.08) | 1.36 (0.07) |
| 10 años | Niños (n=77) | 40.05 (8.26) | 1.43 (0.06) |
| | Niñas (n=96) | 39.31 (8.14) | 1.42 (0.08) |
| 11 años | Niños (n=98) | 41.76 (9.70) | 1.46 (0.08) |
| | Niñas (n=85) | 42.93 (10.49) | 1.47 (0.07) |
| 12 años | Niños (n=19) | 54.74 (13.60) | 1.54 (0.09) |
| | Niñas (n=27) | 46.22 (7.14) | 1.53 (0.05) |

Tabla 3. Características de los participantes en el estudio (Edad, sexo, peso y estatura).

Los padres/tutores de los niños eran informados del estudio previamente y debían firmar una carta de consentimiento para confirmar la participación de éstos. Eran motivos de exclusión haber sufrido alguna lesión reciente en cualquier parte de la extremidad inferior, trastornos en

los huesos del pie o infecciones. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de Castilla-La Mancha y cumplía con los requisitos de la Declaración de Helsinki (WMA, 2008).

4.2.2. Materiales e Instrumentos

Antes de llevar a cabo la toma de medidas todos los sujetos eran pesados y medidos con la ayuda de una báscula y tallímetro SECA (SECA Ltd., Alemania).

Todas las medidas fueron tomadas por dos operadores. Después eran escaneados ambos pies descalzos por separado con un Digitalizador de Pies 3D (Modelo ACN06/01 INESCOP, Elda, España), con cuatro proyectores láser y cuatro cámaras CCD. En cuanto a sus características técnicas podemos destacar:

- Número máximo de puntos de sección: 4000
- Distancia entre secciones: 1.32 mm.
- Precisión del modelo en superficie: 2 mm.
- Volumen de digitalización máxima:
 - Longitud (X): 420 mm.
 - Anchura (Y): 180 mm.
 - Altura (Z): 130 mm.
- Peso admisible por el vidrio de apoyo: 120 Kg.

Estudio 1. Estudio Morfológico del Pie Infantil

- Precisión: +/- 1 mm.
- Escaneado completo: < 12 s.
- Entorno: Windows XP.
- Exportación de datos: ASCII, STL.
- Peso: 30 Kg.
- Condiciones de utilización (Alimentación, potencia y frecuencia):
220 V, 400 W y 50 Hz.

Este digitalizador cumple con las normas y directivas: EN 60065 (aparatos electrónicos y con ellos relacionados de uso doméstico o general análogo), EN 50081-1 (equipos de medida y control de procesos industriales: residencial, comercial e industrial ligera), 93/68/CEE, 92/31/CEE, 89/336/CEE, 73/23/CEE.



Fig. 9. Digitalizador de Pies Modelo ACN06/01 (A&CN, España).

Finalmente, obteníamos la nube de puntos con la ayuda del software Foot 3D (INESCOP, España), el tiempo de reconstrucción era de 10 s.

Se realizó un estudio piloto con 20 sujetos para comparar las medidas obtenidas con el digitalizador 3D y las medidas tomadas directamente del pie con instrumentos de antropometría. Los resultados mostraron coeficientes de correlación de Pearson altos (desde $r = 0.87$ en la distancia desde el talón al 5º metatarsiano hasta $r = 0.97$ en la longitud del pie y el ancho de metatarsos). Además, el procedimiento demostró ser muy fiable, con coeficientes de correlación intraclase entre 0.944 y 0.999, obtenidos a partir de un estudio piloto de test-retest, indicando una alta reproducibilidad de las variables medidas con el digitalizador 3D. Los coeficientes de variación también mostraron una baja variabilidad en las mediciones (0.4 a 4.7%) (Jiménez-Ormeño et al., 2013). Los datos de reproducibilidad del escáner para las diferentes variables se presentan en la Tabla 4.

Estudio 1. Estudio Morfológico del Pie Infantil

| Variabes (mm) | ICC | Coefficiente de variación (%) |
|---|------------|--------------------------------------|
| Largo del Pie | 0.944 | 0.4 |
| Ancho de Ball | 0.981 | 1.6 |
| Altura de Ball | 0.983 | 4.7 |
| Distancia del talón al 1^{er} metatarsiano | 0.988 | 1.3 |
| Distancia del talón al 5^o metatarsiano | 0.988 | 3.4 |
| Ancho de Talón | 0.997 | 0.9 |
| Altura del Empeine | 0.999 | 1.8 |
| Distancia del Empeine | 0.936 | 1.3 |
| Perímetro de Ball | 1 | 1.3 |
| Perímetro de Entrada | 0.993 | 0.7 |
| Altura del Arco | 0.985 | 4.1 |

Tabla 4. Coeficientes de correlación intraclase (ICC) y Coeficientes de variación (%).

4.2.3. Procedimiento

Todas las medidas fueron tomadas en los propios centros escolares a los que nos desplazamos. Se tomaron medidas de ambos pies, peso y estatura.

Para la toma de medidas seguimos el siguiente protocolo:

1. En primer lugar el niño/a debía descalzarse y quitarse los calcetines de ambos pies, quedando los dos pies totalmente desnudos.
2. Entonces eran medidos y pesados.

3. Después se realizaba la digitalización de ambos pies. Primero se escaneaba el derecho y luego el izquierdo. Para ello el niño/a debía introducir el pie dentro del escáner, situándolo en el centro y algo adelantado. El otro pie se colocaba fuera del escáner sobre una banqueta a la misma altura que el otro pie.
4. Durante la digitalización el niño/a se mantenía quieto en apoyo bipodal con el peso corporal repartido entre ambos pies y con la mirada al frente. Debía existir cierta flexión dorsal en la rodilla para evitar sombras de los gemelos en la zona del tendón de Aquiles.

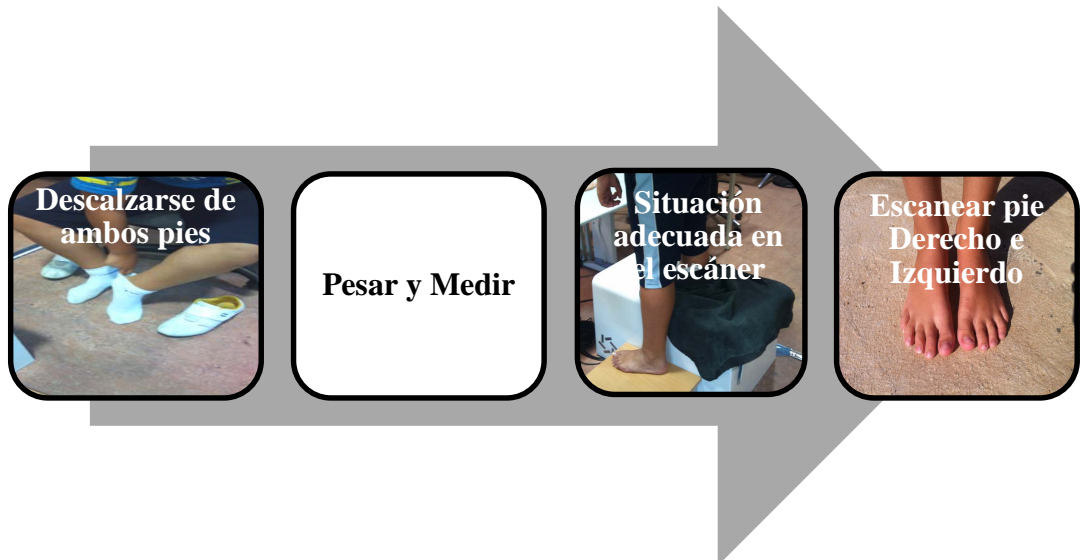


Fig. 10. Procedimiento del estudio.

4.2.4. Variables

Durante el estudio se tuvieron en cuenta la edad, peso, estatura y sexo a la hora de analizar las variables obtenidas por el escáner.

Con el escáner obtuvimos las medidas que aparecen en la Figura 11. El número de variables analizadas en este estudio es superior a la mayoría de los anteriores (Krauss et al., 2008; Mauch et al., 2008b; Chen et al., 2009). Todas estas variables fueron también normalizadas respecto al largo del pie.

Definición de las variables:

- **Largo del pie:** Distancia entre los puntos H y T proyectados sobre el eje x.
- **Distancia del talón al 5º metatarsiano:** Distancia entre el punto más retrasado del pie H y el 5º metatarsiano B2, sobre el eje x.
- **Distancia del talón al 1º metatarsiano:** Distancia entre el punto más retrasado del pie H y el 1º metatarsiano B1, sobre el eje x.
- **Distancia del empeine:** Distancia horizontal entre el punto del talón H y el punto del empeine I.
- **Ancho de talón:** Distancia obtenida entre los puntos más externos al intersectar un plano perpendicular al eje del pie a 15 % de distancia del largo del pie y 1 cm de alto.

- **Ancho de ball:** Distancia entre los puntos B1 y B2, sobre el eje xy.
- **Altura de ball:** Altura de ball en los puntos BC, sobre el eje z.
- **Altura del arco:** Distancia del punto más prominente del arco plantar E con el plano de tierra.
- **Altura del empeine:** Distancia entre el punto de talón I y el plano de tierra.
- **Perímetro de entrada:** Perímetro alrededor de la base del talón y alrededor de la parte superior del pie por encima del empeine, definida por los puntos I y H.
- **Perímetro de ball:** Curva definida por los puntos B1, B2 y BC.

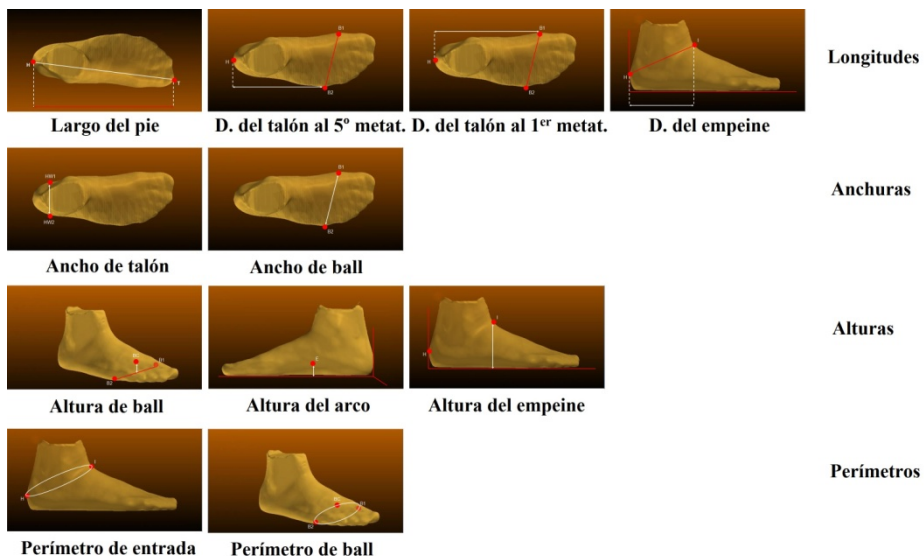


Fig. 11. Medidas Escáner.

Estudio 1. Estudio Morfológico del Pie Infantil

Además se tuvo en cuenta la talla del zapato que el niño llevaba en el momento de la toma de datos (talla real), y la talla estimada de acuerdo al Sistema de Escala Francesa (Fig. 12, Mauch et al., 2009) a partir del largo del pie obtenido con el Digitalizador de Pies 3D.

| Talla Zapato | |
|------------------------|--------------------------|
| Escala Francesa | Largo de Pie (mm) |
| 25 | > 150.3 - 156.5 |
| 26 | > 156.5 - 162.8 |
| 27 | > 162.8 - 169.1 |
| 28 | > 169.1 - 175.5 |
| 29 | > 175.5 - 181.9 |
| 30 | > 181.9 - 188.4 |
| 31 | > 188.4 - 194.9 |
| 32 | > 194.9 - 201.6 |
| 33 | > 201.6 - 208.3 |
| 34 | > 208.3 - 214.9 |
| 35 | > 214.9 - 221.6 |
| 36 | > 221.6 - 228.3 |
| 37 | > 228.3 - 234.9 |
| 38 | > 234.9 - 241.6 |
| 39 | > 241.6 - 248.3 |
| 40 | > 248.3 - 254.9 |
| 41 | > 254.9 - 261.6 |

Fig. 12. Talla Zapato. Sistema de Escala Francesa (Adaptada de Mauch et al., 2009).

4.2.5. Estadística

Se utilizó el software SPSS v. 19 para Windows® (Chicago, USA), tomando como nivel de significación $P < 0.05$. Se realizó un test de medidas repetidas para calcular la reproducibilidad de las medidas mediante el coeficiente de correlación intraclase y los coeficientes de variación. Los datos fueron filtrados variable por variable, eliminando para el análisis los valores extremos, que fueron definidos como aquellos que superaban 3 veces la amplitud intercuartil entre los percentiles 25 y 75. Tras el filtrado quedaron para el análisis 1031 niños/as (497 niños y 534 niñas, Tabla 3). Se utilizó la Kolmogorov-Smirnov para determinar si las variables seguían una distribución normal. A parte de las medidas absolutas también se analizaron las medidas normalizadas respecto al largo del pie. Se realizaron comparaciones entre sexos mediante pruebas *t* para muestras independientes. Los cambios en las medidas del pie con la edad para cada sexo se calcularon mediante un ANOVA de una vía. Cuando apareció algún efecto principal o interacción significativa se utilizó el post hoc de Bonferroni. También se compararon ambos pies (derecho- izquierdo) mediante pruebas *t* para muestras dependientes. La relación entre la estatura y la longitud del pie fue analizada con coeficientes de correlación de Pearson. Finalmente se comparó la talla

Estudio 1. Estudio Morfológico del Pie Infantil

del zapato del niño con la talla estimada a partir de la longitud del pie mediante pruebas t para muestras dependientes.

4.3. Resultados

4.3.1. Diferencias en la dimensiones del pie con la edad (medidas absolutas y normalizadas)

El análisis demostró que no había diferencias significativas entre ambos pies para la mayoría de las variables. Por lo tanto, para facilitar la interpretación de los datos al comparar edad y sexo, se utilizaron sólo la media de las medidas de ambos pies.

Las diferencias en el largo del pie (6-12 años) ocurrieron de forma lineal con la altura ($r = 0.905$ y 0.841 , $P < 0.001$, niños y niñas respectivamente, Figuras 13 y 14). Los aumentos medios anuales en el largo del pie fueron de 4.2% y 3.8% para niños y niñas respectivamente (Tabla 5).

Estudio 1. Estudio Morfológico del Pie Infantil

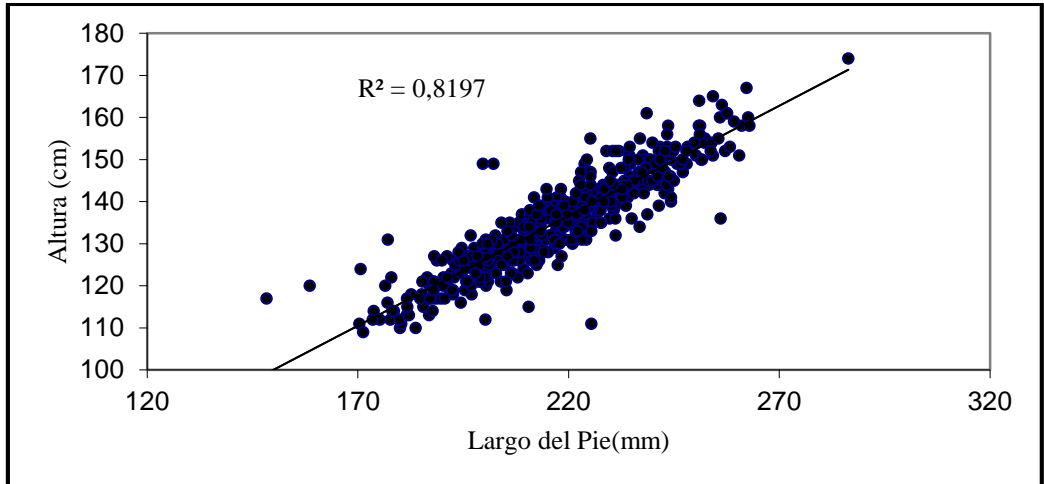


Fig. 13. Relación entre altura y largo del pie en niños.

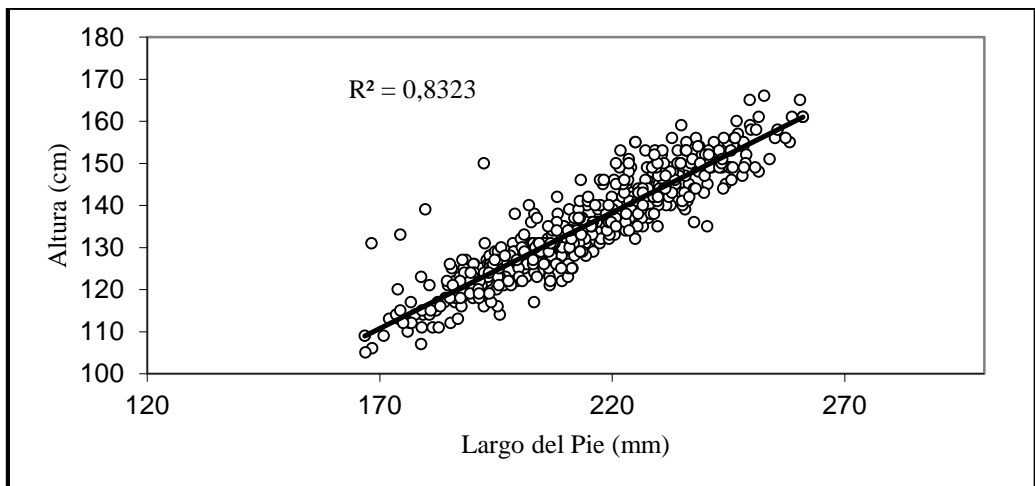


Fig. 14. Relación entre altura y largo del pie en niñas.

Como normal general no aparecieron diferencias significativas entre años consecutivos y sí entre intervalos de edad mayores a un año. Para la mayoría de las variables, el intervalo de edad en el que se produjeron menos diferencias fue entre 10-11 años.

Las variables que más diferencias mostraron fueron la altura del arco para ambos sexos, y la distancia y altura al empeine, para niños y niñas respectivamente. En la que menos diferencias aparecieron fue en la altura del ball para ambos sexos.

| Variables | 6-7 años | | 7-8 años | | 8-9 años | | 9-10 años | | 10-11 años | | 11-12 años | | 6-12 años | |
|--|----------|--------|----------|--------|----------|--------|-----------|--------|------------|-------|------------|---------|-----------|-------|
| | Niños | Niñas | Niños | Niñas | Niños | Niñas | Niños | Niñas | Niños | Niñas | Niños | Niñas | Niños | Niñas |
| Largo del Pie | 5.2*** | 5.0*** | 5.0*** | 5.0*** | 3.3* | 4.3*** | 5.2*** | 5.1*** | 2.0 | 3.0** | 4.6* | 1.9 | 28.1 | 25.0 |
| Ancho de Ball | 4.6* | 3.6 | 4.0* | 4.7** | 4.6** | 2.9 | 3.4 | 4.6*** | 2.4 | 2.8 | 6.4** | 4.2 | 28.2 | 25.0 |
| Altura de Ball | 3.0 | -1.9 | 4.8 | 5.8* | 3.0 | 0.7 | 3.4 | 3.7 | 0.4 | 0.6 | 5.7 | 4.2 | 22.0 | 13.7 |
| D. del talón al 1 ^{er} metat. | 3.9 | 5.9*** | 3.5 | 2.9 | 3.1 | 3.6 | 5.9*** | 4.9*** | 2.4 | 4.1** | 4.0 | -0.6 | 24.9 | 22.6 |
| D.del talón al 5 ^o metat. | 6.0* | 6.0** | 4.6 | 0.9 | 1.6 | 6.2*** | 5.4** | 3.7 | 1.2 | 2.2 | 4.0 | 0.5 | 25.1 | 20.7 |
| Ancho de Talón | 3.0 | 3.9 | 4.2 | 4.9** | 5.0** | 3.2 | 2.5 | 4.2* | 1.8 | 1.7 | 8.5*** | 6.9** | 27.7 | 27.4 |
| Altura del Empeine | 2.8 | 7.3** | 8.9*** | 5.3* | 3.7 | 3.3 | 3.0 | 5.3** | 4.7* | 0.3 | 1.0 | 5.7* | 26.4 | 30.3 |
| Distancia del Empeine | 6.6** | 2.9 | 2.1 | 0.5 | 4.8* | 4.2 | 3.7 | 6.4*** | 1.1 | 1.6 | 8.4** | 3.9 | 29.6 | 21.1 |
| Perímetro de Ball | 4.7* | 4.3 | 4.1 | 5.2** | 5.5*** | 2.5 | 2.3 | 4.9*** | 2.4 | 2.0 | 6.0* | 4.9* | 27.7 | 26.1 |
| Perímetro de Entrada | 5.0** | 4.7 | 2.8 | 3.4 | 4.0* | 3.0 | 4.9** | 5.8*** | 0.9 | 0.9 | 6.1** | 2.9 | 25.9 | 22.6 |
| Altura del Arco | 2.6 | 8.0 | 12.8** | 8.8 | 7.5 | 4.9 | -2.1 | -1.3 | 5.2 | -1.6 | 2.7 | 16.4*** | 31.6 | 39.3 |

Tabla 5. Diferencias significativas entre años consecutivos en el mismo sexo. * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.

Además de los valores absolutos también analizamos las medidas normalizadas respecto al largo del pie, donde la mayoría de las diferencias anteriormente encontradas desaparecían. Sólo existían diferencias entre las niñas de 6 y 7 (altura de ball) años con las de edades superiores a 10 años (altura del arco).

4.3.2. Diferencias entre niños y niñas (medidas absolutas y normalizadas)

Las edades en las que aparecían la mayoría de las diferencias entre niños y niñas fueron entre los 8-9 años y 9-10 años (Tabla 6). Estos datos nos sugieren que es a partir de esta edad cuando la morfología de los pies de niños y niñas comienza a ser significativamente diferente. Sin embargo, si analizamos las medidas normalizadas respecto al largo del pie la mayoría de las diferencias desaparecían (con exclusión de una pequeña minoría principalmente a los 11 años).

Teniendo en cuenta las variables analizadas, las que presentan mayores diferencias entre niños y niñas fueron el ancho de ball, el perímetro del ball y la altura del empeine.

Sin embargo si analizamos las medidas normalizadas respecto al largo del pie, la mayoría de las diferencias desaparecían, manteniéndose algunas diferencias en el ancho de ball y el perímetro de ball (Tabla 6).

Estudio 1. Estudio Morfológico del Pie Infantil

| Variables | 6 años | | 7 años | | 8 años | | 9 años | | 10 años | | 11 años | |
|--|--------------|----------------|---------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|----------------|--------------|-----------------|
| | Niños (SD) | Niñas (SD) | Niños (SD) | Niñas (SD) | Niños (SD) | Niñas (SD) | Niños (SD) | Niñas (SD) | Niños (SD) | Niñas (SD) | Niños (SD) | Niñas (SD) |
| Largo del Pie | 191.6 (14.3) | 189.5 (11.8) | 201.5 (11.4) | 198.9 (10.8) | 211.7 (10.6) | 205.9*** (10.8) | 218.7 (12.8) | 214.8 (14.8) | 230.1 (12.3) | 225.8* (13.9) | 234.6 (14.1) | 232.4 (12.2) |
| Ancho de Ball | 74.9 (4.5) | 72.6** (4.8) | 78.4 (6.0) | 75.2*** (5.9) | 81.5 (6.1) | 78.7** (6.1) | 85.3 (6.6) | 81.0** (5.2) | 88.2 (6.6) | 84.7*** (6.5) | 90.3 (7.4) | 87.1** (7.1) |
| Altura de Ball | 26.6 (2.6) | 26.9 (3.3) | 27.4 (3.2) | 26.4* (3.0) | 28.7 (3.2) | 27.9 (3.2) | 29.6 (3.7) | 28.1** (3.1) | 30.6 (3.8) | 29.2* (3.2) | 30.7 (3.4) | 29.3** (3.4) |
| D. del talón al 1 ^{er} metat. | 146.6 (11.2) | 141.1** (11.8) | 152.2 (12.5) | 149.5 (11.1) | 157.6 (14.8) | 153.8 (12.0) | 162.4 (13.7) | 159.3 (14.2) | 172.0 (15.1) | 167.2* (12.8) | 176.1 (14.7) | 174.1 (12.4) |
| D. del talón al 5 ^o metat. | 130.0 (13.2) | 129.5 (12.1) | 137.8 (13.3) | 137.2 (12.9) | 144.2 (14.3) | 138.4** (13.0) | 146.6 (14.1) | 146.9 (14.0) | 154.5 (13.6) | 152.3 (14.2) | 156.3 (13.9) | 155.6 (12.9) |
| Absolutas (mm) | | | | | | | | | | | | |
| Ancho de Talón | 45.0 (4.0) | 43.5* (4.1) | 46.3 (4.4) | 45.2 (3.9) | 48.3 (3.8) | 47.4 (4.1) | 50.7 (4.4) | 49.0** (4.0) | 52.0 (3.9) | 51.0 (4.4) | 53.0 (4.0) | 51.9 (4.5) |
| Altura del Empeine | 55.1 (6.8) | 51.8* (6.3) | 56.6 (6.1) | 55.6 (5.5) | 61.6 (6.7) | 58.5*** (5.5) | 63.9 (6.0) | 60.5*** (5.7) | 65.8 (5.5) | 63.7* (5.6) | 68.9 (6.2) | 63.9*** (6.0) |
| Distancia del Empeine | 80.4 (9.4) | 82.4 (10.1) | 85.7 (8.8) | 84.8 (9.0) | 87.5 (7.3) | 85.3 (7.4) | 91.7 (7.1) | 88.9* (8.4) | 95.1 (7.6) | 94.6 (9.4) | 96.2 (8.5) | 96.0 (10.0) |
| Perímetro de Ball | 182 (11.3) | 175.3** (13.2) | 190.5 (14.9) | 182.8*** (14.6) | 198.3 (15.3) | 192.3* (15.3) | 209.3 (18.0) | 197.0*** (13.1) | 214.2 (16.8) | 206.8** (16.9) | 219.3 (17.5) | 210.9*** (17.4) |
| Perímetro de Entrada | 244.9 (20.6) | 238.4 (35.2) | 257.19 (22.2) | 249.5* (20.2) | 264.2 (16.8) | 258.1* (19.9) | 274.7 (17.1) | 265.9** (20.9) | 288.1 (20.2) | 281.3* (21.6) | 290.6 (22.0) | 283.9* (23.5) |
| Altura del Arco | 16.5 (3.8) | 16.6 (3.6) | 16.9 (3.5) | 17.9 (3.2) | 19.1 (3.9) | 19.4 (3.6) | 20.5 (3.5) | 20.4 (3.5) | 20.1 (3.7) | 20.1 (3.6) | 21.1 (3.2) | 19.8* (4.0) |
| Ancho de Ball | 39.4 (2.6) | 38.4* (2.5) | 38.9 (2.4) | 37.8** (2.6) | 38.5 (2.6) | 38.2 (2.2) | 39.1 (3.1) | 37.8** (2.6) | 38.4 (2.3) | 37.6* (2.4) | 38.5 (2.5) | 37.5** (2.3) |
| Altura de Ball | 13.9 (1.4) | 14.2 (1.8) | 13.6 (1.4) | 13.3 (1.4) | 13.6 (1.3) | 13.6 (1.5) | 13.6 (1.7) | 13.1 (1.5) | 13.3 (1.6) | 12.9 (1.3) | 13.1 (1.3) | 12.6* (1.3) |
| D. del talón al 1 ^{er} metat. | 76.5 (3.2) | 74.5** (4.9) | 75.6 (5.3) | 75.3 (4.0) | 74.5 (5.8) | 74.7 (4.0) | 74.3 (4.7) | 74.2 (4.6) | 74.8 (5.4) | 74.1 (4.2) | 75.1 (4.5) | 74.9 (4.2) |
| D. del talón al 5 ^o metat. | 67.9 (5.3) | 68.3 (4.9) | 68.4 (5.7) | 69.1 (5.1) | 68.1 (5.6) | 67.2 (4.6) | 67.0 (5.4) | 68.5 (4.9) | 67.2 (5.2) | 67.5 (4.4) | 66.6 (4.2) | 67.0 (5.1) |
| Ancho de Talón | 23.6 (1.9) | 23.1 (1.9) | 23.0 (1.9) | 22.8 (1.7) | 22.9 (1.7) | 23.1 (1.8) | 23.2 (1.9) | 22.8 (1.8) | 22.6 (1.5) | 22.6 (1.6) | 22.6 (1.7) | 22.4 (1.6) |
| Altura del Empeine | 28.8 (3.6) | 27.4* (3.3) | 28.1 (2.7) | 28.0 (2.7) | 29.1 (2.8) | 28.5 (2.6) | 29.3 (2.6) | 28.2* (2.9) | 28.6 (2.4) | 28.3 (2.3) | 29.4 (2.5) | 27.5*** (2.6) |
| Distancia del Empeine | 42.2 (4.4) | 43.5 (4.8) | 42.6 (4.0) | 42.7 (3.8) | 41.4 (3.4) | 41.4 (2.8) | 42.0 (2.6) | 41.4 (3.4) | 41.4 (2.6) | 41.9 (3.5) | 41.0 (2.8) | 41.4 (3.3) |
| Perímetro de Ball | 95.6 (6.6) | 92.9* (5.8) | 94.7 (5.8) | 92.0** (6.4) | 93.8 (6.5) | 93.4 (5.9) | 95.9 (8.2) | 92.0*** (6.6) | 93.2 (5.9) | 91.7 (6.2) | 93.5 (6.0) | 90.9** (5.8) |
| Perímetro de Entrada | 128.5 (9.1) | 126.0 (17.5) | 127.7 (8.9) | 125.5 (7.9) | 124.8 (5.9) | 125.4 (7.4) | 125.8 (6.9) | 123.9 (7.6) | 125.3 (6.5) | 124.7 (7.9) | 123.9 (6.2) | 122.2 (6.6) |
| Altura del Arco | 8.6 (2.1) | 8.8 (2.0) | 8.4 (1.7) | 9.1* (1.6) | 9.0 (1.8) | 9.5 (1.7) | 9.4 (1.7) | 9.5 (1.7) | 8.8 (1.7) | 8.9 (1.7) | 9.0 (1.4) | 8.6* (1.8) |

Tabla 6. Diferencias entre niños y niñas (medidas absolutas y normalizadas). * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.

