

ANÁLISIS DEL PATRÓN Y LAS PRESIONES PLANTARES DURANTE LA RECEPCIÓN EN UNA COLCHONETA

Pedro Pérez Soriano ⁽¹⁾, **Salvador Llana Belloch** ⁽²⁾, **Enrique Alcántara Alcocer** ⁽³⁾, **Florentino Huertas** ⁽¹⁾, **Ana Pablos Monzó** ⁽¹⁾.

^{1, 4, 5.} **Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad Católica “San Vicente Mártir”.**

² **Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad de Valencia.**

³ **IBV (Instituto de Biomecánica de Valencia).**

RESUMEN

Dentro de las rutinas de la gimnasia deportiva, un elemento común son las recepciones sobre la colchoneta. En este sentido, diversos han sido los estudios cinéticos y cinemáticos realizados sobre la recepción y cuyos resultados pueden han sido útiles para la mejora en la comprensión de la recepción y diseño de colchonetas. No obstante, el estudio de las presiones plantares durante la recepción no ha sido desarrollado por ninguna investigación a pesar de que el pie transmite al cuerpo las cargas de reacción generadas en el contacto con la colchoneta y dependiendo de su magnitud, frecuencia y punto de aplicación se pueden producir diferentes lesiones. El conocimiento de dichas cargas es importante no solo para la prevención de lesiones o criterios en el diseño de colchonetas, sino también para la mejora del rendimiento deportivo, mejorando la estabilidad durante la recepción. El presente trabajo muestra cuales son las zonas del pie a analizar, el patrón y las magnitudes de las presiones plantares durante una recepción tras un salto.

Palabras clave: Presiones plantares, colchonetas, gimnasia, biomecánica.

INTRODUCCIÓN

La gimnasia deportiva, junto al atletismo, es una de las modalidades más populares dentro del programa olímpico, donde el volumen y la carga de los entrenamientos en la preparación de los gimnastas necesita que sea cuidada hasta el más mínimo detalle, incluyendo la seguridad y elementos de protección (como puedan ser las colchonetas).

Entre los distintos tipos de ejercicios técnicos desarrollados por los gimnastas, un elemento común son las recepciones, importantes no solo desde el punto de vista del rendimiento (puntuación en la ejecución final) sino también desde la protección del gimnasta (fase donde se localiza el mayor índice de lesiones). Durante una recepción, los gimnastas suelen llegar a la colchoneta partiendo de alturas de 3.95 ± 0.16 m (Geiblinger, H. y cols. 1995) que generan unas fuerzas de impacto de magnitudes que oscilan entre 10 - 18 veces el peso corporal (McNitt-gray, J. L. 1993). Es evidente que el número de lesiones sufridas por los gimnastas ante tales magnitudes puede llegar a ser elevado, siendo el miembro inferior la zona donde se localiza el mayor número de lesiones, concretamente entre 54.1% - 70.1% (gimnastas masculinos) y 34.4 % - 43.1% (gimnastas femeninos) (Hume, P. 2001).

El siglo XX puede ser considerado como el siglo donde el desarrollo e investigación deportiva han alcanzado su máxima expansión. En gimnasia, la investigación deportiva en materia de colchonetas ha contribuido en gran medida al conocimiento de los efectos producidos sobre el gimnasta, siendo varios los estudios biomecánicos realizados para analizar las variables cinéticas y cinemáticas del gimnasta durante la recepción (Dufek y bates, 1990; Gross y Nelson, 1987; Lees, 1981; Nigg, 1985; Panzer, 1987; J.L McNitt-Gray,

1993). No obstante, y a pesar de la gran variedad de estudios no se conoce cuales son las magnitudes y evolución de las presiones plantares del pie durante la recepción sobre la colchoneta, aspecto importante ya que el pie juega un papel primordial en la estabilidad del apoyo durante la recepción: la distribución de las presiones a lo largo del pie y la progresión del punto de aplicación de la carga determinan en gran parte la estabilidad del apoyo, lo cual afecta no solo al resultado en una competición sino también a la posibilidad de sufrir una lesión.

