

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

ANALYSIS OF PLANTAR PRESSURE PATTERN IN GYMNASTS DURING LAND IN DIFFERENT MATS

RESUMEN

En gimnasia, la recepción es la acción más frecuentes e importante para la puntuación final durante la competición, así como por las lesiones que podría producirse durante su ejecución. En la mayoría de los casos, la estabilidad del pie estará condicionada por la habilidad del gimnasta y las características y/o propiedades de la colchoneta, razón por la cual, en este estudio se han analizado el patrón y las magnitudes de presión plantar durante la recepción, así como su relación con la estabilidad y la percepción en la propiedades de la colchoneta. Para ello, se analizó mediante un sistema de plantillas instrumentado, la presión en el pie derecho de 5 gimnastas varones, tras 5 saltos válidos en 6 colchonetas con diferencias estadísticamente significativas según test EN 12503-4: 2001, además de sus diferencias en composición y estructura. También se evaluó mediante encuestas la percepción que el gimnasta había tenido en algunas de las propiedades de la colchoneta tras la recepción. Considerando como variable dependiente la media de presión máxima en cada zona, se realizó un ANOVA tomando como factor aleatorio al gimnasta y fijo a las colchonetas, observándose diferencias significativas ($p < 0.05$) por zona y colchoneta. El análisis factorial identificó las relaciones entre las zonas del pie, reduciendo a 4 componentes o factores (mediopié, antepié, retropié y pie externo) con un 83.80% del total de la varianza. El ANOVA en la percepción no mostró diferencias significativas, sin embargo, el análisis de correlaciones entre las presiones plantares y percepción mostró relaciones significativas ($p < 0.01$ y $p < 0.05$). En conclusión, existe un mismo patrón de presión independientemente de la colchoneta empleada, con elevadas magnitudes en el talón (785 kpa) y primer metatarsiano (352.6 kpa), y similares magnitudes (cercanas a los 200 kpa) en el resto de zonas. En cuanto a la percepción de estabilidad y velocidad de recuperación, los resultados lo relacionan con aumento de presión en la parte delantera del pie y con colchonetas más blandas, mientras que la presión en el talón se asocia con la percepción de la deformación para amortiguar la recepción y con colchonetas de mayor densidad.

PALABRAS CLAVE: Pedobarografía, superficie deportiva, estabilidad del pie, percepción.

SUMMARY

Landing is the most frequency and important action during gymnastic score competition, as well as the injuries that happen during its execution too. Generally, foot stability will be provided by the gymnast ability and mat properties. For this reason, pattern and plantar pressure during landings were analyzed, besides its relation with the stability and mat property perception. Five male gymnasts were analyzed by means of a pressure plantar system in his right foot, during five valid jumps in six different mats with statistical differences according to EN 12503-4: 2001 standard. The gymnast perception was analyzed with a survey after each five jump in different mat. Results of the ANOVA indicated significant differences ($p < 0.05$) in plantar zones and mats, with gymnast as random factor, mats as random fix factor and as dependent variable, the average of pressure in each zone. The factorial analysis identified the relations between the foot zones, reducing to four components (middle foot, rear foot, front foot, external foot) with 83.80% explained variance. The ANOVA in perception did not show significant differences. The correlation analysis in a plantar pressures and perceptions, exhibited significant relations ($p < 0.01$ y $p < 0.05$). In conclusion, a same pattern of plantar pressure was showed for different mats, with high pressure in the heel (785 kpa) and first metatarsian (352.6 kpa), and similar magnitude (near to 200 kpa) in rest zones. The stability and recovery speed perceptions were associated with high front pressures and soft mats, whereas high rear pressure and hard mats, was associated with the perception of the deformation to absorb the land.

KEY WORDS: Pedobarography, sport surface, foot stability, perception.