4.3.3. Ajuste del calzado

Finalmente, también se llevó a cabo una comparación entre la talla real del zapato y la talla estimada a partir del largo del pie, teniendo en cuenta el Sistema de Escala Francesa (Fig. 12).

En estos resultados observamos que no existían diferencias significativas en niños, mientras que si había algunas diferencias significativas en niñas. Se encontraron diferencias en los dos pies en las edades de 7, 8 y 11 años, en el pie derecho a los 6 años y en el pie izquierdo a los 10 años.

Por lo tanto, estos resultados demuestran que las niñas de esta población llevaban zapatos que eran más pequeños de lo que debían. (Tabla 7).

| Sexo | 6 Años | | 7 Años | | 8 Años | | 9 Años | | 10 Años | | 11 Años | | 12 Años | |
|-------|------------|-------------|------------|---------------|------------|---------------|------------|------------|------------|-------------|------------|---------------|------------|------------|
| | Talla (SD) | Estim (SD) | Talla (SD) | Estim (SD) | Talla (SD) | Estim (SD) | Talla (SD) | Estim (SD) | Talla (SD) | Estim (SD) | Talla (SD) | Estim (SD) | Talla (SD) | Estim (SD) |
| Niños | 30.9 (1.8) | 30.9 (2.4) | 32.6 (1.7) | 32.6 (1.8) | 33.7 (1.8) | 33.9 (1.7) | 35.2 (1.9) | 35.0 (2.0) | 36.9 (1.7) | 36.9 (1.8) | 37.5 (2.1) | 37.4 (2.2) | 38.6 (1.3) | 38.7 (1.9) |
| Niñas | 30.5 (1.6) | 30.8* (1.8) | 31.7 (1.7) | 32.1*** (1.7) | 32.7 (1.9) | 33.1** (1.8) | 34.3 (1.9) | 34.3 (2.4) | 36.0 (2.2) | 36.1 (2.1) | 36.4 (1.7) | 37.2*** (1.8) | 37.6 (1.3) | 37.8 (1.6) |
| Niños | 30.9 (1.8) | 30.9 (2.2) | 32.6 (1.7) | 32.6 (1.8) | 33.7 (1.8) | 33.9 (1.6) | 35.2 (1.9) | 35.0 (1.9) | 36.9 (1.7) | 36.9 (1.8) | 37.5 (2.1) | 37.5 (2.1) | 38.6 (1.3) | 38.7 (1.7) |
| Izq | 30.5 (1.6) | 30.8 (1.9) | 31.7 (1.7) | 32.1* (1.7) | 32.7 (1.9) | 33.1*** (1.7) | 34.3 (1.9) | 34.6 (2.2) | 36.0 (2.2) | 36.3* (2.1) | 36.4 (1.7) | 37.0*** (2.0) | 37.6 (1.3) | 37.8 (1.6) |

Tabla 7. Der, Derecho; Izq, Izquierdo. Diferencias entre la Talla Real y la Talla Estimada (Estim). * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.

4.4. Discusión

El propósito de este estudio fue crear una base de datos sobre la evolución de la morfología del pie infantil describiendo las dimensiones globales del pie en la etapa escolar y determinando si estas dimensiones difieren entre chicos y chicas.

Los resultados en este estudio nos muestran, por primera vez, las diferencias en la morfología del pie en niños en edad escolar de España teniendo en cuenta el sexo y la edad. Las dimensiones del pie aumentan entre un 3-6% de media al año en todas las variables (Tabla 5) y el largo del pie empieza a diferenciarse entre niños y niñas a la edad de 8 y 10 años.

4.4.1. Diferencias en la dimensiones del pie con la edad (medidas absolutas y normalizadas)

En cuanto al desarrollo del pie, los principales resultados de este estudio demostraron que, tanto en niños como en niñas, no hay diferencias entre el pie derecho e izquierdo. Estos resultados son similares a los obtenidos en previos estudios en los cuales se observan patrones parecidos para el pie derecho e izquierdo (Cheng et al., 1997; Manna et al., 2001; Leung et al., 2005; Xiong et al. 2009). Sólo en el estudio de Chen et al. (2009) se

identificaron diferencias entre ambos pies, siendo el pie derecho más grande. Sin embargo, los valores absolutos no fueron utilizados, y solo los datos del pie derecho fueron analizados. Los cambios que ocurren en la morfología del pie en niños durante edad escolar se suceden de una forma progresiva porque, aparte del largo del pie, normalmente no hay diferencias significativas entre años consecutivos. Las diferencias más pequeñas para todas las variables ocurren en el intervalo de edad entre 10 y 11 años. Estos resultados coinciden con los observados en estudios anteriores que mostraban que la edad crítica en el crecimiento del pie es a los 6 años y que se estabiliza a partir de los 12 años (Cheng et al, 1997; García-Rodríguez et al., 1999; El et al., 2006).

Una vez más, los resultados coinciden con estudios previos, como el de Cheng et al. (1997) en el cual analizaron, entre otras cosas, los cambios en la longitud y anchura del pie aumentando de forma similar a nuestro estudio (una media de 8 a 10 mm por año en ambos sexos a partir de los 6 hasta los 12 años). En el estudio de Kouchi (1998) consideraron factores que pueden influir en el ajuste del calzado y, como en nuestro estudio, tuvieron en cuenta un gran número de variables. Los resultados de esta investigación muestran aumentos en la longitud del pie, el ancho del pie, el ancho de talón, las distancias del talón al primer y quinto metatarsiano de 6 a 12 años similares a los obtenidos en el presente estudio. Leung et al. (2005) analizó el efecto de la edad en la

longitud del pie entre los 4-18 años, y fue visto un cambio gradual en etapa de 6-12 años, muy similar a lo encontrado en nuestro estudio. Müller et al. (2012) observó en su estudio que la longitud y ancho del pie aumentaban con la edad de forma similar que en el presente estudio.

En cuanto a las diferencias en el largo del pie (6-12 años) ocurrieron de forma lineal con la altura. Varios estudios han demostrado una correlación entre la estatura del sujeto y su longitud del pie (Ozden et al., 2005; Reel et al., 2001; Fessler et al., 2005). Morrison et al. (2009) mostró que se podía predecir la altura del navicular con la estatura.

Finalmente, se observó que la altura del arco mostró el mayor aumento con la edad en niños y niñas, sin embargo es una de las variables que muestra menos diferencias basadas en el sexo. En el artículo de Chyn Chu et al. (1995) se observa una correlación entre la altura del arco y el AI. Estos resultados pueden estar relacionados con los de anteriores estudios que han mostrado como la prevalencia de pies planos disminuye con el aumento de la edad (Rao & Joseph, 1992; García-Rodríguez et al., 1999; Echaría & Forriol, 2003; Leung et al., 2005; Revenga-Giertych & Bulo-Concellón, 2005; Stavlas et al., 2005; El et al., 2006; Mauch et al., 2008b; Chen et al., 2009; Bosch et al., 2010; Chang et al., 2010; Cetin et al., 2011; Chen et al., 2011b; Müller et al., 2012; Wozniacka et al., 2013).

Además de las medidas absolutas, las medidas normalizadas respecto al largo del pie fueron analizadas, y se observó en los resultados, que la mayoría de las diferencias desaparecían.

4.4.2. Diferencias entre niños y niñas (medidas absolutas y normalizadas)

En cuanto a la comparación llevada a cabo entre niños y niñas, podemos decir que la evolución del pie es similar, pero que entre los 8 y 10 años los pies de niños y niñas comienzan a diferenciarse. Estos resultados son similares a los de estudios previos. Cheng et al. (1997), muestra que los cambios en la longitud y anchura del pie de los niños es similar al de las niñas hasta los 3 años, y que sin embargo a partir de esta edad el crecimiento en niños es más rápido. Kouchi (1998) observa diferencias significativas entre niños y niñas, siendo los pies de niños más grandes para la mayoría de las variables a partir de los 12 años. Leung et al. (2005), también se ve como los pies de niños y niñas difieren en su longitud a partir de los 12 años. Morrison et al. (2009) con una muestra de 9 a 12 años dice que el diformismo entre niños y niñas se hace evidente a la edad de 12 años, al comparar la longitud del pie, anchura del antepié y la altura del navicular. Finalmente, Bosch et al. (2010) realiza un estudio longitudinal con participantes de 1 a 10 años. Se

observan diferencias significativas entre niños y niñas a los 9 años, pero los resultados respecto a la longitud del pie nos son concluyentes en esta etapa.

En nuestro estudio aparecieron diferencias significativas entre niños y niñas de la misma edad (Tabla 6). Esto nos muestra que los pies de niños y niñas no son iguales, al igual que en estudios anteriores. Mickel et al. (2008) describen que los pies de niños son significativamente más grandes en longitud del pie, longitud de ball, circunferencia del empeine y circunferencia de ball. En el estudio de Chen et al. (2009), existen diferencias significativas entre niños y niñas en 11 de las 15 variables analizadas, siendo todas ellas mayores en niños excepto la altura el navicular; y una vez más, como en nuestro estudio, no existen diferencias para la longitud del pie. Además esta diferencia se mantiene en el futuro como se ve en los estudios realizados con población adulta. Manna et al. (2001), cuya muestra tenía entre los 20 y 35 años, aparecían diferencias entre hombres y mujeres en todas las variables estudiadas. Krauss et al. (2008) demuestra que los pies de hombres y mujeres (con 30 y 28 años de media respectivamente) no son diferentes en las longitudes, sin embargo sí existen diferencias significativas para las anchuras y alturas, al igual que en nuestro estudio. Xiong et al. (2009) encontró diferencias significativas entre hombres y

mujeres con una media de edad de 21 años; siendo más grandes en longitud, anchura y circunferencia de ball en hombres.

Sin embargo al normalizar las variables respecto al largo pie vemos que la mayoría de las diferencias desaparecen, manteniéndose únicamente diferencias en el ancho y perímetro de ball. Estos resultados refuerzan que los pies de niños y niñas son diferentes en tamaño, pero sus proporciones son similares. En estudios anteriores se ve también como la mayoría de las diferencias entre niños y niñas desaparecen al expresar las variables en porcentaje de la longitud del pie (Kouchi, 1998; Mickle et al., 2008).

4.4.3. Ajuste del calzado

En nuestros resultados observamos que no existían diferencias significativas en niños entre la talla real y la talla estimada, pero si en niñas. Mostrando que las niñas de esta población llevaban zapatos demasiado pequeños para la longitud de su pie, al igual que se vio en el estudio realizado con mujeres por Frey et al. (1993). Sin embargo Byrne & Curran (1998) no encontró diferencias en el ajuste del calzado teniendo en cuenta la edad y el sexo.

La bibliografía ha demostrado que el uso de calzado inapropiado, especialmente en mujeres, puede causar dolor en el pie y deformidades

(Janisse, 1992; Krauss et al., 2008). Las niñas al tener pies más estrechos (Cheng et al., 1997; Manna et al., 2001; Krauss et al., 2008; Xiong et al., 2008; Chen et al., 2009; Morrison et al., 2009), como muestran nuestros resultados, se pueden ver obligadas a utilizar un número menor para garantizar un buen ajuste, lo que significa que les vendrían bien de anchura pero probablemente demasiado pequeños de longitud (Mauch et al., 2009). La mayoría de los problemas de ajuste son generalmente de anchura porque habitualmente los sistemas de diseño de zapatos se basan principalmente sólo en la longitud. La determinación de las medidas adecuadas para la anchura o el análisis 3D de la forma del pie pueden ayudar a solucionar algunos de los problemas del ajuste del calzado (Witana et al., 2004).

Por lo tanto, estos resultados son importantes para el diseño y fabricación de calzado, ya que en estudios anteriores se ha visto que se deben tener en cuenta las diferencias de sexo (Manna et al., 2001; Krauss et al., 2008) y la evolución del pie (Mauch et al., 2009) debiendo tener en cuenta, no solo las medidas absolutas sino también las relativas (Krauss et al., 2008).

4.5. Conclusiones

- Los pies de niños y niñas del centro de España evolucionan al mismo ritmo que en otras poblaciones; produciéndose un aumento del 3-5% por año en todas las variables.
- Las medidas del pie de niños y niñas comienzan a diferenciarse a la edad de 8 y 10 años, lo que implica que a partir de esa edad necesitan un calzado diseñado con hormas específicas para cada sexo. Las niñas de la muestra estudiada utilizaban calzado demasiado pequeño para su longitud del pie, probablemente porque buscaban un mejor ajuste en anchura.

Estudio 2. Efectos del Entrenamiento de Fútbol en Diferentes Superficies sobre la Morfología del Pie

5. Estudio 2. Efectos del Entrenamiento de Fútbol en Diferentes Superficies sobre la Morfología del Pie.

5.1. Introducción

La creciente implantación de césped artificial en los últimos años ha incitado a realizar estudios sobre las características mecánicas de esta superficie frente a otras. El objetivo de estos estudios es mejorar la aceptación del césped artificial como suplente del césped natural y los campos de tierra. La mayoría de estos estudios han analizado la incidencia de lesiones y sus causas en las diferentes superficies con la práctica de actividad física.

En primer lugar, son bastantes los estudios que han comparado césped natural y artificial, estudiando las lesiones que se producen en hombres y mujeres durante los entrenamientos o partidos de fútbol (Fuller et al., 2007a; Fuller et al., 2007b; Steffen et al., 2007; Aoki et al., 2010; Meyers, 2010; Ekstrand et al., 2011; Soligard & Andersen, 2012; Ekstrand et al., 2013). En estos trabajos no se mostraron diferencias significativas entre superficies en ambos sexos. Igualmente, existen estudios que han analizado las diferencias en las presiones plantares o en el rendimiento al ejecutar gestos técnicos específicos de diferentes deportes (Ford et al., 2006; Girard et al., 2007; Andersson et al., 2008)

observándose diferencias para algunos de los gestos, tal y como se ha especificado en la Introducción.

También se han llevado a cabo comparaciones entre césped artificial y tierra. En sus resultados sí se mostraron diferencias en la incidencia y tipo de lesiones, existiendo un mayor porcentaje de lesiones en tierra pero de gravedad leve (Kordi et al., 2011), aunque en este estudio sólo se analizaron a hombres.

En segundo lugar, hay que destacar que sí existen estudios que han demostrado cambios crónicos en la morfología del pie según el tipo de deporte realizado (Soper et al., 2001; Aydog et al., 2004; Aydog et al., 2005a; Aydog et al., 2005b; López et al., 2005; Grabara, 2008; Inoubli, 2010; Ozer & Barut, 2012). No obstante, como ya hemos visto en la Introducción, en la mayoría de ellos se ha analizado únicamente la curvatura del arco, y no el pie en su totalidad.

Por lo tanto, este trabajo surge de la escasez de estudios que observen los cambios producidos de manera crónica en la morfología del pie debido a la práctica de fútbol en césped artificial o tierra, siendo el objetivo general analizar la morfología del pie en una muestra de niños practicantes de fútbol en distintas superficies y detectar la influencia de la práctica deportiva en niños y niñas al compararlos con una muestra de escolares emparejados por edad y peso.

Estudio 2. Efectos del Entrenamiento de Fútbol en Diferentes Superficies sobre la Morfología del Pie

Como objetivo específico se planteó analizar el ajuste del calzado en las muestras analizadas, realizando una comparación entre la talla real del zapato utilizada y la estimada a partir de la longitud del pie.

5.2. Metodología

5.2.1. Participantes

Participaron de forma voluntaria un total de 43 niños sanos jugadores de fútbol que fueron divididos en grupos de acuerdo al sexo y al tipo de superficie sobre la que entrenaban. Por lo tanto, contamos con 17 niños y 12 niñas jugadores de fútbol en césped artificial de tercera generación con arena y relleno de caucho (CA) y 14 niños jugadores de fútbol en campo de tierra (T) (10 y 11 años), todos los campos tenía menos de cinco años.

Las características mecánicas de ambas superficies se describen en la Tabla 8. La deformación vertical representa la estabilidad de los atletas en la superficie, siendo considerado un indicador de protección y comodidad. El porcentaje de absorción del choque es un indicador de la función protectora de la superficie de juego. Y el retorno de la energía refleja el agarre de zapatos deportivos en la superficie de juego durante un movimiento de giro o rotación (Plaza-Carmona et al., 2013).

Estudio 2. Efectos del Entrenamiento de Fútbol en Diferentes Superficies sobre la Morfología del Pie

| | Deformación Vertical (mm) | Absorción del Choque (%) | Retorno de Energía (%) |
|-------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Campo de Tierra (T) | 0.2 | 21.1 | 71.95 |
| Campo Césped Artificial (CA) | 6.2 | 64.2 | 39.1 |

Tabla 8. Características mecánicas de las superficies de juego (Modificada de Plaza-Carmona et al., 2013).

Todos los participantes contaban con una media de tres horas de entrenamiento semanales más el partido del fin de semana y llevaban al menos un año jugando al fútbol. Normalmente, la sesión de entrenamiento era de 1 h (10 min de estiramientos y juegos de intensidad baja; 10-25 min de ejercicios de técnica de fútbol: acciones de golpeo, regates, saltos y correr acelerando y desacelerando rápidamente; y 20-30 min de partido).

Además participaron 32 niños y 15 niñas (10 y 11 años) de una población escolar del centro de España. En la Tabla 9 se detallan las características de la muestra.

Morfología del Pie Infantil. Evolución y Ejercicio Físico

| | Edad (años) | Masa (kg) | Estatura (m) | Años Entrenamiento |
|---------------------------|--------------------|------------------|---------------------|---------------------------|
| Niños CA (n=17) | 10.12 (0.33) | 38.88 (10.38) | 1.43 (0.06) | 4.59 (0.33) |
| Niñas CA (n=12) | 10.92 (0.29) | 38.04 (8.17) | 1.46 (0.07) | 3.67 (1.72) |
| Niños T (n=14) | 10.36 (0.50) | 40.46 (8.30) | 1.44 (0.08) | 4.43 (1.01) |
| Niños (n=32) | 10.25 (0.44) | 38.75 (8.23) | 1.43 (0.07) | - |
| Niñas (n=15) | 10.87 (0.35) | 45.67 (12.03) | 1.48 (0.06) | - |

Tabla 9. Características de los participantes en el estudio (Edad, peso, estatura y años de entrenamiento).

Al igual que en el estudio anterior, los padres/tutores de los niños fueron informados previamente y debían firmar una carta de consentimiento para confirmar la participación de éstos en el estudio. Eran motivos de exclusión haber sufrido alguna lesión reciente en cualquier parte de la extremidad inferior, trastornos en los huesos del pie o infecciones. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de Castilla-La Mancha y cumplía con los requisitos de la Declaración de Helsinki (WMA, 2008).

Estudio 2. Efectos del Entrenamiento de Fútbol en Diferentes Superficies sobre la Morfología del Pie

5.2.2. Material e Instrumentos

Como en el Estudio 1, antes de llevar a cabo la toma de medidas, todos los sujetos eran pesados y medidos con la ayuda de una báscula y tallímetro SECA (SECA Ltd., Alemania).

Igualmente, se digitalizaron ambos pies, tomando las medidas de cada uno descalzo por separado con la ayuda del mismo escáner de pies 3D (Digitalizador de Pies Modelo ACN06/01, Elda, España) y el mismo software para el procesado de la nube de puntos obtenida, Foot 3D (INESCOP, España).

5.2.3. Procedimiento

Se siguió el mismo procedimiento que en el primer estudio, pero en este caso los datos fueron recogidos en el Laboratorio de Biomecánica Humana y Deportiva de la Universidad de Castilla- La Mancha.

5.2.4. Variables

Durante el estudio se tuvieron en cuenta la edad, peso, estatura y sexo a la hora de analizar las variables obtenidas por el escáner como en el estudio previo, además de la superficie de juego en este caso.

Con el escáner obtuvimos las mismas medidas que aparecen en la Figura 11 del Estudio 1: largo del pie, distancia del talón al 5º metatarsiano, distancia del talón al 1º metatarsiano, distancia del empeine, ancho de talón, ancho de ball, altura de ball, altura del arco, altura del empeine, perímetro de entrada y perímetro de ball. Todas estas variables fueron también normalizadas respecto al largo del pie.

5.2.5. Estadística

Se utilizó el software SPSS v. 19 para Windows® (Chicago, USA), tomando como nivel de significación $P < 0.05$. Se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para determinar si las variables seguían una distribución normal. Ambos pies (derecho-izquierdo) fueron comparados mediante pruebas *t* para muestras independientes. Se realizaron comparaciones entre niños jugadores en césped artificial y tierra, entre niños jugadores de fútbol y niños escolares y entre niñas jugadoras de fútbol y niñas escolares mediante pruebas *t* para muestras independientes. Finalmente se comparó la talla del zapato del niño con la talla estimada a partir de la longitud del pie mediante pruebas *t* para muestras relacionadas.

5.3. Resultados

En primer lugar se llevó a cabo una comparación del pie derecho e izquierdo, revelando que no había diferencias entre ambos para la mayoría de las variables. Estos resultados son similares a los obtenidos en estudios previos en los cuales se observaron patrones parecidos para el pie derecho e izquierdo en población escolar (Cheng et al., 1997; Manna et al., 2001; Leung et al., 2005; Xiong et al. 2009; Delgado-Abellán., 2014) y también en futbolistas (López et al., 2005; Soper et al., 2001). En el estudio realizado por Yamamer et al. (2011) con futbolistas adultos sí aparecieron diferencias significativas para la mayoría de las variables al comparar ambos pies en el grupo cuyo pie dominante era el derecho, sin embargo en el grupo de pie izquierdo como dominante solo se encontró diferencias significativas en una variable (ancho del pie). Por lo tanto, para simplificar el análisis de los datos se decidió utilizar la media de ambos pies, como en el primer estudio.

5.3.1. Análisis Niños

Al comparar el grupo CA de niños con el grupo T solamente aparecieron diferencias significativas en la variable distancia del talón al 1^{er} metatarso ($P < 0.05$), sin existir diferencias entre la edad, peso, estatura y

años jugando entre ambos grupos. Por lo tanto, decidimos unir ambos grupos para el resto del estudio.

| | Edad (años) | Masa (kg) | Estatura (m) | Años Entrenamiento |
|------------------------------|--------------------|------------------|---------------------|-------------------------------|
| Niños CA+T (n=31) | 10.2 (0.4) | 39.6 (9.4) | 1.44 (0.07) | 4.5 (0.8) |

Tabla 10. Media del grupo CA + T (Edad, peso, estatura y años de entrenamiento).

Entonces se comparó la muestra de niños que jugaban al fútbol (CA+T) con la muestra de niños escolares, mostrándose diferencias significativas en la distancia del talón al 5º metatarso, distancia del empeine, altura escafoides y perímetro de ball (Figura 15). Igualmente no había diferencias entre ambos grupos en la edad, peso y estatura.

