



Trabajo Fin de Grado

Análisis de las presiones plantares en jugadores de balonmano

Autor

Jorge Marín Puyalto

Directora

Eva M^a Gómez Trullén

Facultad de Ciencias de la Salud y el Deporte - Huesca
Año 2013

ÍNDICE

- *Resumen*_____ pag. 2
 - *Abstract*_____ pag. 3
- *Introducción*_____ pag. 4
- *Objetivos*_____ pag. 7
- *Material y métodos*_____ pag. 8
- *Resultados*_____ pag.14
- *Discusión*_____ pag.23
- *Conclusiones*_____ pag.25
 - *Conclusions*_____ pag.26
- *Agradecimientos*_____ pag.27
- *Referencias bibliográficas*_____ pag.28
- *Anexos*_____ pag.30

RESUMEN

INTRODUCCIÓN: El análisis de las presiones plantares está muy extendido en la actualidad como medio para la evaluación de la biomecánica de la marcha y de distintos gestos deportivos. El propósito de este estudio es el de analizar las presiones plantares en estática y dinámica de un grupo de jugadores profesionales de balonmano.

MATERIAL Y MÉTODOS: En el estudio participaron un total de 16 jugadores de balonmano pertenecientes a un club de la primera división española, así como 18 sujetos control, todos ellos sanos y físicamente activos. Se evaluaron parámetros relativos a las presiones plantares en estático y dinámico y a la estabilidad en estático con una medición sobre plataforma de presiones con los pies descalzos. El tratamiento estadístico de los datos se realizó con el software SPSS. El límite de significación bilateral para las pruebas no paramétricas se situó en 0'05.

RESULTADOS: Existen diferencias significativas en cuanto a la talla ($p=0'002$) y el peso ($p=0'007$) entre los jugadores de balonmano y el grupo control. En el caso de las presiones plantares en estático, no se encontraron diferencias significativas entre ambos grupos, salvo en el caso de la presión máxima en el pie izquierdo ($p=0.049$). Respecto a los datos relativos a la estabilidad, los jugadores de balonmano muestran una mayor superficie de oscilación del centro de gravedad respecto al grupo control (3'38 vs. 3'17 cm^2), así como oscilaciones laterales (1'70 vs. 1'68 cm) y frontales (2'36 vs. 2'24 cm). A pesar de ello, no aparecen diferencias significativas entre los dos grupos.

DISCUSIÓN: De todas las variables estudiadas, la única en la que se encontraron diferencias significativas entre ambos grupos fue en el valor de la máxima presión media en el pie izquierdo durante el análisis estático. Al no complementarse con ninguna otra medida, ya sea del pie derecho o de cualquier otro parámetro de presiones, se considera que esto no es relevante. Esto lleva a descartar la posibilidad de una adaptación de la marcha normal de una forma específica para la práctica del balonmano. Asimismo, tampoco se observa un diferente desempeño en la conservación de la estabilidad en bipedestación.

ABSTRACT

INTRODUCTION: Plantar pressure analysis is widely used in modern research as an effective way to evaluate the biomechanics of gait and various sport skills. The aim of this study was the assessment of static and dynamic plantar pressures in a group of professional handball players.

METHODS: 16 handball players that belong to a top-division Spanish club, and 18 control subjects, all of them healthy and physically active, participated in this study. Various parameters related to static and dynamic plantar pressures as well as static balance were assessed using barefoot plantar measures on a pressure platform. Statistical analysis was performed with SPSS software. Significativity limit for non-parametric tests was set at 0.05.

RESULTS: There exist significant differences between handball players and control subjects on the height ($p=0.002$) and weight ($p=0.007$). For static plantar pressures, no differences were found between both groups, except for the maximal pressure on the left foot ($p=0.049$). On balance-related data, handball players showed higher oscillation surface of the center of mass than control group (3.38 vs. 3.17 cm²), as well as higher medio-lateral (1.70 vs. 1.68 cm) and antero-posterior (2.36 vs. 2.24 cm) oscillations. However, no significant differences were found between both groups.

DISCUSSION: Among all the analysed variables, the only one that rendered significant differences between the two groups was the maximum mean pressure on the left foot during the static test. Since it is not supported by any other parameter, whether of the right foot or any of the other pressure measures, it is not considered to be relevant. These results discard the possibility of a specific adaptation of gait on handball players. Besides, there is no evidence of a better performance on balance maintenance.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo de fin de Grado está dedicado al análisis de las presiones plantares en jugadores de élite de balonmano. El balonmano es un deporte colectivo muy conocido y practicado en nuestro país, en el que se han conseguido recientemente éxitos internacionales, tanto a nivel de clubes (5 campeones españoles en las últimas 10 ediciones de la Copa EHF) así como de selecciones, donde se consiguió el primer puesto en el campeonato celebrado en España a comienzos de este año.

Las presiones plantares son un medio útil para llegar a conclusiones acerca de la biomecánica de la marcha así como de distintos gestos deportivos. La medición de las presiones plantares se usa habitualmente para determinar características específicas de la carga en la superficie de la suela. [...] Además, la medición de las presiones en la interacción entre pie y calzado ofrece una descripción realista de los sujetos caminando, corriendo o llevando a cabo actividades de la vida cotidiana. Esto permite extraer conclusiones acerca de las áreas del pie que se ven sometidas a mayores presiones... (1)

Los sistemas de medida de presiones se encuentran generalmente en dos formatos; o bien una plantilla con sensores que se introduce en el calzado o un sistema basado en una plataforma. Pese a que estos sistemas presentan diferencias características, dada la naturaleza de su diseño, ambos son utilizados como homólogos por los investigadores para evaluar parámetros del pie. (2)

Existen varios estudios en los que se emplean estos parámetros para analizar deportistas de disciplinas tan variadas como el hockey sobre hielo (3), la esgrima (4) o el judo (5) así como para la evaluación de patologías como metatarsalgias (6) o hallux valgus (7).

Así pues, dentro de este tipo de trabajos que estudian las presiones plantares, podemos distinguir aquellos en los que se utiliza como aparato de medida unas plantillas instrumentadas (8), (9), frente a los que emplean una plataforma de presiones (10), (11). Asimismo existe un estudio que realiza una comparativa entre estos dos métodos, realizando una subdivisión más profunda en el caso de la plataforma de presiones, al considerar dos posibilidades distintas, según el sujeto esté calzado o no. En este estudio se llega a la conclusión de que los datos obtenidos por un mecanismo no se

pueden transferir a los demás, pero ambos son completamente fiables en cuanto a los datos aportados (2).