El presente trabajo analiza cuales son los valores máximos de presión en las distintas zonas del pie y describe el patrón de las presiones durante la recepción realizada por cinco gimnastas en distintos tipos de colchonetas.

MATERIAL Y METODOS

Para el análisis de las presiones plantares durante la recepción se empleó un sistema de plantillas instrumentadas *Biofoot/IBV 2001* (Figura.- 1), formado por los siguientes componentes y características: pares de plantillas (formadas por 64 cerámicas distribuidas sobre una plantilla de 1,3mm de espesor), dos módulos amplificadores, un transmisor por telemetría y una tarjeta receptora instalada en el PC.

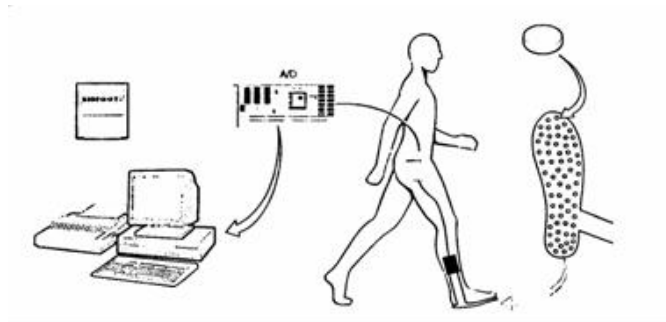


Figura 1.- Esquema del instrumental necesario para analizar las presiones plantares mediante una plantilla instrumentada Biofoot/IBV (Vera y Hoyos, 1993).

Las plantillas instrumentadas permiten el registro y análisis dinámico de la distribución de las presiones durante el apoyo del pie, facilita la determinación de los mapas de presiones a lo largo del tiempo de apoyo, el cálculo de la componente vertical de la fuerza resultante y la evolución del baricentro (Brizuela, G. A., y cols. 1987).

La utilización de este instrumental presentaba un problema, ya que la no utilización de calzado en los gimnastas dificultaba el empleo y funcionamiento de las plantillas. Por dicho motivo se utilizó un calzado especial, flexible y de ligero peso (similar a un calcetín) (Figura.- 2) que permitiera adquirir las presiones sin influir sobre el gimnasta y en el salto realizado.

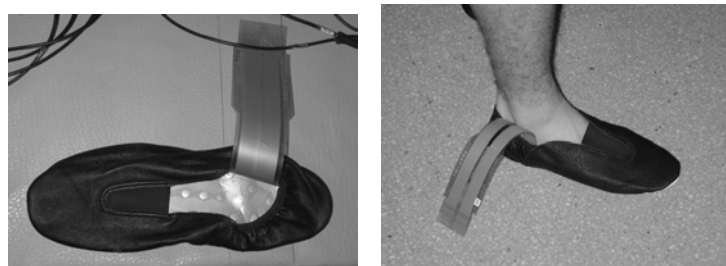


Figura 2- Zapatilla y plantillas empleadas.

Dado que numerosos estudios (McNitt-Gray J.L. (1991); McNitt-Gray, J.L. y cols.(1994); Arampatzis, A. y cols. (2002); Brian, P.S. y cols. (2001); Song-Ning, Z. y cols (2000); Jeremy, J.B. y cols. (2001)) que analizan la recepción sobre una colchoneta y los efectos derivados sobre el gimnasta emplean como salto para el análisis el “Drop Jump” (Figura.- 3), se utilizó este tipo de salto desde una altura de 80cm para el análisis de las presiones durante la recepción.



Figura 4.- Drop Jump.

Las cerámicas que configuraban las plantillas fueron agrupadas en 12 zonas diferentes para su análisis (Figura.- 4), empleándose una frecuencia de muestreo de 750 Hz (sobre un solo pie, el derecho) con un tiempo de medición total de 5 segundos en cada salto.