Estudio 2. Efectos del Entrenamiento de Fútbol en Diferentes Superficies sobre la Morfología del Pie

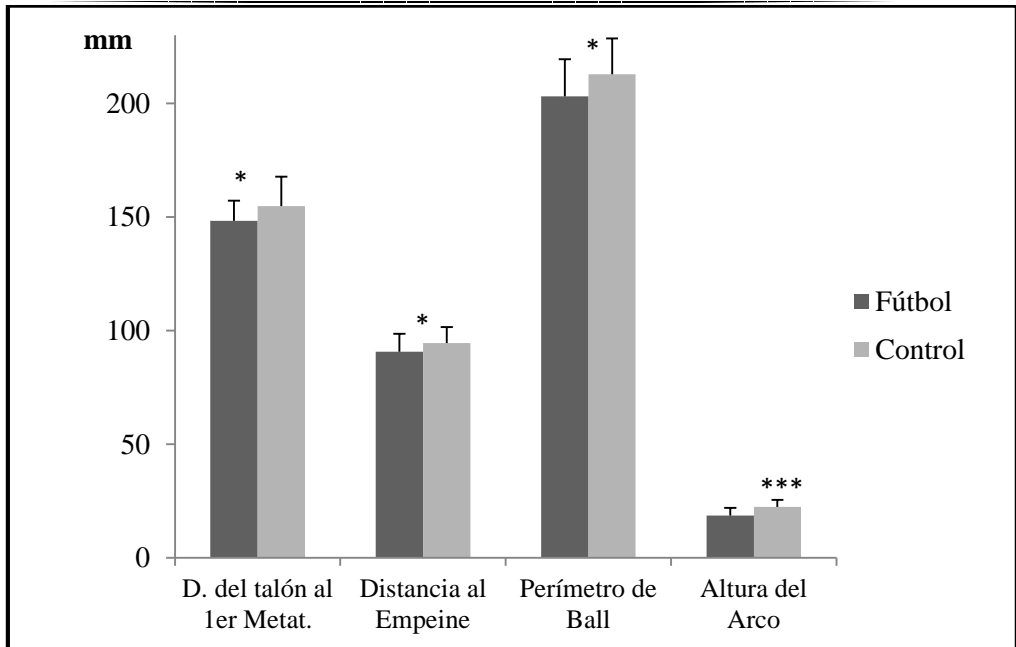


Fig. 15. Diferencias entre niños fútbol y niños escolares. * $P < 0.05$; *** $P < 0.001$.

5.3.2. Análisis Niñas

En cuanto a la comparación entre la muestra de niñas que practicaban fútbol sobre césped artificial (AC) con las niñas escolares se encontraron diferencias significativas en el ancho de ball, el perímetro de ball, la distancia del talón al 5º metatarso y el perímetro de entrada (Figura 16). Al igual que en el grupo de niños no había diferencias en edad, peso y estatura.

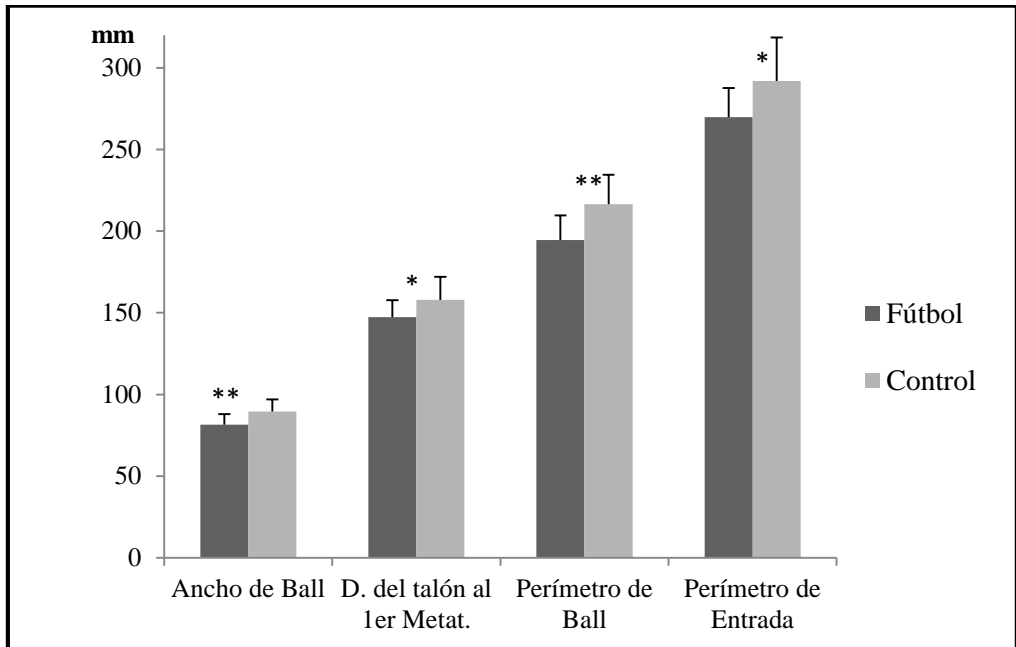


Fig. 16. Diferencias entre niñas fútbol y niñas escolares. * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$.

5.3.3. Ajuste de Calzado

También se llevó a cabo una comparación entre la talla real del zapato y la talla estimada a partir de la longitud del pie, teniendo en cuenta el Sistema de Escala Francesa. En estos resultados observamos que no existían diferencias significativas en los niños de la población escolar, pero sí en niños que practican fútbol, los cuales llevaban un calzado más grande de lo que correspondía a su talla real.

Al contrario que en los resultados hallados en el grupo de niños, en el grupo de niñas observamos que no existían diferencias significativas en las que practicaban fútbol, pero sí en niñas de la

Estudio 2. Efectos del Entrenamiento de Fútbol en Diferentes Superficies sobre la Morfología del Pie

población escolar, mostrándonos que las niñas de esta población llevaban zapatos más pequeños de lo que correspondía a su talla real.

| | Fútbol | | Población Escolar | |
|--------------|------------|--------------|-------------------|--------------|
| | Talla Real | Talla Estim | Talla Real | Talla Estim |
| Niños | 36.3 (1.6) | 35.8 (1.6)** | 36.8 (2.0) | 36.8 (1.9) |
| Niñas | 36.3 (2.1) | 35.9 (2.3) | 36.4 (1.7) | 37.4 (1.9)** |

Tabla 11. Diferencias entre Talla Real y Talla Estimada. ** $P < 0.01$.

5.4. Discusión

Los resultados en este estudio nos muestran que existen diferencias en la morfología del pie entre niños jugadores de fútbol y una población escolar. Siendo los pies, tanto de niños como de niñas, más pequeños en aquellos que practicaban fútbol.

5.4.1. Análisis Niños

En nuestro estudio decidimos juntar ambos grupos para simplificar los resultados y poder comparar una muestra mayor, creando un grupo de niños que practicaran fútbol independientemente de la superficie de juego. Al comparar los niños que jugaban al fútbol sobre césped artificial (CA) con los niños que practicaban fútbol sobre tierra (T) sólo se encontraron diferencias significativas en la distancia al 1^{er} metatarsiano ($P < 0.05$). En estudios anteriores, no se ha analizado la morfología del pie teniendo en cuenta las diferentes superficies. La mayoría de estudios que han analizado el impacto de diferentes superficies, ha sido sobre las presiones plantares y principalmente comparando césped natural con otro tipo de superficies como césped artificial, hormigón, asfalto o goma (Ford et al., 2006; Tessutti et al., 2010; Tessutti et al., 2012; Wang et al., 2012). Los únicos autores que han analizado las presiones plantares en

Estudio 2. Efectos del Entrenamiento de Fútbol en Diferentes Superficies sobre la Morfología del Pie

gestos técnicos comparando césped artificial y tierra fueron Girard et al. (2007 & 2010) que encontraron diferencias significativas en gestos técnicos de tenis entre las dos superficies. Otros estudios (Kordi et al., 2011) que han comparado césped artificial con tierra han analizado el riesgo de lesión, demostrando que existe un mayor porcentaje de lesiones en tierra pero de gravedad leve.

Por lo tanto, se comparó al grupo de niños que practicaban fútbol (CA+T) con los niños de la población escolar emparejados por edad, peso y estatura, observando en nuestros resultados que los pies de los niños escolares presentaban mayores dimensiones que los de fútbol, existiendo diferencias significativas en cuatro de las once variables analizadas. Los pies de niños escolares eran a proporción más grandes, con diferencias tanto en distancias, como en perímetros y en alturas.

En estudios anteriores se ha demostrado que la práctica deportiva puede influir sobre la morfología del pie, produciéndose adaptaciones en este según el tipo de deporte, los años de entrenamiento o la habilidad deportiva. Existen estudios que han comparado al igual que en nuestro estudio a futbolistas con población sedentaria. La mayoría de ellos han analizado únicamente el índice del arco (AI) en adolescentes, mostrando resultados dispares. Ozer & Barut (2012) encontraron resultados similares a los nuestros observando que existen diferencias en varios de

los métodos para el pie derecho (ángulo del arco de Clarke, índice de Chippaux-Smirak, índice de Staheli, índice de la huella y índice del arco truncado) e izquierdo (ángulo del arco y índice de Staheli) entre jugadores de fútbol y sedentarios, siendo los pies de los futbolistas más pequeños. Mantini et al. (2012) analizaron las variaciones morfológicas en la huella plantar con el rendimiento y demostraron una reducción de la huella plantar en comparación con niños que no practicaban fútbol. Grabara (2008) confirma en sus resultados el impacto del entrenamiento de fútbol sobre la forma del pie, dedos y la curvatura del arco, observando una menor curvatura en el pie derecho y una mayor frecuencia de anomalías en los pies de futbolistas. Inoubli et al. (2010) sin embargo, halló que los pies del grupo que no practicaba ejercicio eran más planos al contrario que en nuestro estudio, pero sí demostraron una correlación positiva entre el AI y los años de entrenamiento. Finalmente, López et al. (2005) con una muestra de 137 sujetos (100 jugadores de fútbol) encontraron unos resultados homogéneos en el AI entre ambos grupos. La mayoría de estos resultados sugieren que existe una adaptación morfológica del pie debido al entrenamiento de fútbol.

En otros estudios se ha analizado la influencia de la actividad física o práctica de algún deporte sobre la morfología del pie, huella plantar o presiones plantares (Aydog et al., 2004; Kulthanan et al., 2004; Aydog et al., 2005a; Aydog et al., 2005b; Uzel et al., 2006; López et al.,

Estudio 2. Efectos del Entrenamiento de Fútbol en Diferentes Superficies sobre la Morfología del Pie

2005; López-Elvira et al., 2006; Cain et al., 2007; Mickle et al., 2011; Berdejo-del-Fresno et al., 2013; Duric et al., 2013; Lichota et al., 2013). Algunos estudios incluían futbolistas entre otras disciplinas (Soper et al., 2001; Aydog et al., 2004). En la mayoría de ellos se ven adaptaciones en la morfología del pie debido a la práctica deportiva. En el caso de los futbolistas, durante los entrenamientos realizan con frecuencia ejercicios de marcha, trote, sprints, cambios de sentido, etc, que suponen una mejora del aparato músculo-ligamentoso y un aumento de la movilidad de los miembros inferiores (Grabara, 2008) dando como resultado cambios en la extremidad inferior y morfología del pie.

5.4.2. Análisis Niñas

Al comparar la muestra de niñas que practicaban fútbol sobre césped artificial (CA) con las niñas escolares, encontramos resultados similares a los del grupo de niños. Los pies de las niñas de fútbol eran menores y mostraban diferencias significativas también en cuatro de las variables: ancho de ball, perímetro de ball, distancia del talón al 5º metatarso y perímetro de entrada. Existe menos bibliografía que haya analizado a niñas dentro de su estudio y ningún estudio que haya comparado a niñas jugadoras de fútbol con una población escolar o sedentaria. En aquellos estudios que se ha tenido en cuenta a niñas o mujeres se ha visto cómo la

actividad física o deporte modifica la presiones plantares (Mickle et al., 2011) o la huella plantar (Kutlthanan et al., 2004; López-Elvira et al., 2006; Berdejo-del-Fresno et al., 2013; Duric et al., 2013).

Estudio 2. Efectos del Entrenamiento de Fútbol en Diferentes Superficies sobre la Morfología del Pie

5.4.3. Ajuste de Calzado

En nuestros resultados observamos que no existían diferencias en las niñas que practicaban fútbol y en los niños de la población escolar entre la talla real y la talla estimada, pero sí en los niños de fútbol y las niñas de la población escolar.

Como en el Estudio 1, la niñas llevaban zapatos demasiado pequeños para la longitud de su pie, al igual que se vio en el estudio realizado con mujeres por Frey et al. (1993).

En cuanto a los niños que practicaban fútbol según los resultados encontrados llevaban, al contrario que las niñas, un calzado mayor del que les correspondía. La única explicación que se nos ocurre es que al estar en pleno crecimiento las madres compraran a sus hijos zapatos una talla mayor para que les sirvieran durante más tiempo.

Teniendo en cuenta estos datos y estudios anteriores, podemos decir que es importante llevar a cabo un diseño del calzado acorde a la edad, sexo, deporte practicado y nacionalidad (Echarri & Forriol, 2003; Mauch et al. 2008b) ya que todos estos factores influyen sobre un buen ajuste del calzado.

Estudios anteriores demuestran que el pie evoluciona con la edad viéndose en muchos estudios, por ejemplo, que la prevalencia del pie

plano disminuye con la edad (Rao & Joseph, 1992; Sachithanandam & Joseph, 1995; Cetin et al., 2011; Chen et al., 2011b; Chang et al., 2012; Müller et al., 2012; Wozniacka et al., 2013). Además, Mauch (2011) destaca la importancia de un buen ajuste sobre todo en niños ya que el pie aún no está consolidado y el uso de un mal calzado puede ser perjudicial.

También queda demostrado que el diseño de calzado debe ser específico según el género (Soper et al., 2001; Manna et al., 2001; Hennig & Sterzing, 2010; Krauss et al., 2010) siendo evidentes las diferencias entre sexos, sin embargo no siempre se hace (Soper et al., 2001).

Existen estudios que han tenido en cuenta la práctica de algún deporte (Milburn & Barry, 1998; Grabara, 2008; Grund & Senner, 2010; Kuhlman et al., 2010; Müller et al., 2010), siendo en el deporte muy importante el uso de un buen calzado. Según Milburn & Barry (1998) el calzado deportivo debe cubrir tres funciones: deberá proporcionar una adecuada y eficaz adherencia entre el pie y la superficie de juego; deberá proteger el pie y finalmente deberá permitir el movimiento normal del pie.

Sin embargo, los estudios que existen sobre calzado de fútbol han analizado únicamente la interacción entre el calzado y la superficie (Kuhlman et al., 2010), la influencia de la distribución de los tacos en la

Estudio 2. Efectos del Entrenamiento de Fútbol en Diferentes Superficies sobre la Morfología del Pie

técnica o posibles lesiones (Walter & Ng, 2002; Wannop et al., 2009; Grund & Senner, 2010; Müller et al., 2010) y la distribución de las presiones plantares o el rendimiento al ejecutar gestos técnicos con diferentes calzados (Ford et al., 2006 y Hennig & Sterzing, 2010), sin tener en cuenta la influencia de estas actividades sobre la morfología externa del pie.

Finalmente, otros estudios han analizado la implicación del calzado deportivo en el riesgo de lesiones. Demostrándose que el uso de un calzado adecuado puede reducir la incidencia de lesiones (Lake, 2000; Mauch et al., 2009; Kordi et al., 2011).

Para conseguir un buen ajuste debemos tener en cuenta la forma del zapato y la talla (Janisse et al., 1992). Goonetilleke et al. (2001) dice en su estudio que a la hora de escoger nuestro calzado la segunda razón que tenemos en cuenta es que sea confortable y bien ajustado y para conseguirlo se deben tener en cuenta las medidas del pie, es decir, su morfología. Kutlthanan et al. (2004) dice que el uso de un determinado calzado está además influenciado por el entorno.

Finalmente, según Soper et al. (2001) muchos de los problemas de ajuste se deben a que se elige el calzado teniendo en cuenta únicamente la longitud del pie. Sin embargo, el ancho del antepié es una

de las variables más importantes a la hora de elegir, concluyendo que un calzado bien ajustado es aquel que se amolda al ancho del antepié.

Por lo tanto, estos datos tienen relevancia para el diseño de calzado deportivo adecuado a la edad, sexo y al deporte, teniendo en cuenta la morfología del pie, factor determinante en el diseño de calzado como han demostrado estudios anteriores (Soper et al., 2001; Witana et al., 2004).

5.5. Conclusión

- Los pies de niños y niñas escolares eran a proporción más grandes, con diferencias tanto en distancias, como en perímetros y en alturas que los de niños y niñas de fútbol. La mayoría de estos resultados sugieren que existe una adaptación morfológica del pie debido a la sobrecarga que se ve sometida los miembros inferiores durante los entrenamientos y partidos de fútbol.

Estudio 2. Efectos del Entrenamiento de Fútbol en Diferentes Superficies sobre la Morfología del Pie

**Estudio 3. Efectos del Ejercicio
Intermitente sobre las Dimensiones del
Pie**

6. Estudio 3. Efectos del Ejercicio Intermitente sobre las Dimensiones del Pie.

6.1. Introducción

Como hemos visto en puntos anteriores, el pie es una estructura formada por múltiples articulaciones que se adapta ante situaciones que implican altas cargas mecánicas, como la carrera. Por ello, la actividad física provoca cambios en las medidas del pie (Aydog et al., 2005b; López-Elvira et al., 2006).

La mayoría de los estudios de la bibliografía demuestran que la actividad física vigorosa modifica las dimensiones del pie. Por ejemplo, el estudio realizado por Cloughley & Mawdsley (1995) mostraba diferencias significativas entre los cambios provocados por 20 minutos de marcha y 20 de carrera y McWorther et al. (2003) encontraron diferencias tras sólo 12 minutos de carrera. Treinta minutos de marcha atlética también provocaba cambios en las dimensiones del pie medidas a partir de la huella plantar (López-Elvira et al., 2006). Los estudios realizados con ejercicio intermitente como el voleibol (Sirgo & Aguado, 1991; Chalk et al., 1995) muestran resultados contradictorios. El trabajo de Sirgo & Aguado (1991) muestra diferencias en las dimensiones de la huella plantar tras el ejercicio, mientras que el de Chalk et al. (1995) no

encontró diferencias en las dimensiones del pie tras un partido de voleibol. Sin embargo, este último trabajo presentaba limitaciones metodológicas relacionadas con el reducido número de jugadores analizados para llegar a esas conclusiones.

Por lo tanto, no hemos encontrado trabajos que hayan estudiado los efectos del volumen y la intensidad de los apoyos sobre las dimensiones del pie. Además, varios de los estudios anteriores sólo se centraron en el volumen total del pie (Chalk et al., 1995; Cloughley & Mawdsley, 1995; McWorther et al., 2003) sin analizar la zona de contacto del pie con el suelo. El análisis de la huella plantar, además de informar de forma indirecta sobre los cambios en las dimensiones del pie, nos puede mostrar si existen cambios transitorios en el apoyo entre antes y después del ejercicio.

Por consiguiente, el objetivo principal de este estudio ha sido realizar una comparación entre los cambios producidos en la huella plantar por los desplazamientos que se producen en el fútbol sala, deporte ampliamente practicado (Chillón et al., 2002), y la carrera continua.

En el estudio de Barbero-Álvarez et al. (2008) se realizó una cuantificación de la distancia total y los rangos de velocidades utilizados durante un partido de fútbol-sala. Esto nos permite poder comparar un

Estudio 3. Efectos del Ejercicio Intermitente sobre las Dimensiones del Pie

volumen de carrera intermitente de intensidad variable con un volumen similar de carrera continua.

Como objetivo secundario se planteó estudiar las diferencias en la respuesta entre hombres y mujeres.

6.2. Metodología

6.2.1. Participantes

Participaron 20 estudiantes de Ciencias del Deporte (10 mujeres y 10 hombres), con las características que aparecen en la Tabla 12.

| | Edad (años) | Masa (kg) | Estatura (m) |
|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------|
| Hombres (n =10) | 20.4 (1.4) | 68.9 (5.6) | 1.75 (0.06) |
| Mujeres (n = 10) | 19.9 (1.4) | 55.7 (8.9) | 1.61 (0.07) |

Tabla 12. Características de los participantes del estudio (Edad, peso y estatura).

Se excluyó a aquellos que presentaban lesiones recientes en cualquier parte de la extremidad inferior, trastornos en la estructura del pie, infecciones en los pies y que fueran incapaces de recorrer 2500 m en un mínimo de 20 minutos. Todos los participantes, excepto una mujer (27.1 kg·m⁻²) tenían un IMC por debajo de 25 kg·m⁻², con un valor medio de IMC de 21.9 (2.2) kg·m⁻². Por todo esto entendemos que los resultados no fueron influidos por valores extremos de IMC, tal y como ha sido demostrado previamente en la bibliografía (Hills et al., 2001). Todos los participantes fueron informados de los objetivos y posibles riesgos del estudio, y firmaron un consentimiento informado. El estudio

Estudio 3. Efectos del Ejercicio Intermitente sobre las Dimensiones del Pie

fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de Castilla-La Mancha y cumplía con los requisitos de la Declaración de Helsinki (WMA, 2008).

6.2.2. Procedimiento

Cada participante tomó parte en tres sesiones distintas durante un período de tres semanas en la misma franja horaria utilizando siempre el mismo calzado deportivo. Las tres sesiones incluyeron un circuito dentro de un campo de fútbol sala, una sesión de carrera continua con el mismo volumen del circuito (2500 m) y otra sesión de 30 minutos de carrera continua. La actividad a realizar era asignada al azar a cada participante y entre ellas transcurría una semana de descanso. Antes y después de las pruebas se tomaban las medidas del pie dominante (Figura 17).

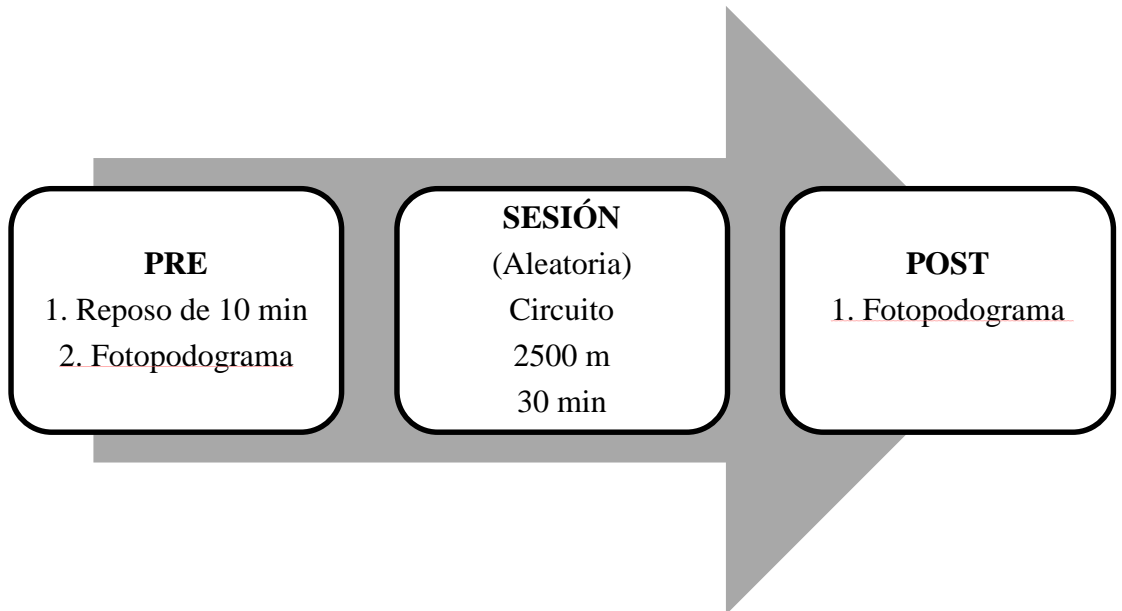


Fig. 17. Procedimiento del estudio.

6.2.3. Instrumentos

En primer lugar, fueron medidos y pesados todos los sujetos, con la ayuda de una báscula y tallímetro SECA (SECA Ltd., Alemania), al igual que en estudios anteriores.

Todas las medidas se obtuvieron realizando fotopodogramas siguiendo el protocolo de Aguado et al. (1997). El sujeto se situaba de pie en apoyo bipodal con los pies paralelos separados a la anchura de los hombros y se obtenía un registro de alta calidad de la huella plantar de su pie dominante mediante papel fotográfico y revelador.

A continuación se describe los pasos a seguir:

Estudio 3. Efectos del Ejercicio Intermitente sobre las Dimensiones del Pie

1. Preparar todo el material necesario, líquido revelador, fijador, papel fotográfico...En primer lugar se debe velar el papel fotográfico.
2. Con ayuda de un pincel humedecer bien todo el pie con líquido revelador.
3. Mantenerse durante 30- 40 segundos sobre el papel fijado en el suelo. Se debe apoyar todo el pie a la vez a la misma altura que el otro y mantenerse quieto con la vista al frente. El peso debe encontrarse repartido en ambos pies por igual.
4. Levantar el pie sin realizar movimientos laterales rápidamente. Posteriormente pasar la hoja por el líquido fijador durante 3-4 minutos.
5. Finalmente lavar con agua abundante.

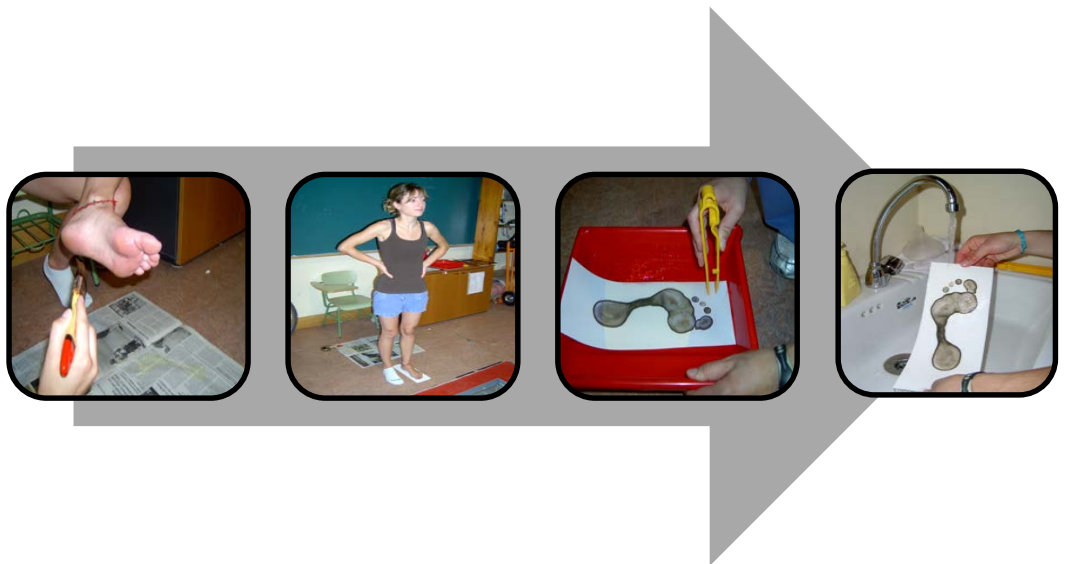


Fig. 18. Pasos del Protocolo de Aguado, Izquierdo & González (1997).

Todos los fotopodogramas fueron digitalizados con la ayuda del programa AreaCalc 2.6 (Elvira et al., 2008) que aplica el protocolo de Cavanagh & Rodgers (1987).