Uno de los aparatos de medida, basados en plantillas, más utilizados actualmente es el conocido como Biofoot® (Instituto de Biomecánica de Valencia). Consiste en un par de suelas delgadas (0,7mm) flexibles, de polyester, con 64 sensores piezoeléctricos cada una, lo que permite tomar medidas de las presiones plantares dinámicamente en la interfaz pie-calzado. Las suelas están conectadas a un amplificador sujeto a la cadera del sujeto, el cual envía los datos a un ordenador mediante telemetría digital. (1)

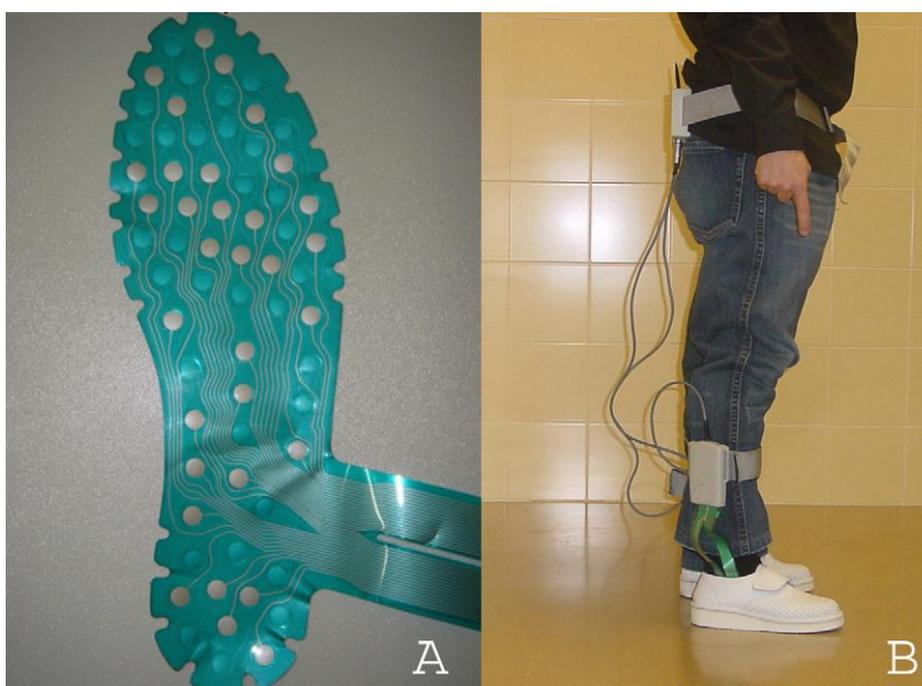


Fig. 1- (A) Plantillas instrumentadas Biofoot®, con 64 sensores.

(B) Sujeto listo para comenzar la prueba.

Las plataformas de presiones sin embargo, no se integran en el calzado del sujeto, sino que se sitúan en el suelo, debiéndose colocar el sujeto sobre ellas o realizar el paso dentro de su área de medida, en la que se acumulan una gran cantidad de sensores; como en la plataforma emed-x®, la cual contiene 6080 transductores de fuerza basados en la capacitancia, con una resolución de 4 sensores por centímetro cuadrado. (12)

En este caso, se optó por realizar las mediciones utilizando una plataforma de presiones, al poder contar con esta herramienta que, gracias a su fiabilidad, es ampliamente utilizada en diversos estudios de investigación. (12)

Una vez revisada la bibliografía, no se ha encontrado ningún trabajo que haya analizado las presiones plantares en un grupo de jugadores de balonmano, por lo que se considera interesante la realización de un estudio que se centre en estos parámetros, con el objetivo de estudiar las adaptaciones de la marcha que se pueden producir en los practicantes de este deporte.

Hay que recalcar la adecuación de este trabajo en el marco del Grado, ya que guarda relación con varias de las asignaturas cursadas a lo largo distintos años, como Fundamentos anatómicos (biomecánica de la marcha), Deportes de colaboración-oposición, Composición corporal y exploración funcional (empleo de plataforma de presiones) así como el practicum, el cual realizó en la empresa mencionada anteriormente, de manera que para la realización de este trabajo se pusieron en práctica conocimientos adquiridos a lo largo de toda la carrera.

OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo de fin de Grado es el de analizar las presiones plantares en estática y dinámica de un grupo de jugadores profesionales de balonmano, y determinar si existen diferencias de estos parámetros con personas que no practican ningún deporte de forma profesional, es decir, si practicar balonmano de forma profesional modifica las presiones plantares.

Como objetivos secundarios:

- Determinar que el grupo de jugadores y controles son homogéneos en cuanto a peso y talla.
- Analizar las presiones plantares en jugadores y controles en posición estática y realizando una marcha normal (dinámica).
- Determinar las diferencias de presiones entre jugadores de balonmano y controles.
- Observar la estabilidad estática en los jugadores y determinar las diferencias con el grupo control.
- Estudiar la influencia de la lateralidad, morfología del pie y posiciones de juego en las variables estudiadas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se presentaron al estudio un total de 16 jugadores del primer equipo del Club Balonmano Huesca, así como 20 sujetos que sirvieron como muestra control para un análisis comparativo. Todos los sujetos eran hombres, mayores de edad y libres de lesiones en las extremidades inferiores, a excepción de dos de ellos, pertenecientes al grupo control, que precisamente por este motivo fueron excluidos del estudio. Los jugadores de balonmano compiten al máximo nivel nacional, entrenando 14 horas semanales mientras que los controles son sujetos activos practicantes de distintas modalidades deportivas que en ningún caso entrenan más de 10 horas semanales ni llegan a competir a nivel nacional.

Para el análisis de las presiones plantares se siguieron criterios utilizados en varios de los estudios realizados a deportistas de diversas modalidades mencionados anteriormente (4) (5), teniendo en cuenta diversos parámetros relativos tanto a la estabilidad en estático como a la dinámica de la marcha.

Previamente a cualquier medición, se entregó a los sujetos un documento informativo de los objetivos del estudio y estos cumplimentaron un formulario de consentimiento informado así como una breve encuesta con la que se recopilaron datos acerca del perfil de cada uno de ellos (edad, años de experiencia deportiva, horas de entrenamiento semanales, posición en el terreno de juego, pierna dominante e historial de lesiones). Estos documentos se pueden encontrar en los anexos.

En una exploración previa, se anotaron características antropométricas tales como la talla, medida con una cinta antropométrica de precisión ± 1 mm y el peso, registrado sobre una báscula de precisión $\pm 0,1$ kg. También se anotaron características relativas a la anatomía del pie de cada sujeto, analizando si se trataba de un pie varo o valgo y si presentaba morfología de pie cavo o plano.

Las mediciones se llevaron a cabo empleando una plataforma de presiones Footwork® y registrado con el software informático de la misma compañía en las instalaciones de Podoactiva-Walqa. La plataforma está integrada con el resto del suelo de manera que no es necesario realizar ningún tipo de adaptación de la marcha para la realización del estudio dinámico de la misma.



Fig. 1- Estudio en estático sobre plataforma de presiones

Se realizaron dos tipos de análisis, uno en estático y otro dinámico. El estudio estático requiere que el sujeto, descalzo, se coloque en bipedestación sobre la plataforma, con la mirada dirigida hacia el frente, los brazos extendidos a lo largo del cuerpo y le es requerido expresamente que trate de permanecer inmóvil. Se registran las presiones plantares durante un intervalo de 10 segundos. Esta medición fue tomada dos veces para cada individuo, una al inicio del estudio y otra tras completar el registro dinámico.

En el estudio dinámico de la marcha se llevó a cabo el protocolo de los tres pasos, método utilizado como referencia para validar otras posibilidades de actuación (13). Este consiste en colocar al sujeto a una distancia tal que alcance la plataforma de presiones con su tercer paso (ver figura 2). Se tomaron, para cada pie, las presiones plantares durante la marcha en dos ocasiones.