Pedro Pérez Soriano

Salvador Llana Belloch

Enrique Alcántara Alcover

INTRODUCCIÓN

La gimnasia deportiva es una de las modalidades más populares dentro del programa olímpico, donde la carga de entrenamiento, y especialmente las recepciones tras los saltos y salidas desde los distintos aparatos precisa de un minucioso control. Un objetivo fundamental a la hora de planificar el entrenamiento es la reducción de estas cargas, sin por ello tener que reducir el volumen de entrenamiento necesario para alcanzar el rendimiento deseado. En esta planificación hay que considerar la seguridad y los diferentes elementos de protección, entre los que destacan las colchonetas (1). Precisamente, es en estas colchonetas donde los gimnastas realizan numerosas recepciones tras la salida de aparatos, siendo además la recepción, la acción técnica que más frecuentemente se realiza en gimnasia (2, 3, 4, 5), y una de la más importantes no sólo por su repercusión en la puntuación final de la competición, sino también por ser una acción donde el gimnasta puede sufrir una grave lesión debida entre posibles causas, a una escasa amortiguación del impacto y/o inestabilidad final sobre la colchoneta.

La mayor parte de estas lesiones, asociadas a la primera fase de la recepción (6), se localizan en las extremidades inferiores: entre un 34.4-43.1% para gimnastas femeninas, y entre un 54.1-70.1% para gimnastas masculinos (7), siendo las articulaciones de la rodilla y tibiotalar con un 50-70%, las más frecuentemente lesionadas (2). Además, es lógico si se considera la gran altura desde la cual reciben, superiores a los 4 m en el caso de la barra fija (8, 9) y las fuerzas de impacto que el cuerpo experimenta (10), pudiendo llegar a ser de entre 8 y 10 veces el peso corporal (11, 12). Comparado con otras actividades físico-deportivas, como por ejemplo en la carrera a pie entre 2.6 y 3.7 veces el peso corporal (13), o el aeróbic entre 2.2 y 2.8 veces el peso corporal (14), se observa que las recepciones en gimnasia suponen un gran estrés para el sistema músculo-esquelético, así como el desafío que supone para los gimnastas la correcta ejecución final de los ejercicios (15, 16, 17, 18, 19, 20).

Muestra de que la recepción es una de las acciones más importantes, son los numerosos estudios publicados, analizándose diferentes variables cinéticas (3, 10, 11, 21, 22) y cinemáticas (9, 21, 23, 24, 25) durante la recepción, destacando además algunas investigaciones cuyo objetivo estuvo centrado en analizar la interacción de la extremidad inferior del gimnasta en colchonetas de diferentes densidades (2, 4, 5, 26, 27, 28).

Sin embargo, tal y como Arampatzis y cols citan (2): “*No se han analizado los efectos que podrían producirse en la cinemática del pie durante la recepción en colchonetas de distinta densidad*”. Pero además, tampoco son conocidas algunas variables cinéticas en el pie durante la recepción en diferentes tipos de colchonetas, tales como las magnitudes y la evolución de las presiones plantares en diferentes zonas del pie, importantes no sólo para comprender y mejorar los mecanismos que el gimnasta emplea para estabilizarse en la colchoneta durante la recepción, sino también para analizar algunas de las posibles causas de lesión (frecuentemente relacionadas con esguinces o fracturas).

Con todo ello, los objetivos del presente estudio fueron: a) analizar los valores máximos de presión en diferentes zonas de la planta del pie, segmentada en 11 zonas anatómicas diferentes, y b) describir el patrón de presiones, su relación con la estabilidad y la percepción de diferentes propiedades de la colchoneta durante la recepción del gimnasta.

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño de experiencias

En este estudio participaron voluntariamente 5 gimnastas varones (edad: 25.8 ± 3.9 años, peso: 68 ± 5.9 kg y estatura: 1.7 ± 0.1 m) de diferente nivel deportivo: 2 de nivel internacional, 2 de nivel nacional y 1 aficionado, con una media en la práctica de la gimnasia deportiva de 10 ± 5.0 años.

El tipo de salto seleccionado, al igual que en otros estudios donde se analiza la recepción (2,

SEGMENTO	ZONA	SEGMENTO	ZONA
1. TE	Talón externo	7. C5M	Cabeza 5º metatarsiano
2. TC	Talón central	8. MM	Metatarsianos medios
3. TI	Talón interno	9. C1M	Cabeza 1º metatarsiano
4. PME	Planta medio externa	10. RD	Resto dedos
5. PMC	Planta media central	11. PrDD	Primer dedo
6. PMI	Planta medio interna		

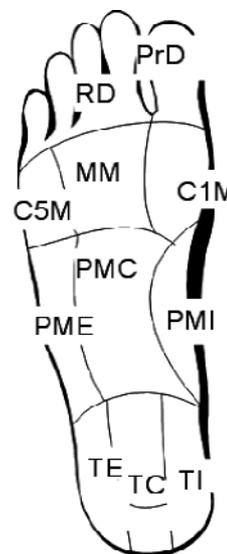


FIGURA 1. Distribución de las zonas analizadas en el pie.