6.2.4. Variables

Definición de las variables:

- **Anchura del antepié:** distancia proyectada entre los puntos máximo y mínimo de todo el pie a lo largo del eje y (Tsung. et al., 2003).
- **Anchura del mediopié:** distancia proyectada entre los puntos máximo y mínimo del mediopié a lo largo del eje y.
- **Anchura del retropié:** distancia proyectada entre puntos máximo y mínimo del retropié a lo largo del eje y (Tsung et al., 2003).
- **Área total:** área formada por los puntos por debajo del nivel seleccionado de contacto (Tsung et al., 2003).
- **Área del antepié:** área formada por los puntos seleccionados de contacto de un tercio de la longitud del pie excluyendo los dedos A.

Estudio 3. Efectos del Ejercicio Intermitente sobre las Dimensiones del Pie

- **Área del mediopié:** área formada por los puntos seleccionados de contacto de un tercio de la longitud del pie excluyendo los dedos B.
- **Área del retropié:** área formada por los puntos seleccionados de contacto de un tercio de la longitud del pie excluyendo los dedos C.
- **Longitud pie con dedos:** máxima distancia entre el último punto del talón y el punto más lejano del primer o segundo dedo.
- **Longitud pie sin dedos:** máxima distancia entre el último punto del talón y el punto más lejano del antepié (excluyendo los dedos).
- **Arch Index:** El AI es calculado como la relación entre el área del mediopié (AM) dividida entre el área total excluyendo los dedos (AA+AM+AR). Un arco normal tiene un valor de entre 0.21 y 0.26, los valores superiores representan un arco plano y los inferiores un arco cavo (Cavanagh & Rodgers, 1987).

Las variables analizadas aparecen en la Figura 19:

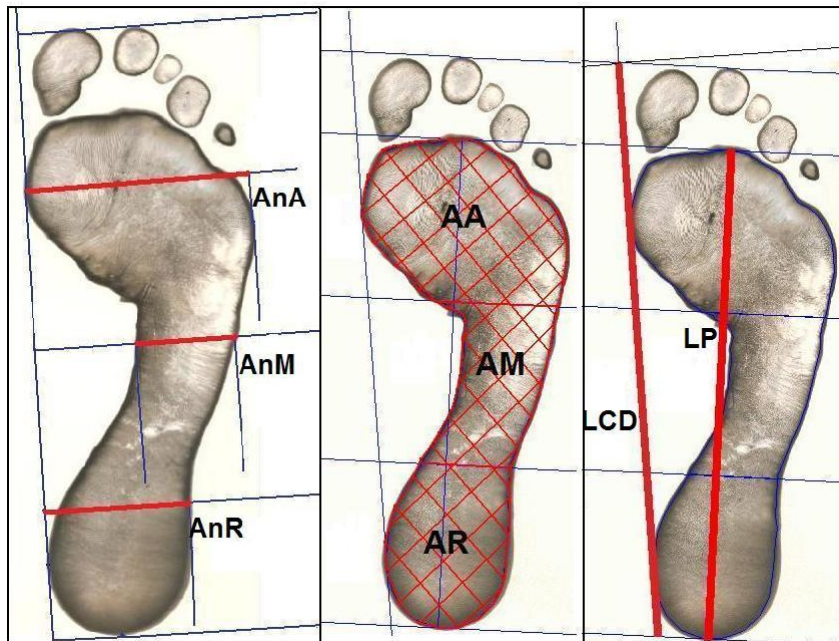


Fig. 19. Variables de la huella plantar analizadas. Abreviaturas: Área antepié (AA) mm², Área mediopié (AM) mm², Área retropié (AR) mm², Índice del arco (AI), Longitud pie con dedos (LCD) cm², Longitud pie sin dedos (LP) cm², Área total (AT) mm², Anchura antepié (AnA) cm², Anchura mediopié (AnM) cm², Anchura retropié (AnR) cm².

6.2.5. Medidas

Los sujetos fueron pesados y medidos en la primera sesión de ejercicio. Antes de cada sesión se tomaba el registro de la huella plantar en el pie dominante tras estar 10 minutos tumbados en decúbito supino sin calzado (McWhorter et al., 2003). Estos 10 minutos servían para las medidas del pie retornasen a su estado basal, antes de los registros de la huella plantar. Las medidas se tomaron en el lugar de la actividad para evitar desplazamientos previos o posteriores a esta. Justo al terminar

Estudio 3. Efectos del Ejercicio Intermitente sobre las Dimensiones del Pie

cada prueba se volvieron a tomar las mismas medidas. Como situación control se compararon las medidas tomadas en basal antes de las sesiones de ejercicio.

6.2.6. Sesiones de Ejercicio

El circuito se realizó en el pabellón polideportivo por el perímetro de una pista de fútbol sala (20 × 40 m). El volumen total fue de 2460 m distribuidos entre las diferentes velocidades y en ambos sentidos de giro para que se repartiesen de forma homogénea los impactos sobre ambos pies. Este circuito se diseñó teniendo en cuenta el estudio de Barbero-Álvarez et al. (2008) en el cual se especifican las distancias cubiertas en cada una de las partes de un partido de fútbol sala y el porcentaje que es realizado a cada una de las velocidades. Se trabajó sólo con los datos de la primera parte.

Estudio 3. Efectos del Ejercicio Intermitente sobre las Dimensiones del Pie

La prueba de 2500 m vino determinada por el volumen total desarrollado en el circuito (2460 m) para poder establecer una comparación objetiva entre ambas situaciones. Finalmente, se incluyó la prueba de 30 minutos para comparar dos sesiones con la misma intensidad pero distinto volumen. La velocidad de las tres sesiones se controló con cronometraje manual.

| Sesión de ejercicio | Velocidades (m/s) | Series | Volumen (m) | Volumen total (m) |
|---------------------|-------------------|------------|-------------|-------------------|
| Circuito | 0.2-1 | 5 × 40 m | 200 | 2460 |
| | 1.1-3 | 10 × 100 m | 1000 | |
| | 3.1-5 | 18 × 40 m | 720 | |
| | 5.1-7 | 17 × 20 m | 340 | |
| | >7.1 | 10 × 20 m | 200 | |
| 2500 m | | | | 2500 |
| 30 minutos | 2.08-2.7 | -- | -- | 3750-4850 |

Tabla. 13. Resumen de las velocidades y volúmenes utilizados en cada sesión de entrenamiento.

6.2.7. Estadística

Todos los resultados han sido expresados como medias (SD). Se utilizó el software SPSS v. 17 para Windows®, tomando como nivel de significación $P < 0.05$. Se usó un ANOVA factorial de tres vías ($3 \times 2 \times 2$; sesión \times sexo \times momento de la medición) para estudiar las posibles diferencias en la respuesta al ejercicio entre hombres y mujeres. Cuando se halló un efecto principal significativo, se emplearon pruebas t para muestras relacionadas para comparar los valores entre antes y después del ejercicio, y un ANOVA de un factor con el post hoc de Bonferroni para analizar las diferencias entre las tres sesiones. En base a las variables de áreas, anchuras y longitudes, los rangos de número mínimo de sujetos estimado para obtener significación estadística con un error α de 0.05 y una potencia de 0.8 ($1-\beta$) iban de 7 a 17. Este número ha sido calculado con las fórmulas propuestas por Hopkins (2006), a partir de los datos de un estudio piloto realizado con 10 sujetos.

La fiabilidad de las mediciones se calculó mediante los Coeficientes de Correlación Intraclase (ICC) y los coeficientes de variación (CV), comparando las medidas tomadas en basal en las sesiones del Circuito y los 2500 m.

Estudio 3. Efectos del Ejercicio Intermitente sobre las Dimensiones del Pie

6.3. Resultados

Los ICCs para las medidas del estudio, hallados al comparar las medidas de la situación control se presentan en la Tabla 14. Todos estaban por encima de 0.95, excepto en la anchura del retropié, donde el ICC era de 0.901. Los CVs iban del 0.3 al 4.5%. Además, no se encontraron diferencias significativas en la comparación de ninguna de las variables.

| Variables | ICC | Coefficiente de variación (%) |
|------------------------|------------|--------------------------------------|
| Área antepié | 0.997 | 1.0 |
| Área mediopié | 0.992 | 3.9 |
| Área retropié | 0.993 | 1.4 |
| Índice del arco | 0.990 | 2.9 |
| Longitud pie con dedos | 0.999 | 0.3 |
| Longitud pie sin dedos | 0.999 | 0.3 |
| Área total | 0.995 | 1.4 |
| Anchura antepié | 0.996 | 0.5 |
| Anchura mediopié | 0.979 | 4.5 |
| Anchura retropié | 0.901 | 2.0 |

Tabla 14. Fiabilidad día a día de las variables estudiadas.

Al comparar las medidas antes y después del ejercicio, se encontraron diferencias significativas en las tres sesiones, siendo los cambios porcentuales en cada variable: área total de la huella (Circuito: 3.1%; 30 minutos: 3.3% y 2500 m: 2.7%; $P < 0.001$), área del antepié

(Circuito: 3.0%; 30 minutos: 2.7% y 2500 m: 2.8%; $P < 0.001$) y área del mediopié (Circuito: 5.4%; 30 minutos: 9.1% y 2500 m: 3.5%; $P < 0.001$, $P < 0.01$ y $P < 0.05$, respectivamente), esta variable fue la que mayores cambios experimentó. Otras variables que cambiaron al menos en dos de las tres sesiones fueron el IA, el área de retropié y la anchura del mediopié (Tabla 16). Los cambios porcentuales fueron muy similares en las tres sesiones en todas las dimensiones de la huella excepto en la anchura del mediopié.

El ANOVA de tres factores reveló una interacción significativa ($P < 0.05$) entre los cambios provocados en la anchura del mediopié por el Circuito (1.7%) y la sesión de 30 minutos (8.0%, $P < 0.01$). Esta variable, junto con el área del mediopié (9.1%, $P < 0.01$) fue la que más cambió en las tres sesiones.

Al comparar entre hombres y mujeres, se encontraron diferencias significativas en todas las dimensiones del pie excepto en el índice del arco (Tabla 15). No se encontraron diferencias en los cambios en la huella plantar entre hombres y mujeres, excepto en la anchura del antepié, donde encontramos una interacción significativa sexo \times medición ($P < 0.05$) en la anchura del antepié.

Estudio 3. Efectos del Ejercicio Intermitente sobre las Dimensiones del Pie

| Variables | Hombres (n=10) | Mujeres (n=10) | % diferencia |
|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| Área antepié (mm²) | 4628 (271) | 3665 (347) | 26.3*** |
| Área mediopié (mm²) | 2423 (501) | 1653 (461) | 46.5** |
| Área retropié (mm²) | 3041 (302) | 2515 (361) | 20.9** |
| Índice del arco | 0.24 (0.03) | 0.21 (0.05) | 14.2 |
| Longitud pie con dedos (cm) | 25.0 (0.7) | 22.0 (1.4) | 12.4*** |
| Longitud pie sin dedos (cm) | 21.2 (0.7) | 18.9 (1.2) | 28.8*** |
| Área total (mm²) | 10093 (869) | 7834 (956) | 11.5*** |
| Anchura antepié (cm) | 8.9 (0.4) | 7.9 (0.4) | 28***§ |
| Anchura mediopié (cm) | 3.7 (0.5) | 2.9 (0.5) | 13.1** |
| Anchura retropié (cm) | 5.5 (0.6) | 4.9 (0.5) | 14.0* |

Tabla 15. Comparación entre hombres y mujeres en las variables del circuito antes del ejercicio. Se han omitido el resto de medidas ya que las diferencias eran similares antes y después del ejercicio. * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$; §: Interacción sexo \times medición, $P < 0.05$.

| VARIABLES | Pre-ejercicio | | | Post-ejercicio | | | %Diferencia Pre-post | | |
|----------------------------------|---------------------------------|-------------|-------------|----------------|-------------|-------------|----------------------|--------|------------|
| | Circuito | 2500 m | 30 minutos | Circuito | 2500 m | 30 minutos | Circuito | 2500 m | 30 minutos |
| | Área antepié (mm ²) | 4147 (580) | 4153 (590) | 4166 (585) | 4274 (625) | 4265 (606) | 4280 (611) | 3.0*** | 2.8*** |
| Área mediopié (mm ²) | 2038 (613) | 2080 (601) | 2038 (657) | 2142 (620) | 2159 (641) | 2176 (609) | 5.4*** | 3.5* | 9.1** |
| Área retropié (mm ²) | 2778 (422) | 2781 (420) | 2777 (452) | 2829 (442) | 2827 (414) | 2801 (400) | 1.8** | 1.7** | 1.2 |
| Índice del arco | 0.22 (0.04) | 0.23 (0.04) | 0.22 (0.05) | 0.22 (0.04) | 0.23 (0.04) | 0.23 (0.04) | 2.1* | 0.8 | 5.5** |
| Longitud pie con dedos (cm) | 23.5 (1.9) | 23.5 (1.9) | 23.5 (1.9) | 23.5 (1.9) | 23.5 (1.9) | 23.4 (1.9) | 0.1 | 0.2 | 0.0 |
| Longitud pie sin dedos (cm) | 20.1 (1.5) | 20.0 (1.5) | 20.1 (1.5) | 20.1 (1.5) | 20.1 (1.5) | 20.1 (1.5) | 0.2 | 0.0 | -0.2 |
| Área total (mm ²) | 8963 (1460) | 9014 (1484) | 8981 (1542) | 9246 (1552) | 9251 (1530) | 9256 (1504) | 3.1*** | 2.7*** | 3.3*** |
| Anchura antepié (cm) | 8.4 (0.6) | 8.4 (0.6) | 8.4 (0.6) | 8.4 (0.6) | 8.3 (0.6) | 8.4 (0.6) | 0.1 | -0.2 | 0.1 |
| Anchura mediopié (cm) | 3.2 (0.6) | 3.2 (0.7) | 3.2 (0.7) | 3.3 (0.6) | 3.4 (0.7) | 3.4 (0.7) | 1.7 | 4.8* | 8.0**§ |
| Anchura retropié (cm) | 5.1 (0.6) | 5.2 (0.5) | 5.1 (0.5) | 5.2 (0.5) | 5.3 (0.7) | 5.1 (0.5) | 0.2 | 0.9 | 0.5 |

Tabla 16. Variables de la huella plantar antes y después de las sesiones de ejercicio. * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$; §: Interacción Circuito vs. 30 minutos, $P < 0.05$.

6.4. Discusión

La metodología utilizada, aunque sencilla, ha demostrado ser sensible y reproducible. Además de los altos valores en las pruebas de fiabilidad, no se encontraron diferencias significativas al comparar las tres medidas en reposo. Esto concuerda con estudios como los de Moholkar & Fenelon (2001) el cual mostraba que a lo largo del día las variaciones que se producen en el volumen del pie no son significativas cuando las personas analizadas no realizan una actividad física vigorosa y el de Pasley & O'Connor (2008), donde no encontraron diferencias significativas en el volumen de pie al comparar entre días. La principal limitación de este estudio es que las medidas de los cambios en el pie no han sido tomadas directamente sobre la extremidad, sino sobre su superficie de apoyo. Sin embargo, el conocimiento de los cambios en la zona de apoyo tiene un interés potencial para los profesionales de las ciencias de la actividad física y el deporte y para el sector del calzado diseñado para practicar actividad física.

Los resultados de este estudio muestran que una sesión de carrera ejecutada con distintos niveles de volumen e intensidad ha tenido efectos similares sobre el registro de la huella plantar, ya que no se encontraron diferencias al comparar las medidas post-ejercicio de las tres situaciones, aunque los cambios fueron de menor magnitud en la menos intensa y de

menor volumen (2500 m). Tres de las variables analizadas en este estudio cambiaron significativamente tras las tres sesiones de ejercicio. Estas variables fueron el área total de la huella (2.6-3.2%), el área del antepié (2.7-3.0%) y el área del mediopié (3.5-9.1%) siendo esta la variable que mayores cambios experimentó. El área del mediopié sufrió los mayores cambios probablemente debido a que pequeños aumentos en sus medidas implicaban grandes cambios porcentuales, debido a su menor tamaño en comparación con el área total de la huella y el área del antepié (Tabla 16).

No se produjeron cambios en las medidas de longitud de la huella, y tampoco existieron diferencias en ninguna de las tres pruebas en las anchuras del antepié y retropié. Los resultados del presente trabajo concuerdan con anteriores estudios en los que el tamaño del pie aumentaba tras una sesión de ejercicio (Cloughley & Mawdsley, 1995; McWhorter et al., 2003; McWhorter et al., 2006), con aumentos que iban del 1.7% al 3%. En el estudio realizado por Cloughley & Mawdsley (1995) no se muestran los cambios porcentuales. Sin embargo, los estudios anteriores no analizaron las distintas dimensiones del pie, sino que se centraron en el volumen total. Esto no permitía conocer qué dimensiones eran afectadas más por los cambios transitorios provocados por la actividad física. La ausencia de diferencias entre los cambios producidos en las tres sesiones de ejercicio indica que parece existir un

Estudio 3. Efectos del Ejercicio Intermitente sobre las Dimensiones del Pie

umbral en el número de apoyos a partir del cual mayor número o intensidad de los apoyos no provoca mayores cambios en las medidas de la huella plantar, aunque los mayores cambios porcentuales y la interacción encontrada entre los cambios en el Circuito y los 30 minutos de carrera apuntan a que esta variable era más sensible a los aumentos del volumen de apoyos. Sin embargo, con el diseño del presente estudio no fue posible determinar a partir de qué volumen de apoyos se producía este cambio, por lo que sería interesante en futuras investigaciones aplicar un diseño que analizase este factor. Uno de los mecanismos por los cuales el pie modifica su tamaño con el ejercicio físico es el aumento del fluido intravascular y extravascular (Mayrovitz, 1998; Stick et al., 1985) aumentando la presión capilar media y el coeficiente de filtración capilar (Jacobsson & Kjellmer, 1964). Los cambios en las medidas del pie implican también modificaciones en el ajuste con el calzado que afectarán a su comodidad y funcionalidad, por lo que deberían ser tenidos en cuenta por los fabricantes de calzado deportivo.

Al comparar entre sexos se encontraron diferencias significativas entre hombres y mujeres para todas las variables excepto en el IA, encontrándose estos resultados de acuerdo con los mostrados en otros artículos (Pasley & O'Connor, 2008; Fessler et al., 2005; Krauss et al., 2005; Luo et al., 2009; Manna et al., 2001). Sin embargo, el ejercicio afectó por igual a hombres y mujeres en casi todas las variables, ya que

sólo se encontraron interacciones en el ANOVA de 3 factores en la anchura del antepié, que cambiaba de forma distinta entre antes y después del ejercicio (Tabla 15). Es posible que estas interacciones estuvieran relacionadas con las diferencias antropométricas que existen entre hombres y mujeres (Reel et al., 2011).

En resumen, las tres sesiones de ejercicio realizadas provocaron cambios significativos en las dimensiones de la huella plantar. Sin embargo, sólo hubo diferencias en la anchura del mediopié. Sólo esta variable era sensible al mayor volumen de apoyos de la sesión de 30 minutos de carrera. En el resto de parámetros analizados no hubo diferencias entre estos cambios, lo que indica que a partir de un determinado número de apoyos, la huella plantar no cambiaba más, independientemente del volumen o la intensidad del ejercicio. La mayoría de estos cambios fueron similares en hombres y mujeres. Estos resultados tienen transcendencia para los profesionales de la actividad física y el deporte interesados en la función del pie, y para aquellos que estudian la interacción pie-calzado.

6.5. Conclusiones

- Las tres sesiones de ejercicio realizadas provocaron cambios significativos en las dimensiones de la huella plantar. Sin embargo, sólo la anchura del mediopié era sensible al mayor volumen de apoyos de la sesión de 30 minutos de carrera.
- En el resto de parámetros analizados no hubo diferencias entre las tres pruebas, lo que indica que a partir de un determinado número de apoyos, la huella plantar no cambiaba más, independientemente del volumen o la intensidad del ejercicio.

Estudio 3. Efectos del Ejercicio Intermitente sobre las Dimensiones del Pie

Conclusiones

7. Conclusiones

De los resultados de esta tesis se pueden obtener las siguientes conclusiones:

1. En primer lugar, podemos afirmar que la práctica deportiva produce, tanto cambios agudos en la huella plantar, como crónicos en la morfología del pie. Estos cambios no son homogéneos en todas las dimensiones del pie.
2. Los pies de niños y niñas del centro de España evolucionan al mismo ritmo que en otras poblaciones produciéndose un aumento del 3-5% por año en las principales dimensiones del pie.
3. La morfología de los pies de niños y niñas difiere a partir de los 8-10 años, lo que implica que a partir de esa edad necesitan un calzado diseñado con hormas específicas para cada sexo.
4. La práctica regular de fútbol produce cambios crónicos en la morfología del pie, siendo los pies de niños y niñas futbolistas de menor tamaño que los de la población escolar de la misma edad.

El hecho de tener una morfología diferente, puede llevar a un uso inadecuado del calzado, como sucedía en los Estudios 1 y 2, donde las niñas de la muestra estudiada utilizaban un calzado demasiado

pequeño para su longitud del pie, probablemente porque buscaban un mejor ajuste en anchura.

5. Por último, como ya hemos nombrado, la práctica de actividad física produce cambios agudos en la huella plantar, aumentando significativamente las áreas de contacto, especialmente en la zona del arco plantar.

Conclusiones

**Aplicaciones Prácticas y Futuras Líneas
de Investigación**

8. Aplicaciones Prácticas y Futuras Líneas de Investigación

8.1. Aplicaciones Prácticas

A lo largo de este apartado hablaremos sobre las aplicaciones prácticas de los tres estudios que conforman nuestra tesis y finalmente indicaremos las posibles futuras líneas de investigación en base a los resultados hallados.

El propósito del **Estudio 1** fue crear una base de datos sobre la evolución de la morfología del pie infantil, describiendo las dimensiones globales del pie en la etapa escolar y las diferencias entre chicos y chicas. Los resultados de estos dos estudios pueden ser utilizados por los fabricantes de calzado para el diseño de hormas que se adapten mejor a la población infantil actual.

El objetivo del **Estudio 2** fue analizar los cambios producidos de manera crónica en la morfología del pie debido a la práctica de fútbol. Los resultados de estos dos estudios pueden ser utilizados por los fabricantes de calzado para el diseño de hormas que se adapten mejor a la población infantil durante la práctica deportiva.

En cuanto al **Estudio 3**, su objetivo principal fue cuantificar los cambios en la huella plantar producidos en tres sesiones de ejercicio con distintas configuraciones de volumen e intensidad. Los resultados nos mostraron que las tres sesiones de ejercicio realizadas provocaron cambios significativos en las dimensiones de la huella plantar, lo que puede ser utilizado en el diseño de calzado que se adapte mejor a los cambios agudos producidos por el ejercicio.

8.1.1. Recomendaciones para el diseño de calzado específico a la edad y sexo

El calzado para niños debe proteger frente a la agresividad de los ambientes en los que el niño se desenvuelve, permitiendo su desarrollo físico y motor, y al mismo tiempo, debe proporcionar confort térmico (relacionado con sudor, frío, calor, etc.) y mecánico (entendido como la sensación de comodidad que el niño tiene con el calzado), todo ello asegurando que éste cumpla su función sin dar lugar a lesiones ni daños.

En el calzado diseñado para niños, un buen ajuste es todavía más importante ya que puede influir en el desarrollo normal del pie. El calzado ha de adaptarse a la forma del pie y no al revés, por lo tanto pequeñas diferencias en la forma del pie deben ser incluidas en el diseño del calzado (Mauch et al., 2008b, Mauch et al., 2009).

Actualmente, en el calzado para niños, el procedimiento habitual es el escalado lineal a partir de hormas de pies de adultos, y a partir de esas hormas crear distintas tallas. Sin embargo, las proporciones del pie infantil no se corresponden con las del pie adulto (Mauch et al., 2009). A los 6 años de edad se considera que el pie del niño tiene una constitución similar a la del adulto, pero no es hasta los 18 ó 19 años de edad cuando se alcanza la madurez final del pie (IBV, 1999).

Los principales aspectos a considerar en el diseño del calzado infantil son (IBV, 1999):

- Adaptación a la forma del pie del niño sin oprimirlo, evitando rozaduras y deformidades.
- Adaptación a los movimientos del pie proporcionando una marcha estable y económica desde el punto de vista del consumo. Es decir, para permitir la marcha sin más esfuerzo del necesario.
- Amortiguación de los impactos del pie con el suelo al caminar para evitar lesiones y aumentar el confort.
- Confort térmico para evitar sudor excesivo y temperaturas extremas.
- Agarre al suelo para evitar resbalones y caídas.
- Distribución de las presiones que se soportan en la planta del pie para prevenir puntos dolorosos.

- Interior del calzado bien acabado para no sufrir rozaduras, evitando las costuras burdas o mal dispuestas.

Por último, destacar que además de la edad como ya hemos nombrado con anterioridad el diseño de calzado debe ser específico según el género y debería realizarse según las dimensiones de los usuarios de la población (Manna et al., 2001; Xiong et al., 2008), en este caso la población escolar española. Ya que se ha demostrado que la evolución de la morfología del pie puede estar influida por la raza o por factores ambientales. Esto ayudaría a reducir problemas relacionados con un calzado inadecuado, lo que supondría un ahorro económico.

8.2. Futuras Líneas de Investigación

Teniendo como base esta tesis, en un futuro se podrían ampliar estos estudios en diferentes perspectivas:

- En primer lugar, realizar el Estudio 1 y 2 con un diseño longitudinal durante la etapa escolar, y así poder analizar de la evolución que ha seguido el pie de estos niños/niñas.
- En segundo lugar, reproducir el Estudio 2 con una muestra de niños/as de otros deportes con exigencias diferentes, como puede ser la natación, donde el pie no está sometido a la carga del peso y los impactos con la superficie.
- Finalmente, en cuanto al Estudio 3 sería interesante poder reproducirlo con una metodología más sofisticada, como una plataforma de presiones, para poder analizar un mayor número de variables cuantitativamente y no sólo los cambios en el área de contacto.

Bibliografía

9. Bibliografía

- Andersson H, Ekblom B, Krustup P. Elite football on artificial turf versus natural grass: movement patterns, technical standards, and player impressions. *Journal of Sports Sciences*. 2008; **26**: 113-122.
- Aoki H, Kohno T, Fujiya H, Kato H, Yatabe K, Morikawa T, Seki J. Incidence of injury among adolescent soccer players: a comparative study of artificial and natural grass turfs. *Clin J Sport Med*. 2010; **20**: 1-7.
- Aydog ST, Demirel HA, Tetik O, Aydog E, Hascelik Z, Doral MN. The sole arch indices of adolescent basketball players. *Saudi Med J*. 2004; **25**: 1100-1102.
- Aydog ST, Tetik O, Demirel HA, Doral MN. Differences in sole arch indices in various sports. *Br J Sports Med*. 2005a; **39**: e5.
- Aydog ST, Ozcakar L, Tetik O, Demirel HA, Hascelik Z, Doral MN. Relation between foot arch index and ankle strength in elite gymnasts: a preliminary study. *Br J Sports Med*. 2005b; **39**: e13.
- Barbero-Alvarez JC, Soto VM, Babero-Alvarez V, Granda-Vera J. Match analysis and heart rate of futsal players during competition. *Journal of Sports Science*. 2008; **26**: 63-73.