Se requería a los sujetos que caminaran de la manera más natural posible. Como ya se ha mencionado, la plataforma de presiones se encuentra integrada con el suelo, de manera que no existe ningún tipo de desnivel que requiera una adaptación de la marcha.

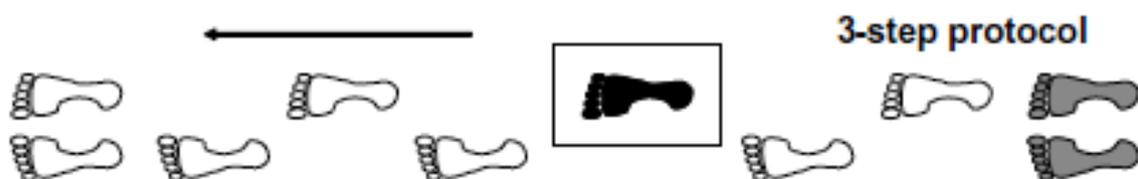


Fig. 2- Representación del protocolo de los tres pasos. La huella sombreada en negro indica la pisada que será registrada, al situarse dentro de la plataforma.

El software de análisis de presiones plantares, sincronizado con la plataforma de presiones nos presenta una gran cantidad de parámetros relacionados con el equilibrio y la distribución de peso tanto en estático como en dinámico. A continuación se detallan aquellos que han sido seleccionados para su posterior análisis, por considerarlos relevantes para la descripción de la biomecánica de la marcha. En todas las mediciones se cuenta con dos valores, uno correspondiente al pie izquierdo y otro al derecho.

➤ *Presiones en estático*

Se analizaron las presiones medias a lo largo de los 10 segundos en la totalidad del pie (PMed), la localización del punto con mayor presión media (LocMPMed) así como el valor de la presión media en este punto (MPMed). También se controló la presión máxima durante el intervalo de tiempo (PMax) y la superficie de pie apoyada a lo largo de la prueba (Sup). En la siguiente imagen se muestra una representación gráfica de las presiones que nos muestra el software de análisis informático.

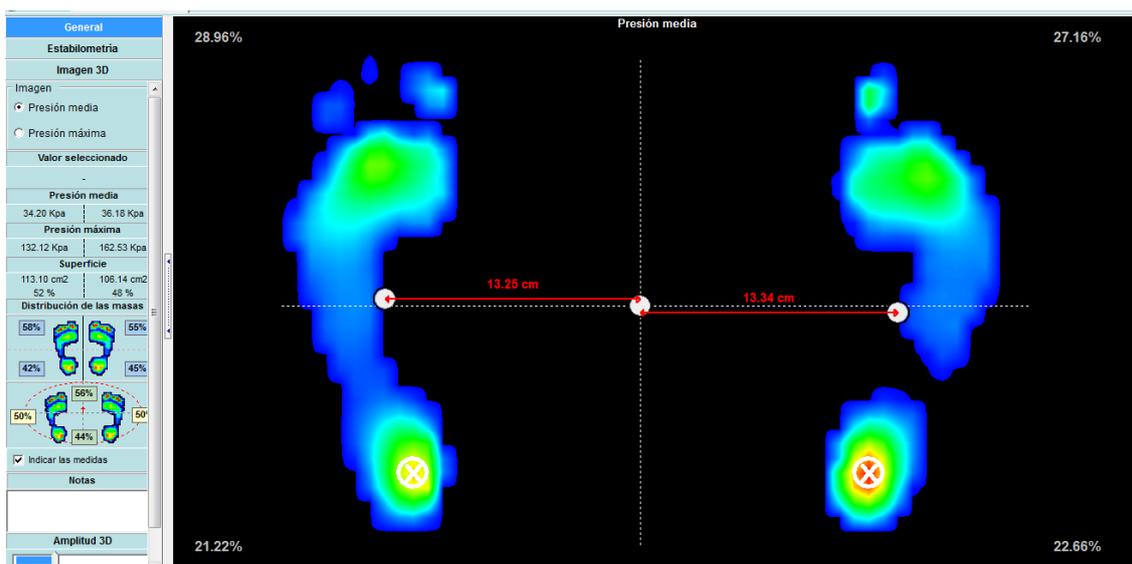


Fig 3.- Representación del programa Footwork® de las presiones plantares en estático

➤ *Equilibrio en estático*

Al mismo tiempo que el análisis de las presiones, se registra la evolución de la posición del centro de gravedad (CG) del cuerpo, lo que nos permite obtener valores relativos al equilibrio en estático del sujeto analizado.

Los parámetros recogidos en este estudio han sido la distribución del peso (dividido tanto en el eje mediolateral como en el anteroposterior), la superficie de

oscilación del CG (SupOsc), el rango de oscilación lateral (OscLat) y frontal (OscFron) del CG así como la relación entre estos (OscLat/OscFron).

Se muestra a continuación la representación gráfica de la evolución temporal del CG que ofrece el citado programa. El 10% de los datos más alejados de la media son excluidos.

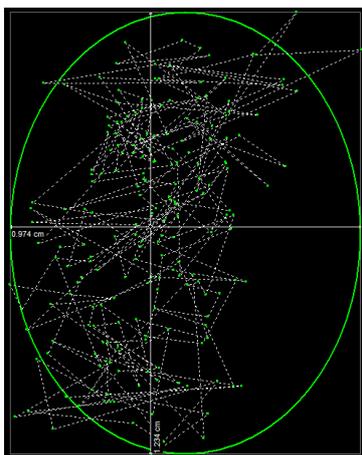


Fig 4.- Representación del programa Footwork® de la evolución del centro de gravedad

➤ *Presiones durante la marcha*

Aplicando el mencionado protocolo de los tres pasos sobre la plataforma de presiones, se pueden obtener las siguientes variables relativas a la marcha. Máxima presión media (DMPMed) y su localización (DLocMPMed), máxima presión máxima (DMPMax), superficie de apoyo (DSup) y duración del paso (DurPas).

En la siguiente figura se muestra una representación de las presiones plantares durante la marcha. Se trata de una imagen similar a la relativa a las presiones en estático, pero en este caso se añaden dos líneas que indican la evolución del centro de gravedad (blanco) y los puntos de máximas presiones (morado) durante el paso.