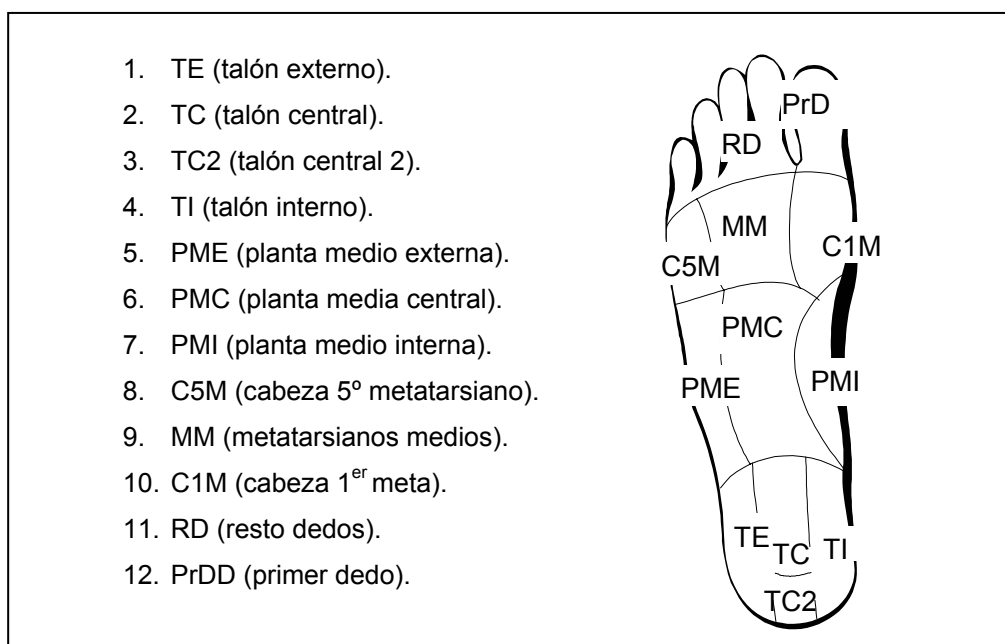


Figura 4.- Distribución de las zonas del pie en la plantilla instrumentada.

Muestra de sujetos y colchonetas analizadas.

En los diferentes ensayos realizados participaron 5 gimnastas, citados de manera individual en los laboratorios del IBV. Las medias de edad, peso y estatura de los cinco gimnastas masculinos que participaron en el estudio fue de: 25.8 ± 7.9 años, $68\text{Kg} \pm 7.91$ y $1.7\text{m} \pm 0.07$ respectivamente, con una media en los años de práctica deportiva en gimnasia de 10 ± 8.03 años.

Se analizaron un total de 6 colchonetas de diferente diseño y densidad, con un espesor de 20 cm.

Análisis estadístico y tratamiento de los resultados.

Los parámetros que se obtuvieron mediante el propio programa *Biofoot/IBV 2001* fueron las media de los valores máximos por zona, y su análisis posterior mediante el paquete estadístico SPSS.10 (Statistical Package for the Social Science).

El tratamiento estadístico realizado consistió en:

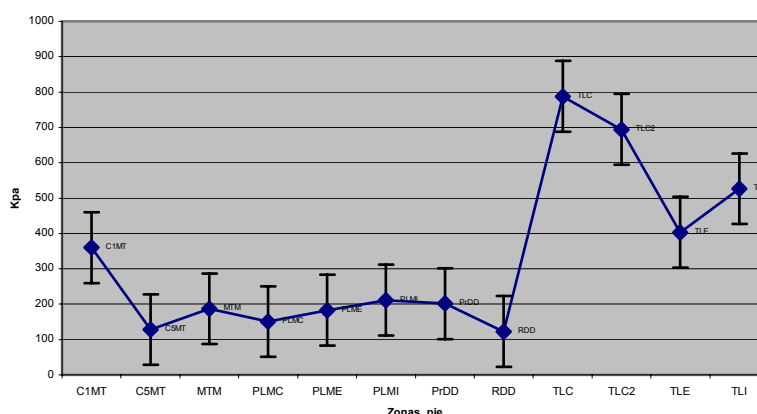
- Un análisis exploratorio de los parámetros obtenidos mediante el empleo de diagramas de caja simple (resumidos por grupos de caso), para eliminar valores extraños.
 - Un análisis de varianza (ANOVA. MLG-Univariante) estableciéndose como factores fijos la colchoneta y sujeto, y como factores dependientes las distintas zonas del pie (con un nivel de significación del $*p < 0.05$).
 - Un análisis de componentes principales que permitió identificar las relaciones existentes entre la presión de las 12 zonas del pie, así como obtener para posteriores estudios un número menor de zonas que expliquen la mayoría de la varianza observada. Los factores empleados para el análisis de reducción de datos mediante el método de rotación Varimax fueron las 12 zonas del pie.
- Los criterios seguidos en este análisis factorial fueron tres:

- a) Las comunalidades obtenidas mediante el método de extracción deben presentar una extracción para cada zona del pie ≥ 0.7 .
- b) Los resultados del porcentaje acumulado de la varianza deben ser lo más elevados posibles ($\geq 80\%$).
- c) La reducción de las 12 zonas del pie mediante el método de rotación Varimax y su agrupación en un número menor de componentes deben ser interpretables.

RESULTADOS

Descripción del patrón de recepción realizado por los gimnastas.

Del análisis de la gráfica obtenida (Gráfica.- 1) se puede observar como existe un mismo patrón de gesto en la recepción sobre varias colchonetas, siendo la región del talón (TLE, TLC, TLC2 y TLI) la zona de mayor presión (Kpa), concretamente la zona del TLC, seguida de la C1MT y el resto de zonas con un comportamiento similar.



Gráfica 1.- Medias de presión por zonas del pie.

En cuanto a la secuencia temporal de las presiones, se observa en la figura.-5 como la primera zona que contacta con la colchoneta es la zona del talón, seguida por las zonas más externas del pie hasta que llegar a la zona del primer meta.

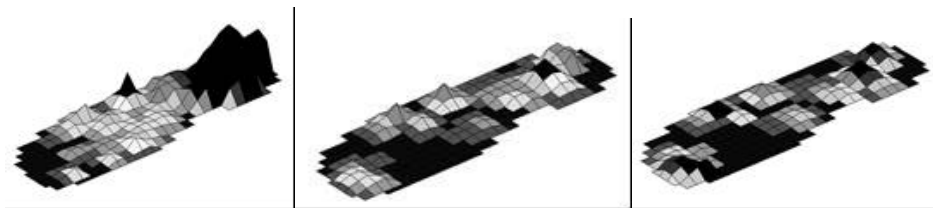


Figura 5.- Secuencia temporal de las presiones durante la recepción.

Comparación entre las medias por zona (ANOVA).

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) sobre las medias de las diferentes zonas del pie en los 6 tipos de colchonetas analizados, mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) según la zona del pie, a excepción de las zonas PrDD, TLC2 y TLE. Las medias de presión por zona, oscilaron entre 100 - 800 Kpa, teniendo una presión media entre 700 - 800 Kpa la zona del TLC, entre 400 - 600 Kpa el TLE y TLI, cerca de los 400 Kpa la C1MT y entre los 100 - 200 Kpa el resto de zonas analizadas.

Además se observan diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las colchonetas y las distintas zonas del pie, siendo las zonas del TLE y MTM las que menor diferencia significativa mostraron con la muestra de colchonetas analizadas.

Análisis factorial.

Los resultados del análisis factorial realizado permitieron identificar las relaciones existentes entre las presiones de las distintas zonas del pie. Las comunales de las distintas zonas del pie nunca fueron menores que 0.7, identificándose 4 componentes que explicarían el 83,804 % de la varianza total explicada.

De la extracción de los componentes principales, empleando el método de rotación Varimax (Tabla.- 1), se han extraído 4 componentes principales.