- Bosch K, Gerss J, Rosenbaum D. Development of healthy children's feet--nine-year results of a longitudinal investigation of plantar loading patterns. *Gait Posture*. 2010; **32**: 564-571.
- Berdejo del Fresno D, Lara-Sánchez AJ, Martínez-López EJ, Cachón-Zagalaz J, Lara-Diéguez S. Alteraciones de la huella plantar en función de la actividad física realizada. *Rev Int Med Cienc Act Fís Deporte*. 2013; **13**: 19-39.
- Byrne M, Curran MJ. The development and use of a footwear assessment score in comparing the fit of children's shoes. *The Foot*. 1998; **8**: 215-218.
- Cain LE, Nicholson LL, Adams RD, Burns J. Foot morphology and foot/ankle injury in indoor football. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2007; **10**: 311-319.
- Cappaert JM, Rich B, Roberts S. Variation in foot shape under various loading conditions. *Proceedings 8th Footwear Biomechanics Symposium*. Taipei (Taiwan), 2007.
- Cavanagh PR, Rodgers MM. The arch index: a useful measure from footprints. *J Biomech*. 1987; **20**: 547-551.
- Cetin A, Sevil S, Karaoglu L, Yucekaya B. Prevalence of flat foot among elementary school students, in rural and urban areas and at suburbs in Anatolia. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2011; **21**: 327-331.

Bibliografia

- Chalk PJ, McPoil T, Cornwall MW. Variations in foot volume before and after exercise. *J Am Podiatr Med Assoc.* 1995; **85**: 470-472.
- 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**: 76.
- Chang JH, Wang SH, Kuo CL, Shen HC, Hong YW, Lin LC. Prevalence of flexible flatfoot in Taiwanese school-aged children in relation to obesity, gender, and age. *Eur J Pediatr.* 2010; **169**: 447-452.
- Chen JP, Chung MJ, Wang MJ. Flatfoot prevalence and foot dimensions of 5- to 13-year-old children in Taiwan. *Foot Ankle Int.* 2009; **30**: 326-332.
- Chen KC, Yeh CJ, Kuo JF, Hsieh CL, Yang SF, Wang CH. Footprint analysis of flatfoot in preschool-aged children. *Eur J Pediatr.* 2011a; **170**: 611-617.
- Chen KC, Yeh CJ, Tung LC, Yang JF, Yang SF, Wang CH. Relevant factors influencing flatfoot in preschool-aged children. *Eur J Pediatr.* 2011b; **170**: 931-936.
- Cheng JC, Leung SS, Leung AK, Guo X, Sher A, Mak AF. Change of foot size with weightbearing. A study of 2829 children 3 to 18 years of age. *Clin Orthop Relat Res.* 1997: 123-131.

- Chillón P, Tercedor P, Delgado M, González-Gross M. Actividad físico-deportiva en escolares adolescentes. *Retos Nuevas tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*. 2002; **1**: 5-12.
- Chyn Chu W, Lee SH, Chu W, Wang TJ, Lee MC. The use of arch index to characterize arch height: a digital image processing approach. *Biomedical Engineering*. 1995; **2**: 1088-1093.
- Cloughley WB, Mawdsley RH. Effect of running on volume of the foot and ankle. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1995; **22**: 151-154.
- Delgado-Abellán L, Aguado X, Jiménez-Ormeño E, Mecerreyes L, Alegre LM. Foot morphology in Spanish school children according to sex and age. *Ergonomics*. 2014; **57**: 787-797.
- Dogan A, Uslu M, Aydinlioglu A, Harman M, Akpinar F. Morphometric study of the human metatarsals and phalanges. *Clinical Anatomy*. 2007; **20**: 209-214.
- Dowling AM, Steele JR, Baur LA. Does obesity influence foot structure and plantar pressure patterns in prepubescent children? *Int J Obes Relat Metab Disord*. 2001; **25**: 845-852.
- Dowling AM, Steele JR, Baur LA. What are the effects of obesity in children on plantar pressure distributions? *Int J Obes Relat Metab Disord*. 2004; **28**: 1514-1519.

Bibliografía

- Duric S, Ilić D, Nesić G. The detection of the foot status among the volleyball players of the school age. *Activities in Physical Education and Sport*. 2013; **3**: 35-40.
- Echarri JJ, Forriol F. The development in footprint morphology in 1851 Congolese children from urban and rural areas, and the relationship between this and wearing shoes. *J Pediatr Orthop B*. 2003; **12**: 141-146.
- Ekstrand J, Hägglund M, Fuller CW. Comparison of injuries sustained on artificial turf and grass by male and female elite football players. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 2011; **6**: 824-832.
- Ekstrand J, Timpka T, Hägglund M. Risk of injury in elite football played on artificial turf versus natural grass: a prospective two-cohort study. *Br J Sports Med*. 2013; **40**: 975-980.
- El O, Akcali O, Kosay C, Kaner B, Arslan Y, Sagol E, Soylev S, Iyidogan D, Cinar N, Peker O. Flexible flatfoot and related factors in primary school children: a report of a screening study. *Rheumatol Int*. 2006; **26**: 1050-1053.
- Espinoza-Navarro O, Olivares M, Palacios P, Robles N. Prevalencia de anomalías de pie en niños de enseñanza básica de entre 6 a 12 años, de colegios de la ciudad de Arica-Chile. *Int J Morphol*. 2013; **31**: 162-168.

- Ezema CI, Abaraogu UO, Okafor GO. Flat foot and associated factors among primary school children: A cross-sectional study. *Hong Kong Physiotherapy Journal*. 2013.
- Fessler DMT, Haley KJ, Lal RD. Sexual dimorphism in foot length proportionate to stature. *Annals of Human Biology*. 2005; **32**: 44-59.
- Ford KR, Manson NA, Evans BJ, Myer GD, Gwin RC, Heidt RS, Jr., Hewett TE. Comparison of in-shoe foot loading patterns on natural grass and synthetic turf. *J Sci Med Sport*. 2006; **9**: 433-440.
- Fourchet F, Kelly L, Horobeanu C, Loepelt H, Taiar R, Millet GP. Comparison of plantar pressure distribution in adolescent runners at low vs. high running velocity. *Gait & Posture*. 2012; **35**: 685-687.
- Fuller CW, Dick RW, Corlette J, Schmalz R. Comparison of the incidence, nature and cause of injuries sustained on grass and new generation artificial turf by male and female football players. Part 1: match injuries. *Br J Sports Med*. 2007a; **41**.
- Fuller CW, Dick RW, Corlette J, Schmalz R. Comparison of the incidence, nature and cause of injuries sustained on grass and new generation artificial turf by male and female football players. Part 2: training injuries. *Br J Sports Med*. 2007b; **41**.

Bibliografía

- García-Rodríguez A, Martín-Jiménez F, Carnero-Varo M, Gómez-Gracia E, Gómez-Aracena J, Fernández-Crehuet J. Flexible flat feet in children: a real problem? *Pediatrics*. 1999; **103**: e84.
- Girard O, Eicher F, Fourchet F, Micallef JP, Millet GP. Effects of the playing surface on plantar pressures and potential injuries in tennis. *Br J Sports Med*. 2007; **41**: 733-738.
- Girard O, Micallef JP, Millet GP. Effects of the playing surface on plantar pressures during the first serve in tennis. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2010; **5**: 384-393.
- Goonetilleke RS, Luximon A. Designing for comfort: a footwear application. *Proceedings of the International Conference on Computer-Aided Ergonomics and Safety*. Maui, Hawaii: ETSEIB-UPC, 2001.
- Grabara M. Influence of football training on alignment of the lower limbs and shaping of the feet. *Human Movement*. 2008; **9**: 46-50.
- Grund T, Senner V. Traction behavior of soccer shoe stud designs under different game-relevant loading conditions. *Procedia Engineering, Elsevier*. 2010; **2**: 2783-2788.
- Gurney JK, Kersting UG, Rosenbaum D. Dynamic foot function and morphology in elite rugby league athletes of different ethnicity. *Applied Ergonomics*. 2009; **40**: 554-559.

- Hennig EM, Sterzing T. The influence of soccer shoe design on playing performance: a series of biomechanical studies. *Footwear Science*. 2010; **2**: 3-11.
- Hills AP, Hennig EM, McDonald M, Bar-Or O. Plantar pressure differences between obese and non-obese adults: a biomechanical analysis. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 2001; **25**: 1674-1679.
- Ho IJ, Hou YY, Yang CH, Wu WL, Chen SK, Guo LY. Comparison of plantar pressure distribution between different speed and incline during treadmill jogging. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2010; **9**: 154-160.
- Hong Y, Wang L, Xu DQ, Li JX. Gender differences in foot shape: a study of Chinese young adults. *Sports Biomechanics*. 2011; **10**: 85-97.
- Houston VL, Luo G, Mason CP, Mussman M, Garbarini M, Beattie AC. Changes in male foot shape and size with weightbearing. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2006; **96**: 330-343.
- Igbigbi PS, Msamati BC. The footprint ratio as a predictor of pes planus: a study of indigenous Malawians. *The Journal of Foot & Ankle Surgery*. 2002; **41**: 394-397.
- Inoubli M. Adolescent young football players and their sole arch indices. *Acta Kinesiologica*. 2010; **4**: 28-30.

Bibliografía

- IBV. *El pie calzado: guía para el asesoramiento en la elección del calzado infantil*. Valencia: Ed. Martín Impresores SL 1999.
- Jacob HAC. Forces acting in the forefoot during normal gait - an estimate. *Clinical Biomechanics*. 2001; **16**: 783-792.
- Jacobsson S, Kjellmer I. Accumulation of Fluid in Exercising Skeletal Muscle. *Acta Physiol Scand*. 1964; **60**: 286-292.
- Janisse DJ. The art and Science of fitting shoes. *Foot & Ankle*. 1992; **13**: 257-262.
- Jankowicz-Szymanska A, Mikolajczyk E. Effect of excessive body weight on foot arch changes in preschoolers. A 2-Year follow-up study. *Journal of the American Podiatric Medical Association*. 2015; **105**: 313-319.
- Jiménez-Ormeño E, Aguado X, Delgado-Abellán L, Mecerreyes L, Alegre LM. Foot morphology in normal-weight, overweight, and obese schoolchildren. *Eur J Pediatr*. 2013; **172**: 645-652.
- Kordi R, Hemmati F, Heidarian H, Ziaee V. Comparison of the incidence, nature and cause of injuries sustained of dirt field and artificial turf field by amateur football players. *Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy & Technology*. 2011; **3**.
- Kouchi M. Foot dimensions and foot shape: Differences due to growth, generation and ethnic origin. *Anthropological Science*. 1998; **106**: 161-188.

- Krauss I, Grau S, Janssen P, Maiwald C, Mauch M, and Horstmann T. Gender differences in foot shape. *In Proceedings of the 7th Symposium on Footwear Biomechanics*. 2005.
- Krauss I, Grau S, Mauch M, Maiwald C, Horstmann T. Sex-related differences in foot shape. *Ergonomics*. 2008; **51**: 1693-1709.
- Krauss I, Valiant G, Horstmann T, Grau S. Comparison of female foot morphology and last design in athletic footwear - Are men's lasts appropriate for women? *Research in Sports Medicine*. 2010; **18**: 140-156.
- Kuhlman SM, Sabick MB, Pfeiffer R, Cooper B, Forhan J. Effect of loading condition on traction coefficient between shoes and artificial turf surfaces. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*. 2010.
- Kulthanan T, Techakampuch S, Bed ND. A study of footprints in athletes and non-athletic people. *J Med Assoc Thai*. 2004; **87**: 788-793.
- Laguna M, Alegre LM, Aznar S, Abián J, Martín L, Aguado X. ¿Afecta el sobrepeso a la huella plantar y al equilibrio de niños en edad escolar? *Apunts Med Esport*. 2010; **45**: 9-16.
- Lake MJ. Determining the protective function of sports footwear. *Ergonomics*. 2000; **43**: 1610-1621.

Bibliografía

- Lara-Diéguez S, Lara-Sánchez AJ, Zagalaz-Sánchez ML, Martínez-López EJ. Análisis de los diferentes métodos de evaluación de la huella plantar. *Retos Nuevas tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación* 2011; **19**: 49-53.
- Leung AKL, Cheng JCY, Mak AFT. A cross-sectional study on the development of foot arch function of 2715 Chinese children. *Prosthetics and Orthotics International*. 2005; **29**: 241-253.
- Lichota M, Plandowska M, Mil P. The arches of the feet of competitors in selected sporting disciplines. *Pol J Sport Tourism*. 2013; **20**: 135-140.
- López-Elvira JL, Meana M, Vera FJ, García JA. Respuestas, adaptaciones y simetría de la huella plantar producidas por la práctica de la marcha atlética. *CCD*. 2006; **3**: 21-26.
- López N, Albuquerque F, Santos M, Sánchez M, Domínguez R. Evaluation and analysis of the footprint of young individuals. A comparative study between football players and non-players. *Eur J Anat*. 2005; **9**: 135-142.
- Luo GM, Houston VL, Mussman M, Garbarini MA, Beattie AC, Thongpop C. Comparison of male and female foot shape. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2009; **99**.

- Man IOW, Glover K, Nixon P, Poyton R, Terre R, Morrissey MC. Effect of body position on foot and ankle volume in healthy subjects. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2004; **24**: 323-326.
- Manna I, Pradhan D, Ghosh S, Kar SK, Dhara P. A comparative study of foot dimesion between adult male and female and evaluation of foot hazards due to using of footwear. *J Physiol Anthropol*. 2001; **20**: 241-246.
- Mantini S, Bruner e, Colaiacomo B, Ciccarelli A, Redaelli A, Ripani M. Preliminary baropodometric analysis of young soccer players while walking: geometric morphometrics and comparative evaluation. *J Sports Med Phys Fitness*. 2012; **52**: 144-150.
- Mauch M, Grau S, Krauss I, Maiwald C, Horstmann T. Foot morphology of normal, underweight and overweight children. *Int J Obes (Lond)*. 2008a; **32**: 1068-1075.
- Mauch M, Mickle KJ, Munro BJ, Dowling AM, Grau S, Steele JR. Do the feet of German and Australian children differ in structure? Implications for children's shoe design. *Ergonomics*. 2008b; **51**: 527-539.
- Mauch M, Grau S, Krauss I, Maiwald C, Horstmann T. A new approach to children's footwear based on foot type classification. *Ergonomics*. 2009; **52**: 999-1008.

Bibliografía

- Mauch M. From laboratory to an in-store concept! An exemplary methodology to combine footwear science and shoe design in kids' feet! *Footwear Science*. 2011; **3**: 103-104.
- Mayrovitz HN. Posturally induced leg vasoconstrictive responses: relationship to standing duration, impedance and volume changes. *Clin Physiol*. 1998; **18**: 311-319.
- McWhorter JW, Landers M, Wallmann H, Altenburger P, Berry K, Tompkins D, Higbee C. The effects of loaded, unloaded, dynamic, and static activities on foot volumetrics. *Physical Therapy in Sport*. 2006; **7**: 81-86.
- McWhorter JW, Wallmann H, Landers M, Altenburger B, LaPorta-Krum L, Altenburger P. The effects of walking, running, and shoe size on foot volumetrics. *Physical Therapy in Sport*. 2003; **4**: 87-92.
- Meyers MC. Incidence, mechanisms, and severity of game-related college football injuries on fieldturf versus natural grass. *The American Journal of Sports Medicine*. 2010; **38**: 687-697.
- Mickle KJ, Steele JR, Munro BJ. The feet of overweight and obese young children: are they flat or fat? *Obesity (Silver Spring)*. 2006; **14**: 1949-1953.
- Mickle KJ, Steele JR, Munro BJ. Is the foot structure of preschool children moderated by gender? *J Pediatr Orthop*. 2008; **28**: 593-596.

- Mickle KJ, Cliff DP, Munro BJ, Okely AD, Steele JR. Relationship between plantar pressures, physical activity and sedentariness among preschool children. *J Sci Med Sport*. 2011; **14**: 36-41.
- Milburn PD, Barry EB. Shoe-surface interaction and the reduction of injury in rugby union. *Sports Med*. 1998; **25**: 319-327.
- Moholkar K, Fenelon G. Diurnal variations in volume of the foot and ankle. *Foot & Ankle Surgery*. 2001; **40**: 302-304.
- Morrison SC, Durward BR, Watt GF, Donaldson MD. Prediction of anthropometric foot characteristics in children. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2009; **99**: 497-502.
- Müller S, Carlsohn A, Muller J, Baur H, Mayer F. Static and dynamic foot characteristics in children aged 1-13 years: a cross-sectional study. *Gait Posture*. 2012; **35**: 389-394.
- Müller C, Sterzing T, Lake M, Milani TL. Different stud configurations cause movement adaptations during a soccer turning movement. *Footwear Science*. 2010; **2**: 21-28.
- Nagel A, Fernholz F, Kibele C, Rosenbaum D. Long distance running increases plantar pressures beneath the metatarsal heads: a barefoot walking investigation of 200 marathon runners. *Gait Posture*. 2008;**27**: 152-155.

Bibliografía

- Ozden H, Balci Y, Demirüstü C, Turgut A, Ertugrul M. Stature and sex estimate using foot and shoe dimensions. *Forensic Science International*. 2005; **147**: 181-184.
- Ozer CM, Barut C. Evaluation of the sole morphology of professional football players. *International SportMed Journal*. 2012; **13**: 8-17.
- Pasley JD, O'Connor PJ. High day-to-day reliability in lower leg volume measured by water displacement. *Eur J Appl Physiol*. 2008; **103**: 393-398.
- Plaza-Carmona M, Vicente-Rodríguez G, Martín-García M, Burillo P, Felipe JL, Mata E, Casajús JA, Gallardo L, Ara I. Influence of hard vs. soft ground surfaces on bone accretion in prepubertal footballers. *Int J Sports Med*. 2013; **34**: 1-7.
- Pfeiffer M, Kotz R, Ledl T, Hauser G, Sluga M. Prevalence of flat foot in preschool-aged children. *Pediatrics*. 2006; **118**: 634-639.
- Pridalová M, Riegerová J. Child's foot morphology. *Acta Univ Palacki Olomuc Gymn*. 2005; **35**: 75-86.
- Puszczalowska-Lizis E. Correlations between the transverse arch of the foot and chosen morphological characteristics in young adults. *Physiotherapy*. 2011; **19**: 3-9.
- Rao UB, Joseph B. The influence of footwear on the prevalence of flat foot. A survey of 2300 children. *J Bone Joint Surg Br*. 1992; **74**: 525-527.

- Reel S, Rouse S, Vernon W, Doherty P. Estimation of stature from static and dynamic footprints. *Forensic Science International*. 2011.
- Revenga-Giertych C, Bulo-Concellón MP. El pie plano valgo: Evolución de la huella plantar y factores relacionados. *Rev Ortop Traumatol*. 2005; **49**: 271-280.
- Riddiford-Harland DL, Steele JR, Storlien LH. Does obesity influence foot structure in prepubescent children? *Int J Obes Relat Metab Disord*. 2000; **24**: 541-544.
- Riddiford-Harland DL, Steele JR, Baur LA. Are the feet of obese children fat or flat? Revisiting the debate. *Int J Obes (Lond)*. 2011; **35**: 115-120.
- Sacco ICN, Onodera AN, Bosch K, Rosenbaum D. Comparison of foot anthropometry and plantar arch indices between German and Brazilian children. *BMC Pediatrics*. 2015; **15**.
- Sachithanandam V, Joseph B. The influence of footwear on the prevalence of flat foot. A survey of 1846 skeletally mature persons. *J Bone Joint Surg Br*. 1995; **77**: 254-257.
- Singla R, Biswas M, Bedi M, Bedi S. Gender differences of foot dimensions: a study on Rajasthani Jats and North Indian mixed population. *Journal of Punjab Academy of Forensic Medicine & Toxicology*. 2015; **15**.

Bibliografía

- Sirgo G, Aguado X. Estudio del comportamiento de la huella plantar en jugadores de voleibol después del esfuerzo considerando su composición corporal y somatotipo. *Apunts Med Esport*. 1991b; **18**: 207-212.
- Staheli LT, Chew DE, Corbett M. The longitudinal arch. A survey of eight hundred and eighty-two feet in normal children and adults. *J Bone Joint Surg Am*. 1987; **69**: 426-428.
- Stavlas P, Grivas TB, Michas C, Vasiliadis E, Polyzois V. The evolution of foot morphology in children between 6 and 17 years of age: a cross-sectional study based on footprints in a Mediterranean population. *J Foot Ankle Surg*. 2005; **44**: 424-428.
- Sfeffen K, Andersen TE, Bahr R. Risk of injury on artificial turf and natural grass in young female football players. *Br J Sports Med*. 2007; **41**.
- Stick C, Stofen P, Witzleb E. On physiological edema in man's lower extremity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1985; **54**: 442-449.
- Soligard T, Bahr R, Andersen TE. Injury risk on artificial turf and grass in youth tournament football. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 2012; **22**: 356-361.
- Soper C, Hume P, Cheung K, Benschop A. Foot morphology of junior football players: implications for football shoe design. *Australian Conference of Science and Medicine in Sport*. 2001: 15-16.

- Tomassoni D, Traini E, Amenta F. Gender and age related differences in foot morphology. *Maturitas Elsevier*. 2014; **79**: 421-427.
- Tessutti V, Ribeiro AP, Trombini-Souza F, Sacco ICN. Attenuation of foot pressure during running on four different surfaces: asphalt, concrete, rubber, and natural grass. *Journal of Sports Sciences*. 2012; **30**: 1545-1550.
- Tessutti V, Trombini-Souza F, Ribeiro AP, Nunes AL, Sacco ICN. In-shoe plantar pressure distribution during running on natural grass and asphalt in recreational runners. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2010; **13**: 151-155.
- Tsung BY, Zhang M, Fan YB, Boone DA. Quantitative comparison of plantar foot shapes under different weight-bearing conditions. *J Rehabil Res Dev*. 2003; **40**: 517-526.
- Uzel M, Cetinus E, Ekerbicer C, Karaoguz A. The influence of athletic activity on the plantar fascia in healthy young adults. *Journal of Clinical Ultrasound*. 2006; **34**.
- Villarroya MA, Esquivel JM, Tomas C, Moreno LA, Buenafe A, Bueno G. Assessment of the medial longitudinal arch in children and adolescents with obesity: footprints and radiographic study. *Eur J Pediatr*. 2009; **168**: 559-567.

Bibliografía

- Villarroya MA, Manuel Esquivel J, Tomas C, Buenafe A, Moreno L. Foot structure in overweight and obese children. *Int J Pediatr Obes.* 2008; **3**: 39-45.
- Vukasinovic ZS, Spasovski DV, Matanovic DD, Zivkovic ZM, Stevanovic VB, Janicic RR. Flatfoot in children. *Acta chirurgica Iugoslava.* 2011; **58**: 103-106.
- Walter JH, Ng GK. The evaluation of cleated shoes with the adolescent athlete in soccer. *The Foot.* 2002; **12**: 158-165.
- Wang L, Hong Y, Li JX, Zhou JH. Comparison of plantar loads during running on different overground surfaces. *Research in Sports Medicine.* 2012; **20**: 75-85.
- Wannop JW, Luo G, Stefanyshyn D. Wear influences footwear traction properties in Canadian high school football. *Footwear Science.* 2009; **1**: 121-127.
- Willems TM, De Ridder R, Roosen P. The effect of a long-distance run on plantar pressure distribution during running. *Gait Posture.* 2012; **35**: 405-409.
- Witana CP, Feng J, Goonetilleke RS. Dimensional differences for evaluating the quality of footwear fit. *Ergonomics.* 2004; **47**: 1301-1317.

- Wong PL, Chamari K, Mao de W, Wisloff U, Hong Y. Higher plantar pressure on the medial side in four soccer-related movements. *Br J Sports Med.* 2007; **41**: 93-100.
- Wozniacka R, Bac A, Matusik S, Szczygiel E, Ciszek E. Body weight and the medial longitudinal foot arch: high-arched foot, a hidden problem? *Eur J Pediatr.* 2013; **172**.
- Xiong S, Goonetilleke RS, Witana CP, Lee Au EY. Modelling foot height and foot shape-related dimensions. *Ergonomics.* 2008; **51**: 1272-1289.
- Xiong S, Goonetilleke RS, Zhao J, Li W, Witana CP. Foot deformations under different load-bearing conditions and their relationships to stature and body weight. *Anthropological Science.* 2009; **117**: 77-88.
- Yamaner F, Karacabey K, Kavlak Y, Sevindi T. Foot morphology of Turkish football players according to foot preference. *African Journal of Biotechnology.* 2011; **10**: 5102-5108.

Bibliografía

Anexos

10. Anexos

Anexo I. Artículos publicados y Comunicados en Congresos

Artículos:

- Delgado-Abellán L, Aguado X, Jiménez-Ormeño E, Mecerreyes L, Alegre LM. Efectos del ejercicio continuo e intermitente sobre la huella plantar. *Archivos de Medicina del Deporte*. 2012; **25**: 527-535.
- Delgado-Abellán L, Aguado X, Jiménez-Ormeño E, Mecerreyes L, Alegre LM. Foot morphology in Spanish school children according to sex and age. *Ergonomics*. 2014; **57**: 787-797.

Presentaciones en congresos:

- *Efectos del ejercicio intermitente sobre las dimensiones del pie*. VII Curso de Medicina y Traumatología del Deporte y VI Jornadas Regionales de Promoción de la Salud y el Ejercicio Físico celebradas en Toledo, 16 de Enero de 2010.
- *Morfología del pie en tres dimensiones: estudio de fiabilidad*. IV Jornadas Nacionales de Medicina del Deporte celebradas en el Hospital Universitario de San Joan de Reus (Tarragona), 18-19 de Noviembre de 2011.

EFFECTOS DEL EJERCICIO CONTINUO E INTERMITENTE SOBRE LA HUELLA PLANTAR

EFFECTS OF CONTINUOUS AND INTERMITTENT EXERCISE ON THE FOOTPRINT RECORD

RESUMEN

Introducción: Este estudio buscó comparar los cambios producidos en la huella plantar por los desplazamientos intermitentes en el fútbol sala y la carrera continua, y estudiar las diferencias en la respuesta entre hombres y mujeres.

Material y métodos: Participaron 10 hombres (edad: 20.4 ± 1.4 años) y 10 mujeres sanos y moderadamente activos. Realizaron 3 sesiones distintas: un circuito dentro de un campo de fútbol sala con distintas direcciones y velocidades de carrera, una sesión de carrera continua con el mismo volumen del circuito (2500 m) y 30 minutos de carrera continua. Antes y después de las pruebas se analizaron las longitudes de la huella plantar y las áreas y anchuras de antepié, mediopié y retropié.

Resultados y conclusiones: Las tres sesiones provocaron cambios significativos en las dimensiones de la huella plantar (0.1-9.1%) aunque sólo la anchura del mediopié fue sensible al número de apoyos en los 30 minutos de carrera (8.0%, $P < 0.01$). En el resto de parámetros analizados no hubo diferencias entre sesiones, lo que indica que a partir de un determinado número de apoyos, la huella plantar no cambiaba más, independientemente del volumen o la intensidad del ejercicio. La mayoría de estos cambios fueron similares en hombres y mujeres.