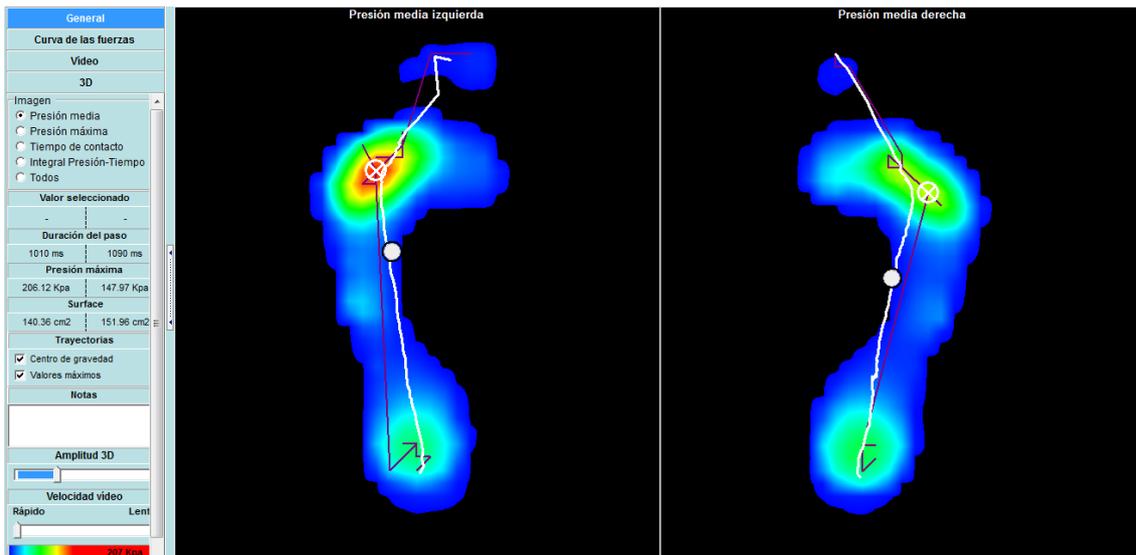


Fig 5.- Representación de las presiones plantares durante la marcha

Para determinar la localización de las presiones máximas según una zona del pie, se dividió el área de pisada en cinco zonas diferenciadas tal y como se muestra en la siguiente figura.

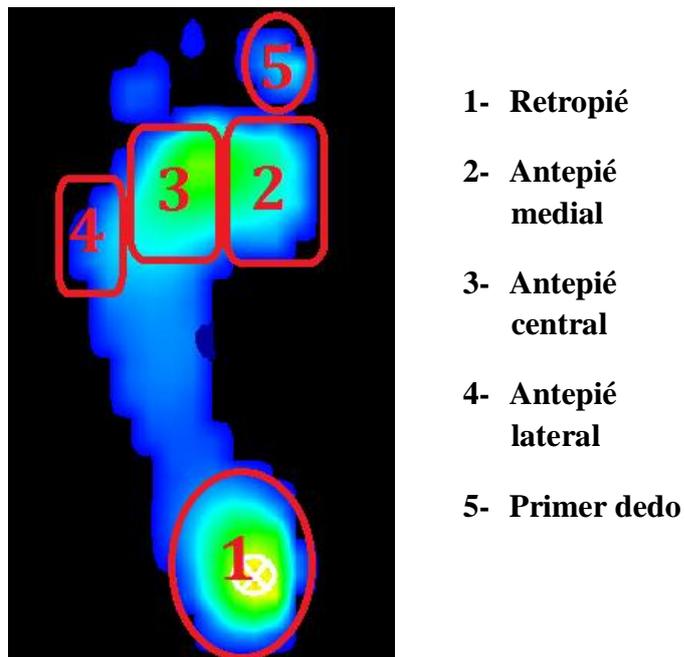


Fig. 6.- Subdivisión de las regiones del pie

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos se analizaron con pruebas estadísticas según los objetivos planteados, para ello se utilizó el paquete estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) para Windows, versión 19.

Las variables cuantitativas se definen mediante dos parámetros, la media aritmética, como medida de tendencia central, y la desviación estándar, como medida de dispersión. Por ello, los resultados están expresados siempre como media aritmética \pm desviación estándar.

Las variables que se van a comparar son las obtenidas entre los dos grupos de estudio. Como la muestra para cada grupo es inferior a 30, se realizaron test no paramétricos para variables independientes en las variables cuantitativas, así como correlaciones cuando se comparan dos de ellas. Para las variables cualitativas se determinó su frecuencia y relación por medio de tablas de contingencia. El valor de significación estadística se establece en $p < 0,05$.

RESULTADOS

En este apartado se presentan una serie de resultados obtenidos a partir de los datos tomados en el análisis de las presiones plantares de los sujetos.

Tabla 1.- Perfil de los sujetos objeto de estudio

Grupo	N	Edad (años)	Altura (cm)	Peso (kg)	IMC (kg/m ²)
Jugadores balonmano	16	27'6±6'6	190±7'9	92'5±12'4	25'7 ± 2'3
Controles	18	23'5±5'5	182±4'7	80'4±10'9	24'2 ± 2'7
p	-	n.s.	0'002	0'007	n.s.
Total	34	25'4±6'3	186±7'4	86'1±13'0	24'9 ± 2'6

(n.s.: no significativo)

En la tabla 1 se han descrito las variables de edad, peso, talla e IMC para ambos grupos. Se realizó una comparación de los valores resultantes para determinar si ambos grupos eran homogéneos. Se encontraron diferencias significativas en los parámetros de talla y peso, mientras que no se dio así en el caso de la edad y el IMC, lo que lleva a la decisión de normalizar por el peso las presiones plantares, con el fin de evitar sesgos entre balonmanistas y controles.

En el caso de las presiones plantares en estático, no se encontraron diferencias significativas entre ambos grupos, salvo en el caso de la presión máxima en el pie izquierdo ($p=0'049$). En la siguiente tabla aparecen los resultados encontrados.

Tabla 2.- Comparativa de las presiones plantares en estático entre ambos grupos

Variable		Balonmano (n=16)	Controles (n=18)	P
Presión media (kPa/kg)	PI	0'423 ± 0'106	0'388 ± 0'086	n.s.
	PD	0'395 ± 0'136	0'395 ± 0'102	n.s.
Máxima presión media (kPa/kg)	PI	1'66 ± 0'54	1'36 ± 0'42	0'049
	PD	1'34 ± 0'36	1'45 ± 0'47	n.s.
Máxima presión total (kPa/kg)	PI	2'20 ± 0'88	1'87 ± 0'74	n.s.
	PD	1'80 ± 0'58	2'01 ± 1'05	n.s.

(PI: Pie izquierdo; PD: Pie derecho) (n.s.: no significativo)

Las variables relativas a la marcha que han sido comparadas entre el grupo de jugadores de balonmano y los controles son el valor de la máxima presión media (DMPMed) y la máxima presión desarrollada en un punto a lo largo del paso (DMPMax). Estos valores se presentan para ambos pies en la tabla 4. Nuevamente nos vemos en la situación de no poder constatar diferencia alguna entre ambos grupos, ya que ninguno muestra una significatividad inferior a 0'05.

Tabla 3.- Comparativa de las presiones plantares dinámicas entre ambos grupos

Variable		Balonmano (n=16)	Controles (n=18)	P
Máxima presión media durante el paso (kPa/kg)	PI	2'00 ± 0'72	1'99 ± 0'58	n.s.
	PD	1'89 ± 0'65	1'99 ± 0'51	n.s.
Máxima presión durante el paso (kPa/kg)	PI	5'43 ± 2'43	5'57 ± 2'17	n.s.
	PD	4'92 ± 1'19	5'28 ± 1'68	n.s.

(PI: Pie izquierdo; PD: Pie derecho) (n.s.: no significativo)

Respecto a los datos relativos a la estabilidad, los jugadores de balonmano muestran una superficie de oscilación del centro de gravedad (SupOsc), así como oscilaciones laterales (OscLat) y frontales (OscFron), mayores que el grupo control (tabla 4). A pesar de ello, no aparecen diferencias significativas entre los dos grupos a estudio, así como en la relación entre estos dos últimos parámetros (RelLatFron).