	Componente			
	1	2	3	4
PLMI	.933			
PLMC	.904			
TLC2	-.807		.460	
C1MT		.903		
PRDD		.863		
MTM	-.484	.680		
TLC			.896	
TLI			.813	
TLE	-.605		.624	
C5MT				.934
PLME			.417	.772
RDD		.439		.678

Tabla 1.- Matriz de componentes rotados.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este estudio ha permitido identificar el patrón de presiones de la planta del pie durante la recepción en una colchoneta (Gráfica.- 1), patrón caracterizado por unas elevadas presiones fundamentalmente en la zona del talón (con presiones medias de 800Kps) y C1MT (400Kpa), seguido de presiones más bajas (200Kpa) en el resto de zonas. No obstante, el valor de estas presiones varía en función del tipo de colchoneta empleada, tal y como muestran las diferencias significativas encontradas entre las zonas y la colchoneta.

El análisis de las componentes principales permitió identificar cuatro componentes (Figura.-6) que deberían de ser empleadas en futuros estudios; dos componentes que relacionan directamente la presión en zona delantera del pie (antepié) y el talón (retropié), una tercera componente (mediopié) que muestra una relación inversa entre las presiones de la planta media del pie y el talón externo (lo cual puede indicar un mecanismo de caída o impacto no controlado), y finalmente una cuarta componente (pie externo) que relaciona las presiones de la parte más externa del pie con el resto de dedos, pudiendo indicar esta componente el grado de estabilidad que el gimnasta consigue durante la recepción.

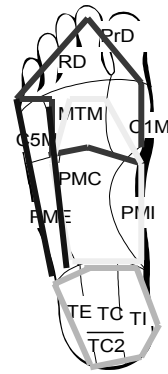


Figura 6.- Segmentación del pie en 4 zonas de análisis.

Como conclusiones a los resultados obtenidos en este estudio:

- La secuencia temporal de las presiones plantares durante la recepción se inicia en el talón, seguida por la parte más externa del pie hasta la zona de los metatarsos.
- Las presiones más elevadas se localizan en la zona del talón central, seguidas por la zona de la cabeza del primer metatarsiano, y manteniéndose presiones similares en el resto de zonas.
- El diseño de la colchoneta afecta en la distribución de las presiones plantares.
- En análisis de las presiones plantares durante la recepción en una colchoneta puede ser explicada segmentando el pie en 4 zonas.

BIBLIOGRAFÍA

- Brizuela, G. A; Llana, S (1987) Herramientas y técnicas para el análisis biomecánico. El análisis de la práctica deportiva; una visión multidisciplinar. Promolibro. Valencia
- Dufek, J.S., Bates, B.T. (1991). Biomechanical factors associated with injury during landing in jump sports. Sports Medicine. 12 (5): 326-337.
- Ferrandis, R. Criterios biomecánicos de diseño del calzado deportivo. Aportación al estudio cinético y cinemático del calzado para carrera urbana. 1997. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Hume, P. (2001). Minimising injuries in gymnastics activities. Department of sport and exercise. Auckland, Univ. (New Zealand).
- Lees, A. (1981). Methods of impact absorption when landing from a jump. Engineering in Medicine. MEP; 10 (4); 207-211.
- McNitt-Gray, J.I., Yokoi, T., Millward, C. (1993). Landing strategy adjustments made by female gymnasts in response to drop height and mat composition. Journal Applied Biomechanics. Human Kinetics, Champaign (IL). 9: 173-190.
- Panzer, V.P., Wood, G. A., Bates, B.T., Mason, B.R. (1987). Lower extremity loads in landing of elite gymnasts. En XI International congress on Biomechanics. 7-B; 721-735.
- Soler, C. Registro dinámico de la distribución de presiones plantares: diseño y desarrollo de un nuevo sistema de medida. Evaluación de su potencial de aplicación clínica e industrial. 2001. Tesis Doctoral. Instituto de Biomecánica de Valencia.
- Vera, P. Hoyos; J. V. (1993). Técnicas instrumentales desarrolladas por el Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV) para el análisis de las actividades humanas. Instituto de Biomecánica de Valencia.

AGRADECIMIENTOS

- Toldos Serrano S.L (Tatam Sport).
- Zfoam S.L.
- IBV (Instituto de Biomecánica de Valencia).
- Facultad de Ciencias de la actividad Física y el Deporte Física. Universidad Católica de Valencia "San Vicente Mártir".