Palabras clave: Pie. Índice del arco. Fútbol sala. Carrera. Calzado.

SUMMARY

Introduction: This study aimed to analyze the changes in the footprint record produced by a simulated futsal course and continuous running. A secondary purpose was to analyze the response differences between men and women.

Methods: Ten active and healthy men (age: 20.4 ± 1.4 years) and 10 women (age: 19.9 ± 1.4 years) volunteered for the study. They performed 3 exercise sessions: an interval running course into a futsal pitch, a continuous running task with the same distance of the course (2500 m) and 30 minutes of continuous running. Before and after the exercise sessions the foot lengths, widths and areas (forefoot, midfoot, rearfoot) were analyzed from the footprint record.

Results and conclusions: All the exercise sessions led to significant changes the footprint parameters (0.1-9.1%). Nonetheless, only the midfoot width changed differently by the greater number of steps performed (+8.0%, $P < 0.01$). The rest of the parameters showed no differences among sessions, thus it seems that, from a given number of steps, the footprint dimensions did not show greater changes, despite the differences in exercise volume or step intensity. Most of these changes were similar between men and women.

Key words: Foot. Arch Index. Futsal. Running. Footwear.

*Laura Delgado-Abellán¹

*Xavier Aguado²

*Ester Jiménez-Ormeño¹

**Laura Mecerreyes³

*Luis M. Alegre⁴

¹Graduada en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

²Licenciado en Educación Física, Doctor por la Universidad de Barcelona

³Ingeniera Agrónoma

⁴Licenciado en Educación Física, Doctor por la Universidad de Castilla La Mancha

*Grupo de Biomecánica Humana y Deportiva, Universidad de Castilla-La Mancha. Toledo, España.

**ASIDCAT (Asociación de Investigación y Desarrollo del Calzado y Afines de Toledo). Fuensalida, Toledo, España

CORRESPONDENCIA:

Luis Alegre Durán
Universidad de Castilla-La Mancha
Facultad de Ciencias del Deporte. Avenida Carlos III, s/n. 45071, Toledo (España)
E-mail: luis.alegre@uclm.es

Aceptado: 20.02.2012 / Original n° 600

INTRODUCCIÓN

El pie es una estructura formada por múltiples articulaciones que se adapta ante situaciones que implican altas cargas mecánicas, como la carrera. Por ello, la actividad física provoca cambios en las medidas del pie^{1,2}. El conocimiento de estos cambios y de su magnitud puede ser útil tanto para los profesionales de la actividad física y el deporte, como para aquellos que estudian las interacciones entre el pie y el calzado.

La mayoría de los estudios de la bibliografía demuestran que la actividad física vigorosa modifica las dimensiones del pie. Por ejemplo, el estudio realizado por Cloughley & Mawdsley³ mostraba diferencias significativas entre los cambios provocados por 20 minutos de marcha y 20 de carrera y McWorther *et al.*⁴ encontraron diferencias tras sólo 12 minutos de carrera. Treinta minutos de marcha atlética también provocaba cambios en las dimensiones del pie medidas a partir de la huella plantar². Los estudios realizados con ejercicio intermitente como el voleibol^{5,6} muestran resultados contradictorios. El trabajo de Sirgo *et al.*⁶ muestra diferencias en las dimensiones de la huella plantar tras el ejercicio, mientras que el de Chalk *et al.*⁵ no encontró diferencias en las dimensiones del pie tras un partido de voleibol. Sin embargo, este último trabajo presentaba limitaciones metodológicas relacionadas con el reducido número de jugadores analizados para llegar a esas conclusiones.

Por lo tanto, no hemos encontrado trabajos que hayan estudiado los efectos del volumen y la intensidad de los apoyos sobre las dimensiones del pie. Además, varios de los estudios anteriores sólo se centraron en el volumen total del pie³⁻⁵ sin analizar la zona de contacto del pie con el suelo. El análisis de la huella plantar, además de

informar de forma indirecta sobre los cambios en las dimensiones del pie, nos puede mostrar si existen cambios transitorios en el apoyo entre antes y después del ejercicio.

Un ejemplo de deporte que implica carrera intermitente y que es ampliamente practicado es el fútbol-sala⁷. El estudio de Barbero-Álvarez *et al.*⁸ realizó una cuantificación de la distancia total y los rangos de velocidades utilizados durante un partido de fútbol-sala. Esto nos permite poder comparar un volumen de carrera intermitente de intensidad variable con un volumen similar de carrera continua.

McWorther *et al.*⁴ también analizaron el efecto de andar y correr sobre el pie y en los resultados obtenidos se podía observar que hombres y mujeres respondían de forma diferente, ya que no existían diferencias en el grupo de hombres tras andar 12 minutos, y sí se producían diferencias en el grupo de mujeres. Esto parece indicar que las dimensiones de los pies de hombres y mujeres responden de forma distinta al ejercicio.

El propósito de este estudio ha sido realizar una comparación entre los cambios producidos en la huella plantar por los desplazamientos que se producen en el fútbol sala y la carrera continua. Un objetivo secundario fue estudiar las diferencias en la respuesta entre hombres y mujeres.

MATERIAL Y MÉTODO

Participantes

Participaron 20 estudiantes de Ciencias del Deporte (10 mujeres y 10 hombres), con las características que aparecen en la Tabla 1.

Se excluyó a aquellos que presentaban lesiones recientes en cualquier parte de la extremidad inferior, trastornos en la estructura del pie, infecciones en los pies y que fueran incapaces de recorrer 2500 m en un mínimo de 20 minutos. Todos los participantes, excepto una mujer (27.1 kg•m⁻²) tenían un IMC por debajo de 25 kg•m⁻², con un valor medio de IMC de 21.9 (2.2) kg•m⁻².

TABLA 1.
Características
de los
participantes
del estudio

| | Edad (años) | Masa (kg) | Estatura (m) |
|----------------|-------------|------------|--------------|
| Hombres n = 10 | 20.4 (1.4) | 68.9 (5.6) | 1.75 (0.06) |
| Mujeres n = 10 | 19.9 (1.4) | 55.7 (8.9) | 1.61 (0.07) |

Por todo esto entendemos que los resultados no fueron influidos por valores extremos de IMC, tal y como ha sido demostrado previamente en la bibliografía⁹. Todos los participantes fueron informados de los objetivos y posibles riesgos del estudio, y firmaron un consentimiento informado. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de Castilla-La Mancha.

Procedimiento

Cada participante tomó parte en tres sesiones distintas durante un período de tres semanas en la misma franja horaria utilizando siempre el mismo calzado deportivo. Las tres sesiones incluyeron un circuito dentro de un campo de fútbol sala, una sesión de carrera continua con el mismo volumen del circuito (2500 m) y otra sesión de 30 minutos de carrera continua. La actividad a realizar era asignada al azar a cada participante y entre ellas transcurría una semana de descanso. Antes y después de las pruebas se tomaban las medidas del pie dominante (Figura 1).

Instrumentos

Todas las medidas se obtuvieron realizando fotopodogramas siguiendo el protocolo de Aguado, Izquierdo & González¹⁰. El sujeto se situaba de pie en apoyo bipodal con los pies paralelos separados a la anchura de los hombros y se obtenía un registro de alta calidad de la huella plantar de su pie dominante mediante papel fotográfico y revelador.

Todos los fotopodogramas fueron digitalizados con la ayuda del programa AreaCalc¹¹ que aplica el protocolo de Cavanagh & Rodgers¹².

Variables

Las variables analizadas aparecen en la Figura 2.

Medidas

Todos los sujetos fueron pesados y medidos en la primera sesión de ejercicio. Antes de cada sesión se tomaba el registro de la huella plantar en el pie dominante tras estar 10 minutos tumbados en

decúbito supino sin calzado⁴. Estos 10 minutos servían para las medidas del pie retornasen a su estado basal, antes de los registros de la huella plantar. Las medidas se tomaron en el lugar de la actividad para evitar desplazamientos previos o posteriores a esta. Justo al terminar cada prueba se volvieron a tomar las mismas medidas. Como situación control se compararon las medidas tomadas en basal antes de las sesiones de ejercicio.

Sesiones de ejercicio

El circuito se realizó en el pabellón polideportivo por el perímetro de una pista de fútbol sala (20 × 40 m). El volumen total fue de 2460 m distribuidos entre las diferentes velocidades y en ambos sentidos de giro para que se repartiesen de forma homogénea los impactos sobre ambos pies. Este circuito se diseñó teniendo en cuenta el estudio de Barbero-Álvarez *et al.*⁸ en el cual se especifican las distancias cubiertas en cada una de las partes de un partido de fútbol sala y el porcentaje que es realizado a cada una de las

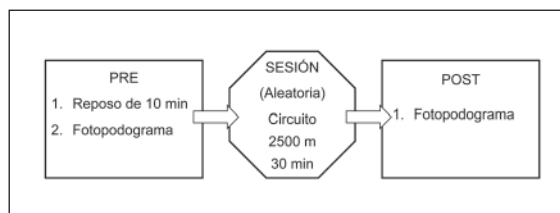


FIGURA 1. Diseño del estudio

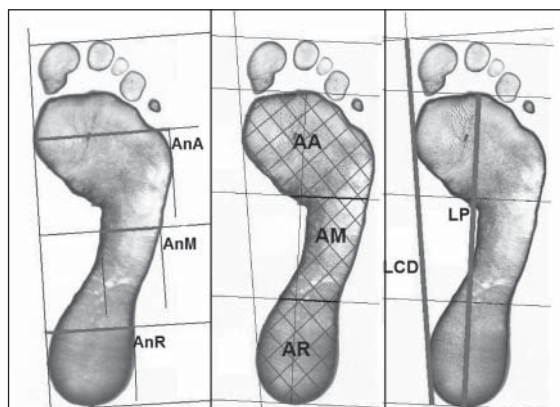


FIGURA 2. Variables de la huella plantar analizadas mostradas sobre el registro de la huella plantar. Abreviaturas: Área antepié (AA) mm², Área medio-pié (AM) mm², Área retropié (AR) mm², Índice del arco (AI)¹², Longitud pie con dedos (LCD) cm², Longitud pie sin dedos (LP) cm², Área total (AT)²⁵ mm², Anchura antepié (AnA)²² cm², Anchura mediopié (AnM) cm², Anchura retropié (AnR)²⁵ cm²

velocidades. Se trabajó sólo con los datos de la primera parte (Tabla 2).

Las pruebas de 2500 m y 30 minutos se desarrollaron en un circuito exterior de tierra y plano. Los participantes debían completar un total de 2500 m y 30 minutos de carrera a velocidad constante, en los rangos de velocidades descritos en la Tabla 2. Las sesiones de 2500 m y de 30 minutos fueron realizadas por cada participante a una misma velocidad de carrera. Las velocidades de ejecución de ambas pruebas (2500 m y 30 minutos) fueron determinadas tras realizar un estudio piloto con 5 sujetos, y correspondían a la máxima velocidad que eran capaces de mantener para completar la prueba a una velocidad constante. La prueba de 2500 m vino determinada por el volumen total desarrollado en el circuito (2460 m) para poder establecer una comparación objetiva entre ambas situaciones. Finalmente, se incluyó la prueba de 30 minutos para comparar dos sesiones con la misma intensidad pero distinto volumen. La velocidad de las tres sesiones se controló con cronometraje manual.

Estadística

Todos los resultados han sido expresados como medias (SD). Se utilizó el software SPSS v. 17 para Windows®, tomando como nivel de significación $P < 0.05$. Se usó un ANOVA factorial de tres vías ($3 \times 2 \times 2$; sesión \times sexo \times momento de la medición) para estudiar las posibles diferencias en la respuesta al ejercicio entre hombres y mujeres. Cuando se halló un efecto principal significativo, se emplearon pruebas t para mues-

tras relacionadas para comparar los valores entre antes y después del ejercicio, y un ANOVA de un factor con el post hoc de Bonferroni para analizar las diferencias entre las tres sesiones. En base a las variables de áreas, anchuras y longitudes, los rangos de número mínimo de sujetos estimado para obtener significación estadística con un error α de 0.05 y una potencia de 0.8 ($1 - \beta$) iban de 7 a 17. Este número ha sido calculado con las fórmulas propuestas por Hopkins¹³, a partir de los datos de un estudio piloto realizado con 10 sujetos.

La fiabilidad de las mediciones se calculó mediante los Coeficientes de Correlación Intraclase (ICC) y los coeficientes de variación (CV), comparando las medidas tomadas en basal en las sesiones del Circuito y los 2500 m.

RESULTADOS

Los ICCs para las medidas del estudio, hallados al comparar las medidas de la situación control se presentan en la Tabla 3. Todos estaban por encima de 0.95, excepto en la anchura del retropié, donde el ICC era de 0.901. Los CVs iban del 0.3 al 4.5%. Además, no se encontraron diferencias significativas en la comparación de ninguna de las variables.

Al comparar las medidas antes y después del ejercicio, se encontraron diferencias significativas en las tres sesiones, siendo los cambios porcentuales en cada variable: área total de la huella (Circuito: 3.1%; 30 minutos: 3.3% y 2500 m: 2.7%; $P < 0.001$), área del antepié (Circuito: 3.0%; 30

TABLA 2.
Resumen de las velocidades y volúmenes utilizadas en cada sesión de entrenamiento

| Sesión de ejercicio | Velocidades (m/s) | Series | Volumen (m) | Volumen total (m) |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------|-------------------|
| Circuito | 0.2-1 | 5 \times 40 m | 200 | 2460 |
| | 1.1-3 | 10 \times 100 m | 1000 | |
| | 3.1-5 | 18 \times 40 m | 720 | |
| | 5.1-7 | 17 \times 20 m | 340 | |
| | >7.1 | 10 \times 20 m | 200 | |
| 2500 m | 2.08-2.7 | -- | -- | 2500 |
| 30 minutos | 2.08-2.7 | -- | -- | 3750-4850 |

minutos: 2.7% y 2500 m: 2.8%; $P < 0.001$) y área del mediopié (Círculo: 5.4%; 30 minutos: 9.1% y 2500 m: 3.5%; $P < 0.001$, $P < 0.01$ y $P < 0.05$, respectivamente) siendo esta la variable que mayores cambios experimentó. Otras variables que cambiaron al menos en dos de las tres sesiones fueron el IA, el área de retropié y la anchura del mediopié (Tabla 4). Los cambios porcentuales fueron muy similares en las tres sesiones en todas las dimensiones de la huella excepto en la anchura del mediopié. El ANOVA de tres factores reveló una interacción significativa ($P < 0.05$) entre los cambios provocados en la anchura del mediopié por el Círculo (1.7%) y la sesión de 30 minutos (8.0%, $P < 0.01$). Esta variable, junto con el área del mediopié (9.1%, $P < 0.01$) fue la que más cambió en las tres sesiones.

Al comparar entre hombres y mujeres, se encontraron diferencias significativas en todas las dimensiones del pie excepto en el índice del arco (Tabla 5). No se encontraron diferencias en los cambios en la huella plantar entre hombres y mujeres, excepto en la anchura del antepié, donde encontramos una interacción significativa sexo \times medición ($P < 0.05$) en la anchura del antepié.

DISCUSIÓN

La metodología utilizada, aunque sencilla, ha demostrado ser sensible y reproducible. Además de

los altos valores en las pruebas de fiabilidad, no se encontraron diferencias significativas al comparar las tres medidas en reposo. Esto concuerda con estudios como los de Moholkar & Fenelon¹⁴ el cual mostraba que a lo largo del día las variaciones que se producen en el volumen del pie no son significativas cuando las personas analizadas no realizan una actividad física vigorosa y el de Pasley & O'Connor¹⁵, donde no encontraron diferencias significativas en el volumen de pie al comparar entre días. La principal limitación de este estudio es que las medidas de los cambios en el pie no han sido tomadas directamente sobre la extremidad, sino sobre su superficie de apoyo. Sin embargo, el conocimiento de los cambios en la zona de apoyo tiene un interés potencial para

| Variables | ICC | Coefficiente de variación (%) |
|--------------------|-------|-------------------------------|
| Área antepié | 0.997 | 1.0 |
| Área mediopié | 0.992 | 3.9 |
| Área retropié | 0.993 | 1.4 |
| Índice del arco | 0.990 | 2.9 |
| Long pie con dedos | 0.999 | 0.3 |
| Long pie sin dedos | 0.999 | 0.3 |
| Área total | 0.995 | 1.4 |
| Anchura antepié | 0.996 | 0.5 |
| Anchura mediopié | 0.979 | 4.5 |
| Anchura retropié | 0.901 | 2.0 |

TABLA 3.
Fiabilidad día a día de las variables estudiadas

TABLA 4. Variables de la huella plantar antes y después de las sesiones de ejercicio

| Variables | Pre-ejercicio | | | Post-ejercicio | | | %Diferencia Pre-post | | |
|----------------------------------|---------------|-------------|-------------|----------------|-------------|-------------|----------------------|--------|------------|
| | Círculo | 2500 m | 30 minutos | Círculo | 2500 m | 30 minutos | Círculo | 2500 m | 30 minutos |
| Área antepié (mm ²) | 4147 (580) | 4153 (590) | 4166 (585) | 4274 (625) | 4265 (606) | 4280 (611) | 3.0‡ | 2.8‡ | 2.7‡ |
| Área mediopié (mm ²) | 2038 (613) | 2080 (601) | 2038 (657) | 2142 (620) | 2159 (641) | 2176 (609) | 5.4‡ | 3.5* | 9.1† |
| Área retropié (mm ²) | 2778 (422) | 2781 (420) | 2777 (452) | 2829 (442) | 2827 (414) | 2801 (400) | 1.8† | 1.7† | 1.2 |
| Índice del arco | 0.22 (0.04) | 0.23 (0.04) | 0.22 (0.05) | 0.22 (0.04) | 0.23 (0.04) | 0.23 (0.04) | 2.1* | 0.8 | 5.5† |
| Longitud pie con dedos (cm) | 23.5 (1.9) | 23.5 (1.9) | 23.5 (1.9) | 23.5 (1.9) | 23.5 (1.9) | 23.4 (1.9) | 0.1 | 0.2 | 0.0 |
| Longitud pie sin dedos (cm) | 20.1 (1.5) | 20.0 (1.5) | 20.1 (1.5) | 20.1 (1.5) | 20.1 (1.5) | 20.1 (1.5) | 0.2 | 0.0 | -0.2 |
| Área total (mm ²) | 8963 (1460) | 9014 (1484) | 8981 (1542) | 9246 (1552) | 9251 (1530) | 9256 (1504) | 3.1‡ | 2.7‡ | 3.3‡ |
| Anchura antepié (cm) | 8.4 (0.6) | 8.4 (0.6) | 8.4 (0.6) | 8.4 (0.6) | 8.3 (0.6) | 8.4 (0.6) | 0.1 | -0.2 | 0.1 |
| Anchura mediopié (cm) | 3.2 (0.6) | 3.2 (0.7) | 3.2 (0.7) | 3.3 (0.6) | 3.4 (0.7) | 3.4 (0.7) | 1.7 | 4.8* | 8.0†§ |
| Anchura retropié (cm) | 5.1 (0.6) | 5.2 (0.5) | 5.1 (0.5) | 5.2 (0.5) | 5.3 (0.7) | 5.1 (0.5) | 0.2 | 0.9 | 0.5 |

Abreviaturas: *: $P < 0.05$; †: $P < 0.01$; ‡: $P < 0.001$; §: Interacción Círculo vs. 30 minutos, $P < 0.05$.

los profesionales de las ciencias de la actividad física y el deporte y para el sector del calzado diseñado para practicar actividad física.

Los resultados de este estudio muestran que una sesión de carrera ejecutada con distintos niveles de volumen e intensidad ha tenido efectos similares sobre el registro de la huella plantar, ya que no se encontraron diferencias al comparar las medidas post-ejercicio de las tres situaciones, aunque los cambios fueron de menor magnitud en la menos intensa y de menor volumen (2500 m). Tres de las variables analizadas en este estudio cambiaron significativamente tras las tres sesiones de ejercicio. Estas variables fueron el área total de la huella (2.6-3.2%), el área del antepié (2.7-3.0%) y el área del mediopié (3.5-9.1%) siendo esta la variable que mayores cambios experimentó. El área del mediopié sufrió los mayores cambios probablemente debido a que pequeños aumentos en sus medidas implicaban grandes cambios porcentuales, debido a su menor tamaño en comparación con el área total de la huella y el área del antepié (Tabla 5).

No se produjeron cambios en las medidas de longitud de la huella, y tampoco existieron diferencias en ninguna de las tres pruebas en las anchuras del antepié y retropié. Los resultados del presente trabajo concuerdan con anteriores estudios en los que el tamaño del

pie aumentaba tras una sesión de ejercicio^{3,4,16}, con aumentos que iban del 1.7% al 3%. En el estudio realizado por Cloughley & Mawdsley³ no se muestran los cambios porcentuales. Sin embargo, los estudios anteriores no analizaron las distintas dimensiones del pie, sino que se centraron en el volumen total. Esto no permitía conocer qué dimensiones eran afectadas más por los cambios transitorios provocados por la actividad física. La ausencia de diferencias entre los cambios producidos en las tres sesiones de ejercicio indica que parece existir un umbral en el número de apoyos a partir del cual mayor número o intensidad de los apoyos no provoca mayores cambios en las medidas de la huella plantar, aunque los mayores cambios porcentuales y la interacción encontrada entre los cambios en el Circuito y los 30 minutos de carrera apuntan a que esta variable era más sensible a los aumentos del volumen de apoyos. Sin embargo, con el diseño del presente estudio no fue posible determinar a partir de qué volumen de apoyos se producía este cambio, por lo que sería interesante en futuras investigaciones aplicar un diseño que analizase este factor. Uno de los mecanismos por los cuales el pie modifica su tamaño con el ejercicio físico es el aumento del fluido intravascular y extravascular^{17,18} aumentando la presión capilar media y el coeficiente de filtración capilar¹⁹. Los cambios en las medidas del pie implican también modificaciones

TABLA 5.
Comparación
entre hombres
y mujeres en
las variables
del circuito
antes del
ejercicio

| Variables | Hombres (n=10) | Mujeres (n=10) | % diferencia |
|----------------------------------|----------------|----------------|--------------|
| Área antepié (mm ²) | 4628 (271) | 3665 (347) | 26.3‡ |
| Área mediopié (mm ²) | 2423 (501) | 1653 (461) | 46.5† |
| Área retropié (mm ²) | 3041 (302) | 2515 (361) | 20.9† |
| Índice del arco | 0.24 (0.03) | 0.21 (0.05) | 14.2 |
| Longitud pie con dedos (cm) | 25.0 (0.7) | 22.0 (1.4) | 12.4‡ |
| Longitud pie sin dedos (cm) | 21.2 (0.7) | 18.9 (1.2) | 28.8‡ |
| Área total (mm ²) | 10093 (869) | 7834 (956) | 11.5‡ |
| Anchura antepié (cm) | 8.9 (0.4) | 7.9 (0.4) | 28.8‡§ |
| Anchura mediopié (cm) | 3.7 (0.5) | 2.9 (0.5) | 13.1† |
| Anchura retropié (cm) | 5.5 (0.6) | 4.9 (0.5) | 14.0* |

Se han omitido el resto de medidas ya que las diferencias eran similares antes y después del ejercicio. Abreviaturas: *: $P < 0.05$; †: $P < 0.01$; ‡: $P < 0.001$; §: Interacción sexo \times medición, $P < 0.05$

en el ajuste con el calzado que afectarán a su comodidad y funcionalidad, por lo que deberían ser tenidos en cuenta por los fabricantes de calzado deportivo.

Al comparar entre sexos se encontraron diferencias significativas entre hombres y mujeres para todas las variables excepto en el IA, encontrándose estos resultados de acuerdo con los mostrados en otros artículos^{15,20-23}. Sin embargo, el ejercicio afectó por igual a hombres y mujeres en casi todas las variables, ya que sólo se encontraron interacciones en el ANOVA de 3 factores en la anchura del antepié, que cambiaba de forma distinta entre antes y después del ejercicio (Tabla 5). Es posible que estas interacciones estuvieran relacionadas con las diferencias antropométricas que existen entre hombres y mujeres²⁴.

En resumen, las tres sesiones de ejercicio realizadas provocaron cambios significativos en las dimensiones de la huella plantar. Sin embargo,

sólo hubo diferencias en la anchura del mediopié. Sólo esta variable era sensible al mayor volumen de apoyos de la sesión de 30 minutos de carrera. En el resto de parámetros analizados no hubo diferencias entre estos cambios, lo que indica que a partir de un determinado número de apoyos, la huella plantar no cambiaba más, independientemente del volumen o la intensidad del ejercicio. La mayoría de estos cambios fueron similares en hombres y mujeres. Estos resultados tienen transcendencia para los profesionales de la actividad física y el deporte interesados en la función del pie, y para aquellos que estudian la interacción pie-calzado.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por los fondos FEDER y por la Consejería de Educación, Ciencia y Cultura de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

B I B L I O G R A F Í A

1. Aydog ST, Ozcakar L, Tetik O, Demirel HA, Hascelik Z, and Doral MN. Relation between foot arch index and ankle strength in elite gymnasts: a preliminary study. *Br J Sports Med* 2005;39(3):e13.
2. López JL, Meana M, Vera FJ, and García JA. Respuestas, adaptaciones y simetría de la huella plantar producidas por la práctica de la marcha atlética. *Cultura, Ciencia y Deporte* 2006;4(2):6.
3. Cloughley WB, and Mawdsley RH. Effect of running on volume of the foot and ankle. *J Orthop Sports Phys Ther* 1995;22(4):151-154.
4. McWhorter JW, Wallmann HW, Landers MR, Altenburger B, LaPorta-Krum L, and Alternburger P. The effects of walking, running and shoe size on foot volumetrics. *Phys Ther Sport* 2003;4:87-92.
5. Chalk PJ, McPoil T, and Cornwall MW. Variations in foot volume before and after exercise. *J Am Podiatr Med Assoc* 1995;85(9):470-472.
6. Sirgo G, and Aguado X. Estudio del comportamiento de la huella plantar en jugadores de voleibol después del esfuerzo considerando su composición corporal y somatotipo. *Apunts Med Sport* 1991;18:6.
7. Chillón P, Tercedor P, Delgado M, and González-Gross M. Actividades Físico-Deportivas en Escolares Adolescentes. Retos. Nuevas tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación 2002;1:7.
8. Barbero-Alvarez JC, Soto VM, Barbero-Alvarez V, and Granda-Vera J. Match analysis and heart

- rate of futsal players during competition. *J Sports Sci* 2008;26(1):63-73.
9. Hills AP, Hennig EM, McDonald M, and Bar-Or O. Plantar pressure differences between obese and non-obese adults: A biomechanical analysis. *International Journal of Obesity* 2001;25(11):1674-1679.
 10. Aguado X, Izquierdo RM, and González JL. Biomecánica fuera y dentro del laboratorio. León: Universidad de León; 1997.
 11. Elvira JL, Vera-Garcia FJ, and Meana M. Subtalar joint kinematic correlations with footprint arch index in race walkers. *J Sports Med Phys Fitness* 2008;48(2):225-234.
 12. Cavanagh PR, and Rodgers MM. The arch index: a useful measure from footprints. *J Biomech* 1987;20(5):547-551.
 13. Hopkins WG. Estimating sample size for magnitude-based inferences. *Sportscience* 2006;10:63-70.
 14. Moholkar K, and Felon G. Diurnal variations in volume of the foot and ankle. *J Foot Ankle Surg* 2001;40(5):302-304.
 15. Pasley JD, and O'Connor PJ. High day-to-day reliability in lower leg volume measured by water displacement. *Eur J Appl Physiol* 2008;103(4):393-398.
 16. McWhorter JW, Landers MR, Wallmann HW, Altenburger P, Berry K, Tompkins D, et al. The effects of loaded, unloaded, dynamic and static activities on foot volumetrics. *Phys Ther Sport* 2006;7:81-86.
 17. Mayrovitz HN. Posturally induced leg vasoconstrictive responses: relationship to standing duration, impedance and volume changes. *Clin Physiol* 1998;18(4):311-319.
 18. Stick C, Stofen P, and Witzleb E. On physiological edema in man's lower extremity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1985;54(4):442-449.
 19. Jacobsson S, and Kjellmer I. Accumulation of Fluid in Exercising Skeletal Muscle. *Acta Physiol Scand* 1964;60:286-292.
 20. Fessler DM, Haley KJ, and Lal RD. Sexual dimorphism in foot length proportionate to stature. *Ann Hum Biol* 2005;32(1):44-59.
 21. Krauss I, Grau S, Janssen P, Maiwald C, Mauch M, and Horstmann T. Gender differences in foot shape. In Proceedings of the 7th Symposium on Footwear Biomechanics. 2005:Cleveland, OH (USA).
 22. Luo G, Houston VL, Mussman M, Garbarini M, Beattie AC, and Thongpop C. Comparison of male and female foot shape. *J Am Podiatr Med Assoc* 2009;99(5):383-390.
 23. Manna I, Pradhan D, Ghosh S, Kar SK, and Dhara P. A comparative study of foot dimension between adult male and female and evaluation of foot hazards due to using of footwear. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci* 2001;20(4):241-246.
 24. Reel S, Rouse S, Vernon Obe W, and Doherty P. Estimation of stature from static and dynamic footprints. *Forensic Sci Int* 2011.
 25. Tsung BY, Zhang M, Fan YB, and Boone DA. Quantitative comparison of plantar foot shapes under different weight-bearing conditions. *J Rehabil Res Dev* 2003;40(6):517-526.