Tabla 4.- Comparativa de la estabilidad entre ambos grupos

Variable	Balonmano (n=16)	Controles (n=18)	P
Superficie de oscilación (cm ²)	3'38±2'26	3'17±2'18	n.s.
Oscilación lateral (cm)	1'70±0'67	1'68±0'53	n.s.
Oscilación anteroposterior (cm)	2'36±0'92	2'24±0'86	n.s.
Relación entre oscilaciones	0'774±0'307	0'796±0'256	n.s.

(n.s.: no significativo)

La correlación entre la talla y la superficie de oscilación del CG no es significativa para el grupo del balonmano, pero sí lo es para los controles ($p=0'013$) con un coeficiente de correlación de Pearson de 0'575.

En un análisis más profundo del grupo de jugadores de balonmano se procedió a dividir el grupo en función de la lateralidad dominante y se volvieron a comprobar las presiones, tanto en estático como en dinámico, añadiendo en este caso un nuevo parámetro; la duración de cada uno de los pasos (DurPas). No se observaron diferencias entre estos dos subgrupos para ninguno de las variables estudiadas. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para cada uno de estos parámetros.

Tabla 5.- Análisis del grupo de balonmanistas divididos según lateralidad

Variable		Diestros (n=11)	Zurdos (n=5)	P
Presión media (kPa/kg)	PI	0'404 ± 0'124	0'464 ± 0'029	n.s.
	PD	0'385 ± 0'161	0'415 ± 0'061	n.s.
Máxima presión media (kPa/kg)	PI	1'58 ± 0'62	1'84 ± 0'25	n.s.
	PD	1'31 ± 0'39	1'41 ± 0'30	n.s.
Máxima presión total (kPa/kg)	PI	2'16 ± 1'03	2'29 ± 0'51	n.s.
	PD	1'80 ± 0'63	1'80 ± 0'53	n.s.
Máxima presión media durante el paso (kPa/kg)	PI	1'95 ± 0'71	2'12 ± 0'81	n.s.
	PD	1'82 ± 0'70	2'03 ± 0'54	n.s.
Máxima presión durante el paso (kPa/kg)	PI	5'53 ± 2'89	5'21 ± 1'12	n.s.
	PD	4'77 ± 0'95	5'25 ± 1'69	n.s.
Duración del paso (ms)	PI	798 ± 95'6	762 ± 83'2	n.s.
	PD	785 ± 128	770 ± 85'1	n.s.

(PI: Pie izquierdo; PD: Pie derecho) (n.s.: no significativo)

Para el grupo de controles se llevó a cabo el mismo estudio, subdividiendo el grupo en función de la lateralidad dominante y analizando las mismas variables que se acaban de mostrar. Tampoco se hallaron diferencias significativas entre estos dos grupos de la muestra para ninguna de las variables. Se indican los resultados relativos a estas variables en la tabla 6.

Tabla 6.- Análisis del grupo control dividido según lateralidad

Variable		Diestros (n=15)	Zurdos (n=3)	P
Presión media (kPa/kg)	PI	0'385 ± 0'083	0'403 ± 0'118	n.s.
	PD	0'396 ± 0'107	0'392 ± 0'086	n.s.
Máxima presión media (kPa/kg)	PI	1'39 ± 0'43	1'18 ± 0'36	n.s.
	PD	1'49 ± 0'50	1'28 ± 0'32	n.s.
Máxima presión total (kPa/kg)	PI	1'93 ± 0'79	1'55 ± 0'28	n.s.
	PD	2'08 ± 1'13	1'66 ± 0'50	n.s.
Máxima presión media durante el paso (kPa/kg)	PI	2'04 ± 0'61	1'70 ± 0'33	n.s.
	PD	1'96 ± 0'56	2'11 ± 0'14	n.s.
Máxima presión durante el paso (kPa/kg)	PI	5'74 ± 2'25	4'72 ± 1'81	n.s.
	PD	5'33 ± 1'84	5'02 ± 0'49	n.s.
Duración del paso (ms)	PI	747 ± 78'5	690 ± 43'9	n.s.
	PD	743 ± 67'0	707 ± 35'1	n.s.

(PI: Pie izquierdo; PD: Pie derecho) (n.s.: no significativo)

Centrándose de nuevo en el grupo de jugadores de balonmano, se procedió a dividirlos en función de la morfología del pie, estableciendo dos clasificaciones; una para la clasificación varo/valgo y otra para la plano cavo. Como se puede observar en las siguientes tablas, no se hallaron diferencias significativas entre los distintos grupos para ninguna de las variables estudiadas, que fueron la superficie de pie apoyado, tanto en estático (Sup) como en dinámico (DSup), el porcentaje de distribución del peso en los ejes izquierda (PesI) – derecha (PesD) y anterior (PesA) – posterior (PesP) y los ya mencionados parámetros de estabilidad.

Tabla 7.- Comparativa entre pie varo/valgo en los jugadores de balonmano

Variable		Pie valgo (n=8)	Pie varo (n=3)	Pie neutro (n=5)	P
Superficie en estático (cm ²)	PI	106 ± 24'1	90'3 ± 32'0	108 ± 27'3	n.s.
	PD	113 ± 22'5	98'2 ± 23'7	105 ± 26'4	n.s.
Superficie en dinámico (cm ²)	PI	137 ± 25'8	128 ± 22'4	138 ± 32'2	n.s.
	PD	136 ± 19'2	119 ± 23'7	129 ± 20'1	n.s.
Distribución de peso izquierda (%)		50'1 ± 4'94	47'3 ± 4'93	53'4 ± 8'79	n.s.
Distribución de peso derecha (%)		49'9 ± 4'94	52'7 ± 4'93	46'6 ± 8'79	n.s.
Distribución de peso anterior (%)		45'8 ± 9'27	54'0 ± 8'72	47'0 ± 12'5	n.s.
Distribución de peso posterior (%)		54'2 ± 9'27	46'0 ± 8'72	53'0 ± 12'5	n.s.
Superficie de oscilación (cm ²)		3'14 ± 2'24	3'13 ± 0'97	3'92 ± 3'07	n.s.
Oscilación lateral (cm)		1'54 ± 0'49	1'92 ± 0'22	1'84 ± 1'07	n.s.
Oscilación anteroposterior (cm)		2'45 ± 1'20	2'04 ± 0'40	2'42 ± 0'67	n.s.
Relación entre oscilaciones		0'746 ± 0'385	0'950 ± 0'078	0'715 ± 0'249	n.s.

(PI: Pie izquierdo; PD: Pie derecho) (n.s.: no significativo)

Continuando con la división en grupos según la morfología del pie, a continuación se presentan las tablas de contingencia resultantes de cruzar estas variables con aquellas relativas a la localización de los puntos de máximas presiones, tanto en estático como en dinámico. La división por zonas de la superficie del pie para el análisis de la localización de dichos puntos fue la ya mencionada en el apartado de material y métodos y se puede consultar en la figura 6.