3, 5, 12), fue el “Drop Jump”, dado que con la instrumentación del gimnasta, una recepción tras la salida de un aparato podría provocar lesiones. En este sentido, y para garantizar similares condiciones durante la recepción, se siguieron una serie de especificaciones, tales como: el inicio del salto debía ser desde una altura de 0.8 m, permanecer con las manos en las caderas durante la salida/vuelo/llegada, y detenerse sin perder el contacto con la colchoneta tras el contacto inicial.

Las presiones bajo el pie derecho de los gimnastas se obtuvieron mediante un sistema de plantillas instrumentado Biofoot/IBV 2001®, dividiendo la planta del pie en 11 zonas, tal y como muestra la Figura 1, y con un tiempo de registro en cada salto de 5 s y una frecuencia de 750 Hz. En cada gimnasta, la plantilla se ubicó en el inte-

rior de un calzado flexible y ligero (empleado en ocasiones por los gimnastas durante el entrenamiento). Previamente, se comprobó que no existieran diferencias significativas en los registros de presión plantar debidas a la utilización de este calzado durante la recepción.

La muestra de colchonetas, siguiendo las especificaciones citadas por Pérez y cols (1) en el diseño de una colchoneta, estuvo formada por aglomerado de espuma (polietileno) (dimensiones: 1 x 1 x 0.2 m), y con diferencias en cuanto a la estructura y composición. Así, las colchonetas C1/C2/C3 estuvieron formadas por dos capas: la primera de ellas con densidades de 30, 60, 30 kg/m³ y espesores de 0.15, 0.30, 0.30 m respectivamente, y una segunda capa de densidad 30, 30, 60 kg/m³ y espesor de 0.05, 0.05, 0.01 m. Las colchonetas C4/C5/C6 tuvieron una única

MUESTRA Colchonetas	Deceleración (m/s ²)		Deformación (mm)		Devolución de energía (%)	
	Media	Error típ.	Media	Error típ.	Media	Error típ.
C1	15.83	0.35	134.57	4.05	27.56	1.23
C2	18.67	0.35	112.73	4.05	34.63	1.23
C3	20.82	0.35	113.01	4.05	41.37	1.23
C4	12.29	0.35	138.72	4.53	25.90	1.23
C5	15.16	0.35	176.27	4.05	14.94	1.23
C6	10.05	0.39	182.64	4.53	17.43	1.37

TABLA 1. Resultados de las colchonetas (C1 a C6) analizadas según norma EN 12503-4:2001.

capa con una densidad 80, 60, 60 kg/m³ y espesor 0.15, 0.30, 0.15 m.

Cada una de estas colchonetas presentaban diferencias estadísticamente significativas en sus valores de absorción de impactos ($p < 0.05$), según los ensayos mecánicos propuestos por la norma EN 12503-4:2001 “*Determination of shock absorption*” (Tabla 1), cuyo objetivo se centra en analizar en la colchoneta la deceleración, deformación y devolución de energía, tras la caída de un impactador de 20 kg, dejado caer desde una altura de 0.80 m.

Tras 25 minutos de calentamiento, los gimnastas realizaron 5 recepciones válidas en cada colchoneta. Después de cada tipo de colchoneta, el gimnasta valoraba la percepción tenida en determinadas propiedades de la misma (deformación, abrasión, devolución de energía, estabilidad, y velocidad de recuperación), mediante una encuesta con preguntas tipo Likert, sobre una escala de valoración del 1 al 5.

Análisis de los datos

Se consideró como variable de estudio el valor máximo obtenido en las medias de cada zona analizada, así como el instante de tiempo en que sucedían. De este modo, los resultados permitirían analizar y comprender el patrón de presiones plantares seguido por el gimnasta durante la recepción.

La extracción de los parámetros en cada uno de los datos obtenidos por las plantillas, se realizó desde el propio programa *Biofoot/IBV 2001*® y, su análisis estadístico posterior mediante el paquete estadístico SPSS.10 (Statistical Package for the Social Science), permitió un análisis de varianza (ANOVA, MLG-Univariante) estableciéndose como factor aleatorio el gimnasta, y como fijo las distintas colchonetas. Las variables dependientes fueron las presiones en las distintas zonas del pie ($p < 0.05$).