Foot morphology in Spanish school children according to sex and age

Laura Delgado-Abellán^a, Xavier Aguado^a, Ester Jiménez-Ormeño^a, Laura Mecerreyes^b and Luis M. Alegre^{a*}

^a*Grupo de Biomecánica Humana y Deportiva, Universidad de Castilla-La Mancha, Toledo, Spain;* ^b*ASIDCAT (Asociación de Investigación y Desarrollo del Calzado y Afines de Toledo), Fuensalida, Toledo, Spain*

(Received 3 February 2012; accepted 8 February 2014)

The aim of this study was to analyse the differences in foot dimensions in a sample of Spanish school-aged children. A total of 497 boys and 534 girls from Spain participated in the study. Measurements of both feet were obtained using a 3D foot digitiser, and shoe sizes were recorded and then estimated based on foot length measurements. The variations in foot measurements underwent a gradual increase with age in both boys and girls. Gender differences appeared at the age of 8–9 years, when the girls in the sample were found to wear smaller shoes than those they should have worn. Most foot dimensions begin to differ between boys and girls at the age of 8 years. The girls in the sample studied used footwear that was too small for their foot length, probably because they looked for a better width fit.

Practitioner Summary: There is a lack of data on the foot morphology of Spanish school children. We found gender differences in foot morphology, and observed that the girls were not using optimally fitting shoes. These results could be useful for the design of age- and gender-specific children's footwear.

Keywords: footwear; foot dimensions; children; 3D foot digitiser

1. Introduction

Footwear is essentially used to protect the foot and to help in its function, and must provide a good fit (Janisse 1992; Lake 2000; Xiong et al. 2008). There is a direct relationship between a proper shoe fit and comfort levels (Xiong et al. 2008), and an adequate shoe fit is only achieved if the internal dimensions of the shoe are similar to the shape of the foot (Janisse 1992). The foot is a biological structure used for locomotion, with great adaptability to internal and external factors, especially at early ages (Mauch et al. 2009). In footwear designed for children, a good fit is even more important because it can influence the normal development of the foot (Mauch 2011). Furthermore, ill-fitting footwear may cause deformities in adult life (Rao and Joseph 1992; Sachithanandam and Joseph 1995; Echarri and Forriol 2003). Currently, the general procedure used to design shoes for children is lineal scaling from moulds taken from adult feet. These shoe lasts are the blueprint for creating different sizes. However, the proportions of children's feet do not correspond to those of adults (Mauch et al. 2009), leading to footwear that may not be optimally adapted.

Previous studies on foot morphology have worked with large samples of children (Rao and Joseph 1992; Cheng et al. 1997; Kouchi 1998; García-Rodríguez et al. 1999; Echarri and Forriol 2003; Leung, Cheng, and Mak 2005; Pridalová and Riegerová 2005; Revenga-Giertych and Buló-Concellón 2005; Stavlas et al. 2005; El et al. 2006; Mauch et al. 2009; Morrison et al. 2009; Bosch, Gerres, and Rosenbaum 2010; Chang et al. 2010; Cetin et al. 2011; Müller et al. 2012; Wozniacka et al. 2013). However, the majority of this research only provides an analysis of footprint evolution or of simply the type of foot and how age, sex and the use of footwear could influence the prevalence of flatfoot and may therefore be considered to be of limited practical use for the industry and design of footwear. Considering the studies that have used 3D scanning in their methodology (Pfeiffer et al. 2006; Krauss et al. 2008; Mauch et al. 2008a, 2008b, 2009; Chen, Chung, and Wang 2009; Chang et al. 2012), only three have described and analysed reduced morphological measurements of the foot (Krauss et al. 2008; Mauch et al. 2008b; Chen, Chung, and Wang 2009). Complete data-sets on each foot were not provided, nor were the differences that exist between boys' and girls' feet or when these differences begin to appear (Krauss et al. 2008; Mauch et al. 2008b). In addition, previous studies have worked with population samples (German, Australian and Taiwanese) that could be significantly different from a Spanish population sample (Kouchi 1998; Mauch et al. 2009). For instance, in the study conducted by Chen, Chung, and Wang (2009), foot morphology was analysed in a sample of more than 1000 children between the ages of 5 and 13 years using a 3D system, showing differences in foot dimensions between boys and girls as well as between each foot (right–left); however, this study was performed in Taiwan, and therefore, it is not possible to extrapolate these results to a European sample.

*Corresponding author. Email: luis.alegre@uclm.es

There is a shortage of recent studies on foot morphology using a 3D system among Spanish school children (Mauch et al. 2009). There is no information regarding the age at which divergences begin to occur between boys' and girls' feet. Therefore, the aim of this study is to analyse age differences in foot morphology in school-age children from Spain (6–12 years old) and to determine at which point the differentiation between boys' and girls' feet occurs, thereby providing useful information with regard to the design of suitable footwear that is specific to both gender and age.

2. Methods

2.1 Participants

A total of 497 boys and 534 girls of school age (6–12 years) from Spanish primary schools volunteered for the study. Their physical characteristics are shown in Table 1.

Parents/guardians were previously informed of the study and signed a letter of consent to confirm their children's participation. Recent injuries in any part of the lower extremity, any disorders in foot bones or skin infections were reasons for exclusion from the study. The study fulfilled the conditions of the Declaration of Helsinki (World Medical Association 2009) and was approved by the local Ethics Committee.

2.2 Procedure

Before collecting data, all individuals were weighed and measured with a SECA scale and stadiometer (SECA Ltd., Germany).

All of the measurements were taken at schools by two operators. One measurement for each bare foot was taken separately with a 3D foot digitiser (ACN06/01 Model INESCOP, Elda, Spain). Children had to stand still during the digitalisation with bipedal support and with the body weight evenly distributed on both feet.

2.3 Variables

The measurements that appear in Figure 1 were obtained with the digitiser. The number of variables analysed in this study is more than those in many of the previous studies (Krauss et al. 2008; Mauch et al. 2008b; Chen, Chung, and Wang 2009). All of these variables were also normalised to foot length.

- Foot length: distance between points H and T projected onto the x -axis.
- Distance from the heel to the fifth metatarsal: distance between the rearmost point of the foot H and the fifth metatarsal B2, measured on the x -axis.
- Distance from the heel to the first metatarsal: distance between the rearmost point of the foot H and the first metatarsal B1, measured on the x -axis.
- Instep distance: horizontal distance between the point of the heel H and the point of the instep I.
- Heel width: distance obtained between the outermost points that intersect a plane perpendicular to the foot axis away from 15% of the foot length and 1 cm high.
- Ball width: distance between points B1 and B2 projected on the xy -plane.

Table 1. Body height and weight of the participants in the study. Values are means (SD).

| Age (years) | Sex | Weight (kg) | Height (m) |
|-------------|--------------------|---------------|-------------|
| 6 | Boys ($n = 66$) | 24.17 (3.93) | 1.20 (0.06) |
| | Girls ($n = 67$) | 23.52 (5.17) | 1.19 (0.06) |
| 7 | Boys ($n = 76$) | 27.57 (5.99) | 1.25 (0.06) |
| | Girls ($n = 86$) | 27.10 (5.89) | 1.26 (0.05) |
| 8 | Boys ($n = 82$) | 31.29 (6.83) | 1.32 (0.06) |
| | Girls ($n = 88$) | 30.77 (7.48) | 1.29 (0.05) |
| 9 | Boys ($n = 79$) | 36.53 (8.76) | 1.36 (0.06) |
| | Girls ($n = 85$) | 33.82 (6.08) | 1.36 (0.07) |
| 10 | Boys ($n = 77$) | 40.05 (8.26) | 1.43 (0.06) |
| | Girls ($n = 96$) | 39.31 (8.14) | 1.42 (0.08) |
| 11 | Boys ($n = 98$) | 41.76 (9.70) | 1.46 (0.08) |
| | Girls ($n = 85$) | 42.93 (10.49) | 1.47 (0.07) |
| 12 | Boys ($n = 19$) | 54.74 (13.60) | 1.54 (0.09) |
| | Girls ($n = 27$) | 46.22 (7.14) | 1.53 (0.05) |

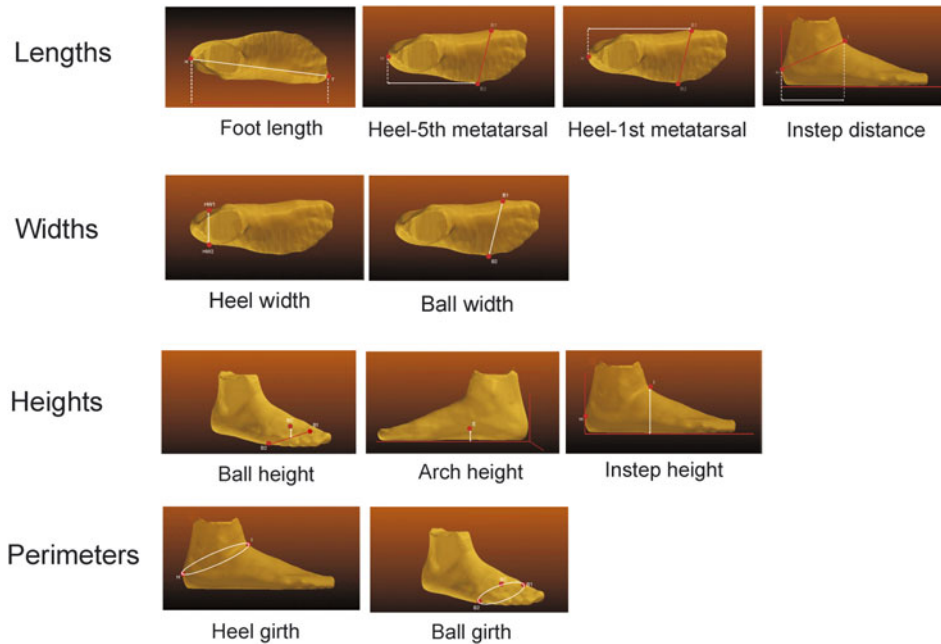


Figure 1. Studied variables of foot scanning.

- Ball height: height of ball point BC projected on the z -axis.
- Arch height: distance of the most prominent point of the plantar arch E to the ground plane.
- Instep height: distance between the point of the instep I and the ground plane.
- Heel girth: perimeter around the base of the heel and around the top of the foot above the instep, defined by points I and H.
- Ball girth: forefoot perimeter that follows the B1, B2 and BC points.

Furthermore, the shoe size that the child wore at the time of data collection (real size) was also taken into account, along with the estimated size according to shoe size categories (French Scaling System; Mauch et al. 2009) from the foot length measurement obtained with the 3D foot digitiser.

2.4 Data analysis

The software used was SPSS v.19 for Windows (Chicago, IL, USA), with a significance level at $p < 0.05$. A test-retest was performed to assess the reproducibility of measurements with intraclass correlation coefficient [ICC (2,1)] and coefficients of variation. An exploratory analysis was used to identify and delete the extreme values from the analysis, extreme values being those that were three times higher than the interquartile range between 25 and 75 percentiles. After filtering, data taken from 1031 children (497 boys and 534 girls, see Table 1) were analysed. The Kolmogorov–Smirnov test was used to determine whether the variables followed a normal distribution. Apart from the absolute measurements, the normalised foot length measurements were also analysed. Comparisons between genders were made through independent samples t -tests. Changes in measurements with age for each gender were calculated using a one-way analysis of variance. The Bonferroni post hoc test was used when there was a significant main effect or interaction. Both feet (right–left) were also compared through t -tests for independent samples. Relationships between standing height and foot length were analysed with the Pearson product-moment correlation coefficients. Finally, we also compared the child's shoe size and the estimated size from the foot length using t -tests for independent samples.

3. Results

The measured variables and their reproducibility are shown in Table 2.

Table 2. Test–retest measurement reliability.

| Variables (mm) | ICC | Coefficient of variation (%) |
|-----------------------|-------|------------------------------|
| Foot length | 0.944 | 0.4 |
| Heel-fifth metatarsal | 0.988 | 3.4 |
| Heel-first metatarsal | 0.988 | 1.3 |
| Instep distance | 0.936 | 1.3 |
| Heel width | 0.997 | 0.9 |
| Ball width | 0.981 | 1.6 |
| Ball height | 0.983 | 4.7 |
| Arch height | 0.985 | 4.1 |
| Instep height | 0.999 | 1.8 |
| Heel girth | 0.993 | 0.7 |
| Ball girth | 1.000 | 1.3 |

Note: ICC = intraclass correlation coefficient (2,1).

3.1 Age differences in foot dimensions (absolute and normalised measurements)

The analysis showed that there were no significant differences between feet for most of the variables. Therefore, to facilitate data interpretation for sex and age comparisons, only the average measurements of both feet were used for the analysis.

The differences in foot length (6–12 years old) occurred linearly with height ($r = 0.905$ and 0.841 , $p < 0.001$, boys and girls, respectively; Figures 2 and 3). Mean increases per year in foot length were 4.2% and 3.8% for boys and girls, respectively (Table 3). For the majority of variables, the age interval in which the least differences occurred was between 10 and 11 years.

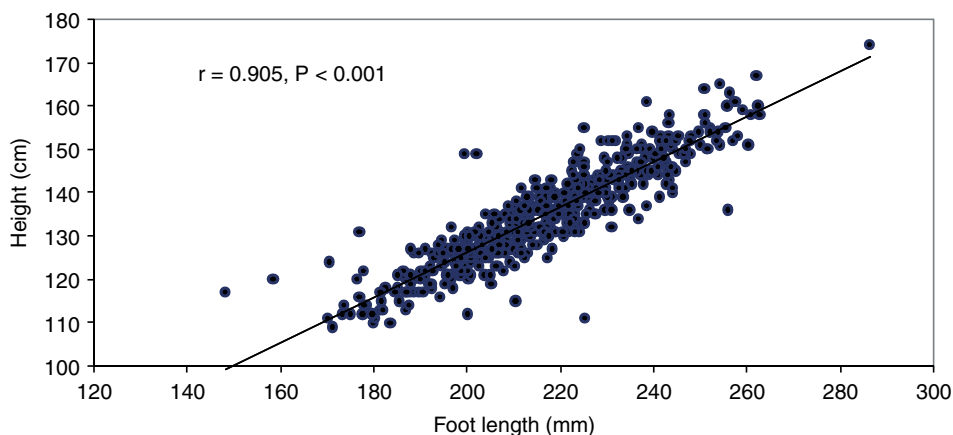


Figure 2. Relationship between standing height and foot length in the boys.

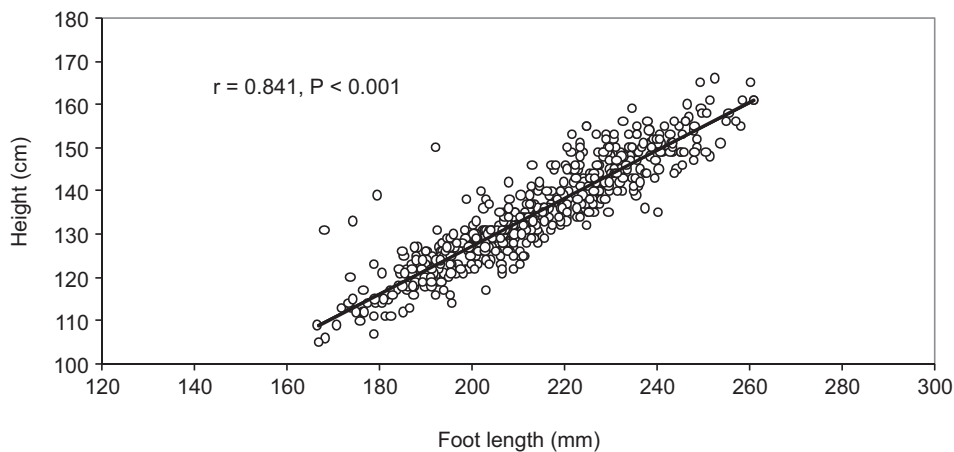


Figure 3. Relationship between standing height and foot length in the girls.

Table 3. Percentage of change per year in boys and girls.

| Variables | 6-7 years | | 7-8 years | | 8-9 years | | 9-10 years | | 10-11 years | | 11-12 years | | 6-12 years | |
|-----------------------|-----------|--------|-----------|-------|-----------|--------|------------|--------|-------------|-------|-------------|---------|------------|-------|
| | Boys | Girls | Boys | Girls | Boys | Girls | Boys | Girls | Boys | Girls | Boys | Girls | Boys | Girls |
| Foot length | 5.2*** | 5.0*** | 5.0*** | 3.5** | 3.3* | 4.3*** | 5.2*** | 5.1*** | 2.0 | 3.0** | 4.6* | 1.9 | 28.1 | 25.0 |
| Ball width | 4.6* | 3.6 | 4.0* | 4.7** | 4.6** | 2.9 | 3.4 | 4.6*** | 2.4 | 2.8 | 6.4** | 4.2 | 28.2 | 25.0 |
| Ball height | 3.0 | -1.9 | 4.8 | 5.8* | 3.0 | 0.7 | 3.4 | 3.7 | 0.4 | 0.6 | 5.7 | 4.2 | 22.0 | 13.7 |
| Heel-first metatarsal | 3.9 | 5.9*** | 3.5 | 2.9 | 3.1 | 3.6 | 5.9*** | 4.9*** | 2.4 | 4.1** | 4.0 | -0.6 | 24.9 | 22.6 |
| Heel-fifth metatarsal | 6.0* | 6.0** | 4.6 | 0.9 | 1.6 | 6.2*** | 5.4** | 3.7 | 1.2 | 2.2 | 4.0 | 0.5 | 25.1 | 20.7 |
| Heel width | 3.0 | 3.9 | 4.2 | 4.9** | 5.0** | 3.2 | 2.5 | 4.2* | 1.8 | 1.7 | 8.5*** | 6.9** | 27.7 | 27.4 |
| Instep height | 2.8 | 7.3** | 8.9*** | 5.3* | 3.7 | 3.3 | 3.0 | 5.3** | 4.7* | 0.3 | 1.0 | 5.7* | 26.4 | 30.3 |
| Instep distance | 6.6** | 2.9 | 2.1 | 0.5 | 4.8* | 4.2 | 3.7 | 6.4*** | 1.1 | 1.6 | 8.4** | 3.9 | 29.6 | 21.1 |
| Ball girth | 4.7* | 4.3 | 4.1 | 5.2** | 5.5*** | 2.5 | 2.3 | 4.9*** | 2.4 | 2.0 | 6.0* | 4.9* | 27.7 | 26.1 |
| Instep girth | 5.0** | 4.7 | 2.8 | 3.4 | 4.0* | 3.0 | 4.9** | 5.8*** | 0.9 | 0.9 | 6.1** | 2.9 | 25.9 | 22.6 |
| Arch height | 2.6 | 8.0 | 12.8** | 8.8 | 7.5 | 4.9 | -2.1 | -1.3 | 5.2 | -1.6 | 2.7 | 16.4*** | 31.6 | 39.3 |

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$ show significant differences between consecutive years.

The variables that showed the greatest differences were arch height for both genders, and height and instep distance, respectively, for boys and girls (Table 3).

The normalised foot dimensions with respect to foot length were also analysed, resulting in the disappearance of the majority of differences that were previously identified. Differences were only detected between girls at six and seven years of age (ball height) and older than 10 years (arch height).

3.2 Differences between boys and girls (absolute and normalised measurements)

The ages at which most differences appeared between boys and girls were at 8–9 years and 9–10 years (Table 4). These data suggest that boys' and girls' foot morphology starts to differ significantly at this age. However, if we analyse the normalised measurements regarding foot length, the majority of these differences disappear (excluding a small minority, mainly at age 11).

Regarding the variables analysed, those that presented the greatest differences between boys and girls of the same age were ball width, ball girth and the instep height. Nevertheless, if we analyse the normalised (foot length) measurements, many of these differences disappear. Those that remained across age were ball width and ball girth.

3.3 Shoe fit

Finally, a comparison between the real size of the shoe and the size estimated from the foot length was also carried out using the French scaling system (Table 5). There were no significant differences detected in boys, while in girls there were some significant differences. Differences were found in both feet at the ages of 7, 8 and 11 years, in the right foot at 6 years and in the left foot at 10 years. Therefore, these results demonstrate that girls from this population wore shoes that were smaller than what they should have worn.

4. Discussion

The results in this study demonstrate, for the first time, differences in foot morphology in school-age Spanish children based on both sex and age. Foot dimensions increase at an average of 3–5% per year across all variables (Table 3) and foot length begin to differ between boys and girls at the ages of 8 and 10 years (Table 4).

4.1 Age differences in foot dimensions (absolute and normalised measurements)

With regard to foot development, the main findings of this study demonstrate that, in both boys and girls, there are no differences between the left and right feet. These results are similar to those obtained in previous studies in which similar patterns for both left and right feet were observed (Cheng et al. 1997; Manna et al. 2001; Leung, Cheng, and Mak 2005; Xiong et al. 2009). Only the study by Chen, Chung, and Wang (2009) identified differences between both feet, with the right foot being bigger. However, absolute values of those differences were not reported, and only right foot data were used for the analysis.

The changes that occur in foot morphology among school-age children follow one another in a progressive way because, apart from the foot length, significant differences do not usually take place between consecutive ages. Minor differences occur for all variables at the age interval between 10 and 11 years. These results coincide with those observed in previous studies that have shown that the critical age in foot development is at 6 years old and that it stabilises at 12 years old (Cheng et al. 1997; García-Rodríguez et al. 1999; El et al. 2006).

Once again, the results coincide with those of previous studies, such as Cheng et al. (1997), in which it was observed, among other things, that changes in foot length and width increased in a similar way to those observed in our study (a yearly average of 8–10 mm in both sexes from the age of 6 until 12 years old). The study of Kouchi (1998) considered factors that can influence shoe fit and, as in our study, also took into account a large number of variables. The results of that investigation showed that increases in foot length, foot width, heel width and the distances at first and fifth metatarsals of 6–12-year-old children were similar to those obtained in the present study. Leung, Cheng, and Mak (2005) analysed the effect of age on foot length in 4–18-year-olds, and a gradual change in the 6–12-year-old cohort, very similar to that seen in our investigation, was also reported. Müller et al. (2012) observed in their study that feet length and width increased with age at a rate similar to the one observed in the present study.

Finally, arch height was observed to show the greatest increases with age in both boys and girls, although it is one of the variables that showed fewer differences based on sex. These results may pertain to those obtained in previous studies in which the prevalence of flatfoot decreased with increasing age (Rao and Joseph 1992; García-Rodríguez et al. 1999; Echarri and Forriol 2003; Leung, Cheng, and Mak 2005; Revenga-Giertych and Buló-Concellón 2005; Stavlas et al. 2005; El et al.