Durante el análisis estadístico se realizaron varias tablas de contingencia cruzando las variables de la morfología del pie con las de la localización de los puntos de máximas presiones, de manera que se estudió la localización de estos puntos en cada pie, tanto en estático como en dinámico, lo que da lugar a ocho tablas de contingencia diferentes. A continuación se describen dos de ellas como ejemplos.

En la contingencia entre la morfología del pie cavo/plano y la localización del punto de máxima presión durante la marcha en el pie izquierdo, dentro del grupo de jugadores de balonmano se observó que, de aquellos que presentan un pie cavo, un 9'1% sitúan el centro de máximas presiones en la zona medial del antepié, mientras que el 90'9% restante lo hace en la zona central del antepié. Por otra parte, en todos los sujetos con un pie plano este punto de máximas presiones recae en la zona lateral del antepié. Finalmente, entre aquellos jugadores que muestran un pie neutro, es decir, ni cavo ni plano, un 25% tiene su punto de máxima presión en el talón y un 75% en la zona central del antepié.

En cuanto al pie derecho, tras realizar el análisis anterior se han obtenido los siguientes resultados. Los sujetos con los pies cavos han presentado el mismo comportamiento en ambos pies, por lo que en este caso también se reparte un 9'1% en la zona medial del antepié y un 90'9% en la zona central del antepié. En la misma situación se encuentran aquellos con pie plano, de nuevo se sitúa en la zona lateral del antepié el 100% de los casos. Los sujetos con pie neutro, sin embargo, han presentado alguna diferencia; un 25% muestra el punto de máximas presiones en el talón, otro 25% en la zona medial del antepié y el 50% restante en el primer dedo.

Las descripciones presentadas corresponden al cruce de casos entre la característica cavo/plano del pie respecto a la localización del punto de máxima presión media durante el estudio del sujeto durante la marcha en ambos pies.

Simultáneamente a la elaboración de las tablas de contingencia se llevó a cabo una prueba chi-cuadrado, a partir de la cual se han encontrado diferencias significativas entre los grupos de pie cavo/plano en los parámetros mostrados en estas descripciones, es decir, en la localización del punto de máximas presiones durante la marcha en el pie izquierdo ($p=0'004$) y en el pie derecho ($p=0'0003$), mientras que no es así para el resto de variables (morfología del pie varo/valgo y localización del punto de máxima presión en estático).

Vistos estos resultados se presentan a continuación los homólogos correspondientes al grupo control, en los que no aparecieron diferencias significativas tras la ejecución del test chi-cuadrado.

En la tabla de contingencia entre la morfología cavo/plano del pie y la localización del punto de máxima presión durante la marcha en el pie izquierdo, en el grupo control se obtuvieron los resultados descritos a continuación.

Un 90'9% de los controles con un pie cavo sitúan el punto de máxima presión en la zona medial del antepié y un 9'1% lo hace en el talón. En este caso, todos los sujetos control que presentan un pie plano colocan la máxima presión en la zona central del antepié. Por último, entre los controles con pie neutro, el 20% envía la máxima presión a la zona medial del antepié, el 40% a la zona central metatarsiana y el 40% restante, al primer dedo.

Por otra parte, entre los sujetos control con pie cavo y plano se da la misma situación que con los jugadores de balonmano, es decir, que muestran el mismo comportamiento en ambos pies, por lo que entre los sujetos con pie cavo tenemos un 9'1% que mandan el punto de máximas presiones a la zona medial del antepié y un 90'9% a la zona central de la misma área y todos los sujetos con pie plano apoyan su peso en el pie derecho en la zona central del antepié. Los sujetos con el pie neutro vuelven a mostrar diferencias entre ambos pies. En este caso aparece un 80% en la zona central del antepié y el restante 20% en el primer dedo.

Dentro del grupo de los jugadores de balonmano se realizó un estudio más profundo diferenciando la posición de cada jugador dentro del terreno de juego, ya que la morfología puede ser determinante del rol que se juega dentro del equipo. Así pues, se analizan los perfiles de cada una de las posiciones y, tras comprobar que, efectivamente, existen diferencias significativas en cuanto al peso de los jugadores ($p=0'044$), se pasa a estudiar las variables relativas a la estabilidad del CG comparando las distintas posiciones.

Tabla 8.- Comparativa de los perfiles según el rol que ocupan dentro del equipo

Variable	Centrales	Laterales	Extremos	Pivotes	Porteros	P
Talla (cm)	190 ± 4'2	192 ± 6'3	182 ± 6'4	197 ± 5'1	192 ± 11	n.s.
Peso (kg)	86'5 ± 2'1	91'8 ± 5'7	83'4 ± 8'2	111 ± 13	95'0 ± 4'2	0'044
IMC (m/kg ²)	24'0 ± 1'4	24'8 ± 1'3	25 ± 2'5	28'3 ± 2'1	25'5 ± 2'1	n.s.

(n.s.: no significativo)

Tabla 9.- Comparativa de la estabilidad según el rol que ocupan dentro del equipo

Variable	Centrales	Laterales	Extremos	Pivotes	Porteros	P
Superficie de oscilación (cm ²)	1'66 ± 0'82	2'59 ± 1'43	4'26 ± 2'96	2'96 ± 1'22	5'10 ± 3'60	n.s.
Oscilación lateral (cm)	1'27 ± 0'60	1'45 ± 0'52	1'86 ± 0'65	1'74 ± 0'52	2'22 ± 1'46	n.s.
Oscilación anteroposterior (cm)	1'67 ± 0'03	2'28 ± 1'18	2'66 ± 1'23	2'12 ± 0'31	2'88 ± 0'17	n.s.
Relación entre oscilaciones	0'78 ± 0'35	0'73 ± 0'38	0'80 ± 0'37	0'82 ± 0'20	0'76 ± 0'46	n.s.

(n.s.: no significativo)

DISCUSIÓN

En la comparativa de los perfiles entre ambos grupos se ha observado que se dan diferencias significativas en el peso y la talla. Pese a los esfuerzos realizados para dar con sujetos control de una talla y peso adecuados para poder ser comparados con los jugadores de balonmano, no se ha conseguido cumplir este objetivo completamente, de manera que, como ya se ha comentado, es necesario normalizar al peso los valores de las presiones plantares para los análisis posteriores.

Una vez hecho esto, se procedió a comparar estos grupos en función de distintas variables, agrupadas en tres conjuntos muy definidos. El primero incluye todas las medidas de las presiones plantares durante la prueba en estático, mientras que el segundo recoge las medidas que se han tomado en dinámico, es decir, sobre el sujeto en marcha. Por último, se agrupan todas las variables relativas a la evolución del centro de gravedad durante los diez segundos que dura la mencionada prueba en estático.

De todas las variables estudiadas, la única en la que se encontraron diferencias significativas fue en el valor de la máxima presión media en el pie izquierdo durante el análisis estático. Al no complementarse con ninguna otra medida, ya sea del pie derecho o de cualquier otro parámetro de presiones, se considera que esto no es relevante.

Lo expuesto anteriormente, lleva a descartar la posibilidad de una adaptación de la marcha normal de una forma específica para la práctica del balonmano. Asimismo, tampoco se observa un diferente desempeño en la conservación de la estabilidad en bipedestación.

Se estudió la posible correlación entre la talla y la superficie de oscilación del centro de gravedad a lo largo de la prueba estática. En este caso, no aparece relación en el grupo de balonmanistas pero sí en los controles, lo que sugiere que, mientras en sujetos normales un aumento de la talla implica una mayor oscilación del centro de gravedad, es decir, un peor control del equilibrio, los jugadores de balonmano han sabido adaptarse y han conseguido mantener un buen equilibrio pese a su estatura, ya que de acuerdo con Paillard, et al. (5): ...cada deporte desarrolla modalidades específicas de control postural. El presente estudio muestra que los diferentes movimientos efectuados en un determinado deporte pueden inducir adaptaciones posturales particulares.

Tras subdividir ambos grupos en función de la lateralidad dominante, no se halló ninguna diferencia significativa entre zurdos y diestros en variables relativas a las presiones en estático, en dinámico y a la duración del paso. Esto implica que no existe ninguna variación en la acción motriz entre ambos grupos de dominancia, lo que concuerda con los resultados del estudio de Seil et al. (14), en el que se descarta una asociación entre la dominancia segmentaria y la aparición de lesiones en el tren inferior.

En la tabla 7 se analiza, dentro del grupo de balonmanistas, la influencia de la morfología del pie, más concretamente su carácter varo o valgo, en la superficie de pie apoyada y en la distribución del peso a lo largo de esa superficie. De nuevo se da una ausencia de diferencias significativas en todas las variables estudiadas.

Continuando con un análisis de la morfología del pie, se han descrito los datos relativos a la contingencia entre la característica cavo/plana del pie y la localización del punto de máximas presiones durante la marcha para ambos grupos. Mientras que en el grupo control no se aprecian diferencias en función de la morfología del pie, entre los jugadores de balonmano se observa que aquellos sujetos que presentan un pie plano llevan el punto de máxima presión hacia la parte externa del pie, a diferencia del resto de individuos los cuales tienden a apoyar el peso en la parte central o interior de la zona metatarsal, lo que está en concordancia con los resultados observados en el estudio de Queen et al. (15) en el que se analiza el efecto del pie plano en la ejecución de distintas tareas motrices.

Finalmente, se realiza un estudio comparativo entre las distintas posiciones en las que se colocan los jugadores durante el partido. Como se puede apreciar en la tabla 8, el peso es significativamente diferente entre los distintos grupos, lo que indica que el rol ocupado dentro del equipo tiene una repercusión en el peso ideal. Sin embargo, la superficie de oscilación del centro de gravedad y el rango de oscilación en los ejes medio-lateral y antero-posterior son similares para todos los grupos.

CONCLUSIONES

Se ha conseguido evaluar las presiones plantares en el grupo de balonmanistas tanto en estático como en dinámico, así como los valores relativos a la estabilidad, no encontrando diferencias significativas con el grupo control, los cuales no realizaban ningún deporte de forma profesional.

Existe correlación entre la talla y las oscilaciones del centro de gravedad en los controles y no en jugadores de balonmano, lo que permite aceptar que los jugadores de balonmano tienen un mejor control del equilibrio.

No consta ninguna influencia de la lateralidad, de la morfología varo-valgo, ni de la posición de juego ocupada, en las variables estudiadas.

Se observa relación entre la morfología de pie plano en el grupo de jugadores de balonmano, ya que estos tienden a presentar el punto de máximas presiones desplazado hacia el lateral durante la marcha normal.

Estos resultados podrían verse reforzados con un estudio en el que se evalúen un mayor número de deportistas, lo cual se considera que podría resultar interesante.

CONCLUSIONS

Static and dynamic plantar pressures of the handball players have been assessed, as well as parameters related to balance, whereas no significant differences have been found with the control subjects' group, who did not practice any sport as professionals.

Correlation between height and center of mass oscillation was observed in the control group, but that is not the case among handball players. This comparison could be used to state that handball players show a better management of balance.

There is no evidence of the influence of footedness, varus/valgus morphology or playing position on the studied variables.

It was observed a relationship with the flat feet morphology among the handball players, given that they tend to divert laterally their peak pressure spot during gait.

These results could be reassured by further studies analyzing a larger number of subjects, which could be considered interesting.

AGRADECIMIENTOS

Para este estudio se contó con la colaboración de los jugadores de la primera plantilla del Club Balonmano Huesca, equipo militante en la liga Asobal, máxima categoría del balonmano nacional, a quienes se les tomaron las mediciones necesarias para este estudio. Con el objetivo de poder realizar un análisis comparativo se tomaron igualmente mediciones sobre un grupo control, compuesto por deportistas de distintas modalidades. Se agradece a todos ellos la colaboración en este estudio. Asimismo, se quiere reconocer la cooperación de la empresa Podoactiva, que cedió sus instalaciones y aparatos de medida para la realización de la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Martínez-Nova A, Cuevas-García JC, Pascual-Huerta J, Sánchez-Rodríguez R. BioFoot® in-shoe system: Normal values and assessment of the reliability and repeatability. *The Foot* 2007;17(4):190-196.
- (2) Chevalier TL, Hodgins H, Chockalingam N. Plantar pressure measurements using an in-shoe system and a pressure platform: a comparison. *Gait Posture* 2010;31(3):397-399.
- (3) Pearsall DJ, Paquette YM, Baig Z, Albrecht J, Turcotte RA. Ice hockey skate boot mechanics: direct torque and contact pressure measures. *Procedia Engineering* 2012;34:295-300.
- (4) Trautmann C, Martinelli N, Rosenbaum D. Foot loading characteristics during three fencing-specific movements. *J Sports Sci* 2011;29(15):1585-1592.
- (5) Paillard T, Montoya R, Dupui P. Postural adaptations specific to preferred throwing techniques practiced by competition-level judoists. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 2007;17(2):241-244.
- (6) Vázquez Arce M, Alcañiz Alberola M, Núñez-Cornejo Palomares C, Juliá Mollá C, Nuñez-Cornejo Piquer C. Utilidad de las plantillas conformadas. *Rehabilitación* 2010;44(4):291-297.
- (7) Martínez-Nova A, Cuevas-García J, Sánchez-Rodríguez R, Pascual-Huerta J, Sánchez-Barrado E. Study of plantar pressure patterns by means of instrumented insoles in subjects with hallux valgus. *Revista española de cirugía ortopédica y traumatología (English edition)* 2008;52(2):94-98.
- (8) Bisiaux M, Moretto P. The effects of fatigue on plantar pressure distribution in walking. *Gait Posture* 2008;28(4):693-698.

- (9) Low D, Dixon S. Footscan pressure insoles: accuracy and reliability of force and pressure measurements in running. *Gait Posture* 2010;32(4):664-666.
- (10) 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(1):152-155.
- (11) Kellis E. Plantar pressure distribution during barefoot standing, walking and landing in preschool boys. *Gait Posture* 2001;14(2):92-97.
- (12) Hafer JF, Lenhoff MW, Song J, Jordan JM, Hannan MT, Hillstrom HJ. Reliability of plantar pressure platforms. *Gait Posture* 2013.
- (13) Meyers-Rice B, Sugars L, McPoil T, Cornwall M. Comparison of three methods for obtaining plantar pressures in nonpathologic subjects. *J Am Podiatr Med Assoc* 1994;84(10):499-504.
- (14) Seil R, Rupp S, Tempelhof S, Kohn D. Sports Injuries in Team Handball A One-Year Prospective Study of Sixteen Men's Senior Teams of a Superior Nonprofessional Level. *Am J Sports Med* 1998;26(5):681-687.
- (15) Queen RM, Mall NA, Nunley JA, Chuckpaiwong B. Differences in plantar loading between flat and normal feet during different athletic tasks. *Gait Posture* 2009;29(4):582-586.