Table 4. Absolute and normalised foot measurements for boys and girls, from 6 to 12 years old. These values are the average measurements of the left and right foot, given that there were no significant differences in any of them. Values are means (SD).

| Variables | 6 years | | 7 years | | 8 years | | 9 years | | 10 years | | 11 years | | 12 years | |
|--------------------------------------|--------------|----------------|---------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|---------------|----------------|---------------|-----------------|--------------|----------------|
| | Boys | Girls | Boys | Girls | Boys | Girls | Boys | Girls | Boys | Girls | Boys | Girls | Boys | Girls |
| Absolute (mm) | | | | | | | | | | | | | | |
| Foot length | 191.6 (14.3) | 189.5 (11.8) | 201.5 (11.4) | 198.9 (10.8) | 211.7 (10.6) | 205.9*** (10.8) | 218.7 (12.8) | 214.8 (14.8) | 225.8* (12.3) | 230.1 (12.3) | 225.8* (13.9) | 234.6 (14.1) | 232.4 (12.2) | 245.5 (15.3) |
| Ball width | 74.9 (4.5) | 72.6** (4.8) | 78.4 (6.0) | 75.2*** (5.9) | 81.5 (6.1) | 78.7*** (6.1) | 85.3 (6.6) | 81.0*** (5.2) | 88.2 (6.6) | 84.7*** (6.5) | 87.1** (7.1) | 90.3 (7.4) | 87.1** (7.1) | 96.1 (8.7) |
| Ball height | 26.6 (2.6) | 26.9 (3.3) | 27.4 (3.2) | 26.4* (3.0) | 28.7 (3.2) | 27.9 (3.2) | 29.6 (3.7) | 28.1** (3.1) | 30.6 (3.8) | 29.3** (3.2) | 30.7 (3.4) | 30.7 (3.4) | 29.3** (3.4) | 32.4 (4.1) |
| Heel-first metatarsal | 146.6 (11.2) | 141.1** (11.8) | 152.2 (12.5) | 149.5 (11.1) | 157.6 (14.8) | 153.8 (12.0) | 162.4 (13.7) | 159.3 (14.2) | 172.0 (15.1) | 167.2* (12.8) | 176.1 (14.7) | 174.1 (12.4) | 174.1 (12.4) | 183.1 (12.8) |
| Heel-fifth metatarsal | 130.0 (13.2) | 129.5 (12.1) | 137.8 (13.3) | 137.2 (12.9) | 144.2 (14.3) | 138.4** (13.0) | 146.6 (14.1) | 146.9 (14.0) | 154.5 (13.6) | 152.3 (14.2) | 156.3 (13.9) | 155.6 (12.9) | 162.6 (16.0) | 156.4 (8.9) |
| Heel width | 45.0 (4.0) | 43.5* (4.1) | 46.3 (4.4) | 45.2 (3.9) | 48.3 (3.8) | 47.4 (4.1) | 50.7 (4.4) | 49.0** (4.0) | 52.0 (3.9) | 51.0 (4.4) | 53.0 (4.0) | 51.9 (4.5) | 57.5 (5.2) | 55.5 (3.1) |
| Instep height | 55.1 (6.8) | 51.8* (6.3) | 56.6 (6.1) | 55.6 (5.5) | 61.6 (6.7) | 58.5*** (5.5) | 63.9 (6.0) | 60.5*** (5.7) | 65.8 (5.5) | 63.7* (5.6) | 68.9 (6.2) | 63.9*** (6.0) | 69.6 (6.8) | 67.5 (5.0) |
| Instep distance | 80.4 (9.4) | 82.4 (10.1) | 85.7 (8.8) | 84.8 (9.0) | 87.5 (7.3) | 85.3 (7.4) | 91.7 (7.1) | 88.9* (8.4) | 95.1 (7.6) | 94.6 (9.4) | 96.2 (8.5) | 96.0 (10.0) | 104.2 (10.1) | 99.8 (6.6) |
| Normalised (% to foot length) | | | | | | | | | | | | | | |
| Ball girth | 182 (11.3) | 175.3** (13.2) | 190.5 (14.9) | 182.8*** (14.6) | 198.3 (15.3) | 192.3* (15.3) | 209.3 (18.0) | 197.0*** (13.1) | 214.2 (16.8) | 206.8** (16.9) | 219.3 (17.5) | 210.9*** (17.4) | 232.4 (21.3) | 221.1* (12.5) |
| Instep girth | 244.9 (20.6) | 238.4 (35.2) | 257.19 (22.2) | 249.5* (20.2) | 264.2 (16.8) | 258.1* (19.9) | 274.7 (17.1) | 265.9** (20.9) | 288.1 (20.2) | 281.3* (21.6) | 290.6 (22.0) | 283.9* (23.5) | 308.4 (21.9) | 292.2** (15.8) |
| Arch height | 16.5 (3.8) | 16.6 (3.6) | 16.9 (3.5) | 17.9 (3.2) | 19.1 (3.9) | 19.4 (3.6) | 20.5 (3.5) | 20.4 (3.5) | 20.1 (3.7) | 20.1 (3.6) | 21.1 (3.2) | 19.8** (4.0) | 21.7 (4.8) | 23.1 (2.8) |
| Ball width | 39.4 (2.6) | 38.4* (2.5) | 38.9 (2.4) | 37.8** (2.6) | 38.5 (2.6) | 38.2 (2.2) | 39.1 (3.1) | 37.8** (2.6) | 38.4 (2.3) | 37.6* (2.4) | 38.5 (2.5) | 37.5** (2.3) | 39.1 (2.7) | 38.4 (2.3) |
| Ball height | 13.9 (1.4) | 14.2 (1.8) | 13.6 (1.4) | 13.3 (1.4) | 13.6 (1.3) | 13.6 (1.5) | 13.6 (1.7) | 13.1 (1.5) | 13.3 (1.6) | 12.9 (1.3) | 13.1 (1.3) | 12.6* (1.3) | 13.2 (1.3) | 12.9 (1.1) |
| Heel-first metatarsal | 76.5 (3.2) | 74.5** (4.9) | 75.6 (5.3) | 75.3 (4.0) | 74.5 (5.8) | 74.7 (4.0) | 74.3 (4.7) | 74.2 (4.6) | 74.8 (5.4) | 74.1 (4.2) | 75.1 (4.5) | 74.9 (4.2) | 74.7 (4.2) | 73.0 (3.8) |
| Heel-fifth metatarsal | 67.9 (5.3) | 68.3 (4.9) | 68.4 (5.7) | 69.1 (5.1) | 68.1 (5.6) | 67.2 (4.6) | 67.0 (5.4) | 68.5 (4.9) | 67.2 (5.2) | 67.5 (4.4) | 66.6 (4.2) | 67.0 (5.1) | 66.2 (4.2) | 66.0 (2.6) |
| Heel width | 23.6 (1.9) | 23.1 (1.9) | 23.0 (1.9) | 22.8 (1.7) | 22.9 (1.7) | 23.1 (1.8) | 23.2 (1.9) | 22.8 (1.8) | 22.6 (1.5) | 22.6 (1.6) | 22.6 (1.7) | 22.4 (1.6) | 23.4 (1.8) | 23.5 (1.5) |
| Instep height | 28.8 (3.6) | 27.4* (3.3) | 28.1 (2.7) | 28.0 (2.7) | 29.1 (2.8) | 28.5 (2.6) | 29.3 (2.6) | 28.2* (2.9) | 28.6 (2.4) | 28.3 (2.3) | 29.4 (2.5) | 27.5** (2.6) | 28.4 (2.3) | 28.6 (2.4) |
| Instep distance | 42.2 (4.4) | 43.5 (4.8) | 42.6 (4.0) | 42.7 (3.8) | 41.4 (3.4) | 41.4 (2.8) | 42.0 (2.6) | 41.4 (3.4) | 41.4 (2.6) | 41.9 (3.5) | 41.0 (2.8) | 41.4 (3.3) | 42.5 (3.1) | 42.2 (3.0) |
| Ball girth | 95.6 (6.6) | 92.9* (5.8) | 94.7 (5.8) | 92.0** (6.4) | 93.8 (6.5) | 93.4 (5.9) | 95.9 (8.2) | 92.0*** (6.6) | 93.2 (5.9) | 91.7 (6.2) | 93.5 (6.0) | 90.9** (5.8) | 94.7 (6.7) | 93.5 (5.8) |
| Instep girth | 128.5 (9.1) | 126.0 (17.5) | 127.7 (8.9) | 125.5 (7.9) | 124.8 (5.9) | 125.4 (7.4) | 125.8 (6.9) | 123.9 (7.6) | 125.3 (6.5) | 124.7 (7.9) | 123.9 (6.2) | 122.2 (6.6) | 125.7 (4.5) | 123.5 (6.7) |
| Arch height | 8.6 (2.1) | 8.8 (2.0) | 8.4 (1.7) | 9.1* (1.6) | 9.0 (1.8) | 9.5 (1.7) | 9.4 (1.7) | 9.5 (1.7) | 8.8 (1.7) | 8.9 (1.7) | 9.0 (1.4) | 8.6* (1.8) | 8.8 (1.9) | 9.8 (1.4) |

Note: Boys versus girls. * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

Table 5. Differences between actual size and the estimated size from the foot length. Values are means (SD).

| Sex | 6 years | | 7 years | | 8 years | | 9 years | | 10 years | | 11 years | | 12 years | |
|---------|------------|-------------|------------|---------------|------------|---------------|------------|------------|------------|-------------|------------|---------------|------------|------------|
| | Real size | Estim size | Real size | Estim size | Real size | Estim size | Real size | Estim size | Real size | Estim size | Real size | Estim size | Real size | Estim size |
| R Boys | 30.9 (1.8) | 30.9 (2.4) | 32.6 (1.7) | 32.6 (1.8) | 33.7 (1.8) | 33.9 (1.7) | 35.2 (1.9) | 35.0 (2.0) | 36.9 (1.7) | 36.9 (1.8) | 37.5 (2.1) | 37.4 (2.2) | 38.6 (1.3) | 38.7 (1.9) |
| R Girls | 30.5 (1.6) | 30.8* (1.8) | 31.7 (1.7) | 32.1*** (1.7) | 32.7 (1.9) | 33.1** (1.8) | 34.3 (1.9) | 34.3 (2.4) | 36.0 (2.2) | 36.1 (2.1) | 36.4 (1.7) | 37.2*** (1.8) | 37.6 (1.3) | 37.8 (1.6) |
| L Boys | 30.9 (1.8) | 30.9 (2.2) | 32.6 (1.7) | 32.6 (1.8) | 33.7 (1.8) | 33.9 (1.6) | 35.2 (1.9) | 35.0 (1.9) | 36.9 (1.7) | 36.9 (1.8) | 37.5 (2.1) | 37.5 (2.1) | 38.6 (1.3) | 38.7 (1.7) |
| L Girls | 30.5 (1.6) | 30.8 (1.9) | 31.7 (1.7) | 32.1* (1.7) | 32.7 (1.9) | 33.1*** (1.7) | 34.3 (1.9) | 34.6 (2.2) | 36.0 (2.2) | 36.3* (2.1) | 36.4 (1.7) | 37.0*** (2.0) | 37.6 (1.3) | 37.8 (1.6) |

Note: R, right; L, left; real versus estimated (Estim) size. * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$;

2006; Pfeiffer et al. 2006; Mauch et al. 2008b; Chen, Chung, and Wang 2009; Bosch, Gerass, and Rosenbaum 2010; Chang et al. 2010, 2012; Cetin et al. 2011; Chen et al. 2011; Müller et al. 2012; Wozniacka et al. 2013).

Apart from absolute measurements, the normalised foot length measurements were also analysed, and as we observed in the results, the majority of these differences disappeared.

4.2 Differences between boys and girls (absolute and normalised measurements)

With regard to the comparison between boys and girls, we can conclude that the changes in feet were similar, but boys' and girls' feet started to differ between 8 and 10 years of age. These results are similar to results from previous studies. Cheng et al. (1997) showed that changes in the length and width of boys' feet were similar to those of girls until the age of 3; however, boys' feet grew faster from this age on. Kouchi (1998) observed significant differences between boys and girls, with boys' feet being bigger for most of the variables from the age of 12. Leung, Cheng, and Mak (2005) also reported that boys' and girls' feet were different in length from the age of 12. Morrison et al. (2009), with a sample population of 9–12-year-olds, stated that the dimorphism between boys and girls is evident at the age of 12, when comparing foot length, ball width and navicular height. Eventually, Bosch, Gerass, and Rosenbaum (2010) performed a longitudinal study with participants aged from 1 to 10 years old. Significant differences between boys and girls were observed in this study at the age of 9, but results concerning foot length during this period were inconclusive.

Significant differences between boys and girls of the same age appeared in our study (Table 4). Therefore, it seems that boys' and girls' feet are not similar, a finding supported by previous studies. Mickle, Steele, and Munro (2008) showed that boys' feet were not significantly bigger in terms of foot length, ball length, instep circumference and ball circumference. In the study from Chen, Chung, and Wang (2009), there were significant differences between boys and girls in 11 of the 15 variables studied, all of them being larger in boys, with the exception of navicular height, and once again, as in our study, there were no differences in foot length. Additionally, these differences based on sex are also maintained in studies performed on adult samples. Manna et al. (2001) used a sample consisting of subjects between 20 and 35 years old, and reported differences between men and women across all variables. Krauss et al. (2008) found that men's and women's feet (with an average of 30 and 28 years old, respectively) were not different in length, but there were significant differences in width and height, consistent with our findings. Xiong et al. (2009) found significant differences between men and women with an average age of 21; values for ball length, width and girth were bigger in men.

However, when normalising for variability in foot length, we observe that the majority of these differences disappear, with only the differences in ball width and ball girth maintained. These results reinforce the hypothesis that boys' and girls' feet are different in size but that the proportions of their feet are similar. Previous studies also showed that most of the differences between boys' and girls' feet disappear when expressing the measured variables as a percentage of foot length (Kouchi 1998; Mickle, Steele, and Munro 2008).

4.3 Shoe fit

In our results, we observed that there were no significant differences in boys between the real size and the estimated size; however, there were some differences in girls. It seems that the girls in the sample population wore shoes that were too small for the length of their feet, as did those in the study done by Frey et al. (1993). However, Byrne and Curran (1998) did not find differences in shoe fit specific to age and sex.

Studies have shown that the use of inappropriate shoes, especially in women, can cause foot pain and deformities (Janisse 1992; Krauss et al. 2008). Girls with narrow feet (Cheng et al. 1997; Manna et al. 2001; Krauss et al. 2008, 2011; Xiong et al. 2008; Chen, Chung, and Wang 2009; Morrison et al. 2009), as shown in our results, can be forced to use a smaller size shoe to guarantee a good fit, which means that the shoes that would result in a proper fit for width would most likely be too small in length (Mauch et al. 2009). Most of the problems with shoe fit are related to width because shoe designs are usually based only on length. Determining accurate measurements for foot width or the 3D analysis of foot shape can help to solve some of the problems with ill-fitting shoes (Witana, Feng, and Goonetilleke 2004).

Therefore, the results of the present study are important when considering the design and manufacturing of footwear, as previous studies have shown that differences between genders (Manna et al. 2001; Krauss et al. 2008) and foot evolution (Mauch et al. 2009) must be taken into account, with regard not only to total measurement but also to relative measurement (Krauss et al. 2008).

4.4. Practical applications

The main practical application of the data obtained in our study is in the shoe last design of specific footwear for Spanish children because the data demonstrate that footwear should be different for boys and girls and specific to each age to provide a better fit and greater comfort.

Good footwear design, along with correct and well-fitting shoes, is even more important in children than in adults. An ill-fitting shoe can impede normal foot development, which can alter an individual's base support for the rest of his or her life (Mauch et al. 2008b, 2009). To create a properly fitted shoe, the shape of the shoe must closely resemble the shape of the foot (Mauch et al. 2008b, 2009). This means that differences between different populations should be taken into account (Mauch et al. 2008b) and that footwear should be designed according to the users' measurements (Manna et al. 2001; Xiong et al. 2008), in this case, the Spanish population. These modifications would help to reduce problems aggravated by inadequate footwear (Manna et al. 2001; Mauch et al. 2009).

5. Conclusion

Children's feet from Spain seem to evolve at the same rate as those from other populations; there was an average increase of 3–5% per year across all variables, although significant differences did not usually occur between consecutive ages. Boys' and girls' foot measurements start to differ at the age of 8 and 10. Girls in the sample studied used footwear that was too small for their foot length, most likely because they were initially hoping for a better width fit. The results of this study could be useful when considering the shoe design for specific children's footwear.

Acknowledgements

We thank the following primary schools from the province of Toledo for their participation in this study: CP San José, CP María del Mar and CP Condes de Fuensalida (Fuensalida); CP Gregorio Marañón (Huecas); CP Conde de Ruiseñada (Portillo de Toledo); CP Nuestra Señora de la Paz (Santa Cruz del Retamar); CP Nuestra Señora de la Redonda (Villamiel); and CP Alfonso VI, CP La Candelaria, CP Ciudad de Aquisgrán and CP Santa Teresa (Toledo). We also thank INESCOP (Elda, Alicante, Spain) for technical support.

Funding

The present study obtained financial support from the FEDER funds and the Counsel of Education, Science and Culture of the Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, Spain.

References

- Bosch, K., J. Gerres, and D. Rosenbaum. 2010. "Development of Healthy Children's Feet – Nine-Year Results of a Longitudinal Investigation of Plantar Loading Patterns." *Gait & Posture* 32 (4): 564–571. doi:10.1016/j.gaitpost.2010.08.003.
- Byrne, M., and M. J. Curran. 1998. "The Development and Use of a Footwear Assessment Score in Comparing the Fit of Children's Shoes." *The Foot* 8 (4): 215–218. doi:10.1016/S0958-2592(98)90032-3.
- Cetin, A., S. Sevil, L. Karaoglu, and B. Yucekaya. 2011. "Prevalence of Flat Foot among Elementary School Students, in Rural and Urban Areas and at Suburbs in Anatolia." *European Journal of Orthopaedic Surgery and Traumatology* 21 (5): 327–331. doi:10.1007/s00590-010-0717-2.
- Chang, H.-W., C.-J. Lin, L.-C. Kuo, M.-J. Tsai, H.-F. Chieh, and F.-C. Su. 2012. "Three-Dimensional Measurement of Foot Arch in Preschool Children." *Biomedical Engineering Online* 11. doi:10.1186/1475-925X-11-76.
- Chang, J.-H., S.-H. Wang, C.-L. Kuo, H. C. Shen, Y.-W. Hong, and L.-C. Lin. 2010. "Prevalence of Flexible Flatfoot in Taiwanese School-Aged Children in Relation to Obesity, Gender, and Age." *European Journal of Pediatrics* 169 (4): 447–452. doi:10.1007/s00431-009-1050-9.
- Chen, J. P., M. J. Chung, and M. J. Wang. 2009. "Flatfoot Prevalence and Foot Dimensions of 5- to 13-Year-Old Children in Taiwan." *Foot & Ankle International* 30 (4): 326–332. doi:10.3113/fai.2009.0326.
- Chen, K.-C., C.-J. Yeh, L.-C. Tung, J.-F. Yang, S.-F. Yang, and C.-H. Wang. 2011. "Relevant Factors Influencing Flatfoot in Preschool-Aged Children." *European Journal of Pediatrics* 170 (7): 931–936. doi:10.1007/s00431-010-1380-7.
- Cheng, J. C., S. S. Leung, A. K. Leung, X. Guo, A. Sher, and A. F. Mak. 1997. "Change of Foot Size with Weightbearing. A Study of 2829 Children 3 to 18 Years of Age." *Clinical Orthopaedics and Related Research* 342: 123–131.
- Echarri, J. J., and F. Forriol. 2003. "The Development in Footprint Morphology in 1851 Congolese Children from Urban and Rural Areas, and the Relationship between This and Wearing Shoes." *Journal of Pediatric Orthopaedics B* 12 (2): 141–146.
- El, O., O. Akcali, C. Kosay, B. Kaner, Y. Arslan, E. Sagol, S. Soylev, D. Iyidogan, N. Cinar, and O. Peker. 2006. "Flexible Flatfoot and Related Factors in Primary School Children: A Report of a Screening Study." *Rheumatology International* 26 (11): 1050–1053. doi:10.1007/s00296-006-0128-1.
- Frey, C., F. Thompson, J. Smith, M. Sanders, and H. Horstman. 1993. "American Orthopaedic Foot and Ankle Society Women's Shoe Survey." *Foot & Ankle* 14 (2): 78–81.
- García-Rodríguez, A., F. Martín-Jiménez, M. Carnero-Varo, E. Gómez-Gracia, J. Gómez-Aracena, and J. Fernández-Crehuet. 1999. "Flexible Flat Feet in Children: A Real Problem?" *Pediatrics* 103 (6): e84.
- Janisse, D. J. 1992. "The Art and Science of Fitting Shoes." *Foot & Ankle* 13 (5): 257–262.

- Kouchi, M. 1998. "Foot Dimensions and Foot Shape: Differences Due to Growth, Generation and Ethnic Origin." *Anthropological Science* 106: 161–188.
- Krauss, I., S. Grau, M. Mauch, C. Maiwald, and T. Horstmann. 2008. "Sex-Related Differences in Foot Shape." *Ergonomics* 51 (11): 1693–1709. doi:10.1080/00140130802376026.
- Krauss, I., C. Langbein, T. Horstmann, and S. Grau. 2011. "Sex-Related Differences in Foot Shape of Adult Caucasians: A Follow-Up Study Focusing on Long and Short Feet." *Ergonomics* 54 (3): 294–300. doi:10.1080/00140139.2010.547605.
- Lake, M. J. 2000. "Determining the Protective Function of Sports Footwear." *Ergonomics* 43 (10): 1610–1621. doi:10.1080/001401300750004032.
- Leung, A. K. L., J. C. Y. Cheng, and A. F. T. Mak. 2005. "A Cross-Sectional Study on the Development of Foot Arch Function of 2715 Chinese Children." *Prosthetics and Orthotics International* 29 (3): 241–253. doi:10.1080/03093640500199695.
- Manna, I., D. Pradhan, S. Ghosh, S. K. Kar, and P. Dhara. 2001. "A Comparative Study of Foot Dimension between Adult Male and Female and Evaluation of Foot Hazards Due to Using of Footwear." *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science* 20 (4): 241–246. doi:10.2114/jpa.20.241.
- Mauch, M. 2011. "From Laboratory to an In-Store Concept! An Exemplary Methodology to Combine Footwear Science and Shoe Design in Kids' Feet!" *Footwear Science* 3 (Suppl. 1): S103–S104. doi:10.1080/19424280.2011.575849.
- Mauch, M., S. Grau, I. Krauss, C. Maiwald, and T. Horstmann. 2008a. "Foot Morphology of Normal, Underweight and Overweight Children." *International Journal of Obesity* 32 (7): 1068–1075. doi:10.1038/ijo.2008.52.
- Mauch, M., S. Grau, I. Krauss, C. Maiwald, and T. Horstmann. 2009. "A New Approach to Children's Footwear Based on Foot Type Classification." *Ergonomics* 52 (8): 999–1008. doi:10.1080/00140130902803549.
- Mauch, M., K. J. Mickle, B. J. Munro, A. M. Dowling, S. Grau, and J. R. Steele. 2008b. "Do the Feet of German and Australian Children Differ in Structure? Implications for Children's Shoe Design." *Ergonomics* 51 (4): 527–539. doi:10.1080/00140130701660520.
- Mickle, K., J. Steele, and B. Munro. 2008. "Is the Foot Structure of Preschool Children Moderated by Gender?" *Journal of Pediatric Orthopaedics* 28 (5): 593–596. doi:10.1097/BPO.0b013e318173f782.
- Morrison, S. C., B. R. Durward, G. F. Watt, and M. D. C. Donaldson. 2009. "Prediction of Anthropometric Foot Characteristics in Children." *Journal of the American Podiatric Medical Association* 99 (6): 497–502.
- Müller, S., A. Carlsohn, J. Müller, H. Baur, and F. Mayer. 2012. "Static and Dynamic Foot Characteristics in Children Aged 1–13 Years: A Cross-Sectional Study." *Gait & Posture* 35 (3): 389–394. doi:10.1016/j.gaitpost.2011.10.357.
- Pfeiffer, M., R. Kotz, T. Ledl, G. Hauser, and M. Sluga. 2006. "Prevalence of Flat Foot in Preschool-Aged Children." *Pediatrics* 118 (2): 634–639. doi:10.1542/peds.2005-2126.
- Pridalová, M., and J. Riegerová. 2005. "Child's Foot Morphology." *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis Gymnica* 35: 75–85.
- Rao, U. B., and B. Joseph. 1992. "The Influence of Footwear on the Prevalence of Flat Foot: A Survey of 2300 Children." *Journal of Bone and Joint Surgery-British Volume* 74 (4): 525–527.
- Revenge-Giertych, C., and M. P. Buló-Concellón. 2005. "El pie plano valgo: Evolución de la huella plantar y factores relacionados." *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología* 49 (4): 271–280. doi:10.1016/S1888-4415(05)76315-3.
- Sachithanandam, V., and B. Joseph. 1995. "The Influence of Footwear on the Prevalence of Flat Foot: A Survey of 1846 Skeletally Mature Persons." *Journal of Bone and Joint Surgery-British Volume* 77 (2): 254–257.
- Stavlas, P., T. B. Grivas, C. Michas, E. Vasiliadis, and V. Polyzois. 2005. "The Evolution of Foot Morphology in Children between 6 and 17 Years of Age: A Cross-Sectional Study Based on Footprints in a Mediterranean Population." *Journal of Foot and Ankle Surgery* 44 (6): 424–428. doi:10.1053/j.jfas.2005.07.023.
- Witana, C. P., J. J. Feng, and R. S. Goonetilleke. 2004. "Dimensional Differences for Evaluating the Quality of Footwear fit." *Ergonomics* 47 (12): 1301–1317. doi:10.1080/00140130410001712645.
- World Medical Association, I. 2009. "Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects." *Journal of the Indian Medical Association* 107 (6): 403–5.
- Wozniacka, R., A. Bac, S. Matusik, E. Szczygiel, and E. Cizek. 2013. "Body Weight and the Medial Longitudinal Foot Arch: High-Arched Foot, a Hidden Problem?" *European Journal of Pediatrics* 172 (5): 683–691. doi:10.1007/s00431-013-1943-5.
- Xiong, S., R. S. Goonetilleke, C. P. Witana, and E. Y. L. Au. 2008. "Modelling Foot Height and Foot Shape-Related Dimensions." *Ergonomics* 51 (8): 1272–1289. doi:10.1080/00140130801996147.
- Xiong, S., R. S. Goonetilleke, J. Zhao, W. Li, and C. P. Witana. 2009. "Foot Deformations under Different Load-Bearing Conditions and Their Relationships to Stature and Body Weight." *Anthropological Science* 117 (2): 77–88. doi:10.1537/ase.070915.



Toledo 16 de enero de 2010

El Comité Organizador de VII Curso de Medicina y Traumatología del Deporte y VI Jornadas Regionales de Promoción de la Salud y el Ejercicio Físico

CERTIFICA QUE:

La siguiente comunicación ha sido aceptada y presentada en el Curso

“EFECTOS DEL EJERCICIO INTERMITENTE SOBRE LAS DIMENSIONES DEL PIE”

Autores: Laura Delgado, Ester Jiménez, Xavier Aguado, Luís M. Alegre

Grupo de Biomecánica Humana y Deportiva, Universidad de Castilla-La Mancha.

Dr. Fernando Jiménez Díaz
Director del Curso



Dr. Andrés Barriga Martín
Secretario del Comité Científico



IV Jornadas Nacionales de Medicina del Deporte

Hospital Universitario Sant Joan
Reus, 18 y 19 de noviembre de 2011

D. PEDRO MANONELLES MARQUETA, en su calidad de Presidente del Comité Organizador del **IV JORNADAS NACIONALES DE MEDICINA DEL DEPORTE DE LA FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE MEDICINA DEL DEPORTE**,

CERTIFICA que:

La comunicación científica: **Morfología del pie en tres dimensiones: estudio de fiabilidad**

cuyos autores son: **Delgado-Abellán L, Aguado X, Jiménez-Ormeño E, Mecerreyes L, Alegre LM.**

Ha sido presentada en las **IV Jornadas Nacionales de Medicina del Deporte de la Federación Española de Medicina del Deporte**, celebrado en Reus, el 18 y 19 de noviembre de 2011.

Lo que certifico a los efectos oportunos en Reus a 19 de noviembre de 2011.



Dr. Pedro Manonelles Marqueta
Presidente Comité Organizador
IV JJ Nacionales MD



FMD

FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE MEDICINA DEL DEPORTE

Secretaría Técnica: Federación Española de Medicina del Deporte
C/ Iturrama nº 43 bis, entreplanta E. 31007 – Pamplona
Teléfono: 948 267706 - Fax: 948 171431
Correo electrónico: femede@femede.es. Página web: <http://www.femede.es>