ANEXOS

DOCUMENTO DE INFORMACIÓN AL DEPORTISTA

Fecha: 19 de abril de 2013

Versión: 01

Título del proyecto:

ANÁLISIS DE LAS PRESIONES PLANTARES EN EQUILIBRIO Y DURANTE LA MARCHA EN DEPORTISTAS DE ÉLITE DE BALONMANO Y HOCKEY HIELO.

Investigador principal:

D. Jorge Marín Puyalto (jmarin.hu@gmail.com)
Departamento de Fisiatría y Enfermería
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

Descripción del estudio

Este estudio se centra en el estudio de las presiones plantares en equilibrio y durante la marcha entre deportistas de élite de balonmano y hockey sobre hielo, así como su comparación con un grupo control de personas que aunque realicen actividad física no pertenecen a equipos de alto rendimiento. Para ello se analizarán los datos obtenidos tras un registro sobre una plataforma de presiones. El objetivo del estudio es identificar si los practicantes de estas modalidades deportivas, que difieren significativamente en el tipo de propulsión requerida, presentan distintos patrones a la hora de distribuir las presiones durante la bipedestación y la marcha.

Participantes

En el estudio participarán jugadores pertenecientes al primer equipo del Club Balonmano Huesca, todos ellos mayores de edad y militantes en la máxima categoría del deporte nacional: la liga Asobal de Balonmano. Asimismo, se seleccionará un grupo control en función de la edad y perfil de la muestra de jugadores y todos ellos no deberán presentar ningún tipo de alteración que interfiera en la marcha normal.

Prueba

Todas las pruebas se realizarán en los laboratorios de la empresa PODOACTIVA en Walqa (Huesca). Deberá acudir con ropa cómoda y, a ser posible, con pantalón corto, todas las mediciones las realizará descalzo.

Se obtendrá la talla (cm), el peso (Kg), la edad y número de calzado. Asimismo, rellenará un pequeño cuestionario para recoger información referente a los años de práctica, horas de entrenamiento por semana, e historial de lesiones.

Cuando esté usted preparado, deberá permanecer en bipedestación sobre una plataforma registradora de presiones, durante 10 segundos, con la mirada al frente, los brazos colgando a cada lado del cuerpo y manteniéndose lo más inmóvil posible.

A continuación se efectuarán mediciones sobre la marcha, para lo que deberá caminar por la sala en terreno llano sin desniveles, de manera que a lo largo del trayecto (que constará de una ida y una vuelta), caiga sobre la plataforma un paso con cada uno de los pies. Es importante que intente mantener un movimiento de marcha, normal, procurando evitar dar paso que no le sean naturales por el simple hecho de tratar de alcanzar la plataforma; en caso necesario pueden repetirse las pruebas.

Riesgos y molestias que implica la prueba

Existe la posibilidad de que se produzcan lesiones en el sistema musculoesquelético como por ejemplo: roturas fibrilares, musculares o tendinosas, así como, contusiones, esguinces o luxaciones, esta posibilidad es la misma que el riesgo que supone una marcha normal en su medio habitual. A pesar de ello, se harán todos los esfuerzos posibles para minimizar estos riesgos mediante la evaluación de la información preliminar concerniente a su salud y fitness, y mediante las observaciones que se hagan durante la prueba. Se dispone de material de urgencia, así como de personal preparado para actuar en cualquier situación inusual que pueda surgir. No se ha contratado un seguro por considerar que el riesgo es mínimo.

Responsabilidades del participante

Debe proporcionar toda la información que posea sobre su estado de salud al equipo investigador, para colaborar en su seguridad y evitar que afecte al valor de las pruebas. La rápida comunicación por su parte de las sensaciones que experimenta al realizar la prueba es también de gran importancia. Usted es responsable de revelar esa información al personal de la prueba cuando se le pregunte.

Beneficios esperados

Los resultados que se obtengan de estas pruebas se le facilitarán, así como, posibles recomendaciones o tratamiento en caso necesario.

Preguntas

Le animamos a que haga cualquier pregunta sobre los procedimientos seguidos en la prueba o sobre sus resultados. Si tiene alguna preocupación o pregunta, por favor pídasenos más información.

Libertad para dar el consentimiento

Usted participa en el estudio de manera voluntaria, pudiendo abandonarlo en el momento que considere oportuno, sin que esto conlleve ninguna repercusión negativa para usted.

Los datos obtenidos en el estudio serán confidenciales y únicamente se hará uso de ellos para el cumplimiento de los objetivos planteados en la investigación. No se cederán estos datos a terceros sin el consentimiento expreso de los sujetos participantes a quienes pertenezcan los datos.

En esta investigación se garantizará el anonimato de los sujetos que aportan los datos, estableciendo un código disociado para identificarlos que sólo será conocido por los responsables de la realización del trabajo de campo.



Fdo: Jorge Marín Puyalto

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Fecha:

Título del proyecto:

ANÁLISIS DE LAS PRESIONES PLANTARES EN EQUILIBRIO Y DURANTE LA MARCHA EN DEPORTISTAS DE ÉLITE DE BALONMANO Y HOCKEY HIELO.

Investigador principal:

D. Jorge Marín Puyalto (jmarin.hu@gmail.com)
Departamento de Fisiatría y Enfermería
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

Yo, (nombre y apellidos del participante)

He leído la hoja de información que se me ha entregado.

He podido hacer preguntas sobre el estudio y he recibido suficiente información sobre el mismo.

He hablado con: (nombre del investigador)

Comprendo que mi participación es voluntaria.

Comprendo que puedo retirarme del estudio:

- 1) cuando quiera
- 2) sin tener que dar explicaciones

Presto libremente mi conformidad para participar en el estudio.

Deseo ser informado sobre los resultados del estudio: sí no (marque lo que proceda)

Acepto que los datos obtenidos de este estudio puedan ser utilizadas en futuras investigaciones (relacionadas con ésta): sí no (marque lo que proceda)

Doy mi conformidad para que mis datos sean revisados por personal implicado en el trabajo, para los fines del estudio, y soy consciente de que este consentimiento es revocable.

He recibido una copia firmada de este Consentimiento Informado.

Firma del participante:

Fecha:

He explicado la naturaleza y el propósito del estudio al paciente mencionado

Firma del Investigador:

Fecha:

Consentimiento informado estudio_____

Versión_____, fecha_____

HOJA DE PROTOCOLO

A rellenar por el deportista

Nombre y apellidos: _____

Fecha de nacimiento: _____

Deporte practicado: _____

Años de práctica del deporte: _____

Horas de entrenamiento semanales: _____

Posición: _____

Lado dominante (rodear la opción adecuada): Zurdo Diestro

A rellenar por el investigador

Tipo de pie

--

Historial de lesiones del tren inferior

--