Un análisis factorial de componentes principales, empleando el método de rotación varimax, permitió identificar las relaciones existentes en

las 11 zonas del pie, siguiendo tres criterios: (1) que las comunalidades fueran mayores de 0.7, (2) que el valor propio de cada factor después de la rotación tuviera un valor propio ≥ 1 , (3) que los resultados del porcentaje acumulado de la varianza deben ser lo más elevados posibles ($\geq 80\%$), y que los factores extraídos fueran interpretables (4).

En el análisis estadístico sobre los resultados de percepción, se realizó un análisis de varianza de tipo no paramétrico (Kruskal-Wallis), estableciendo como variable de agrupación los distintos tipos de colchoneta, así como un análisis de correlaciones para pruebas no paramétricas (Spearman) entre las diferentes percepciones recogidas.

Finalmente, se analizaron de manera conjunta mediante un análisis de correlaciones (Pearson), las relaciones entre las variables de presurometría y de percepción, empleando como media de la tendencia central en las variables de percepción, el valor del rango promedio obtenido en el análisis de varianza no paramétrico.

RESULTADOS

Patrón de presiones plantares durante la recepción

La Figura 2 muestra las medias de presión plantar en cada zona del pie por colchoneta y gimnasta, con un intervalo del confianza del 95%. En este sentido, se observa un patrón de presiones similar en todas las colchonetas, con elevadas presiones en la zona del talón, seguido por la zona de la cabeza del primer metatarsiano, y con menores magnitudes en el resto de zonas.

En el análisis de varianza (ANOVA) realizado (Tabla 2), se observan algunas diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre las presiones medias alcanzadas en distintas zonas del pie por colchoneta, especialmente en las zonas C1M, C5M, PMC, PMI, TC y TI, así como entre los grupo de colchonetas C1-C2-C3 respecto al grupo C4-C5-C6.

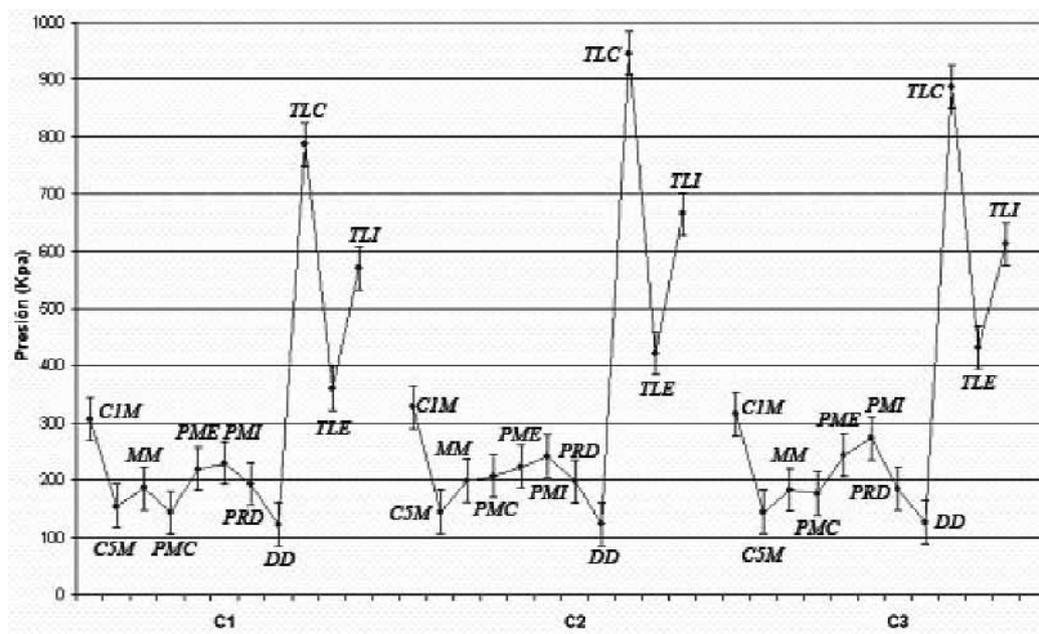
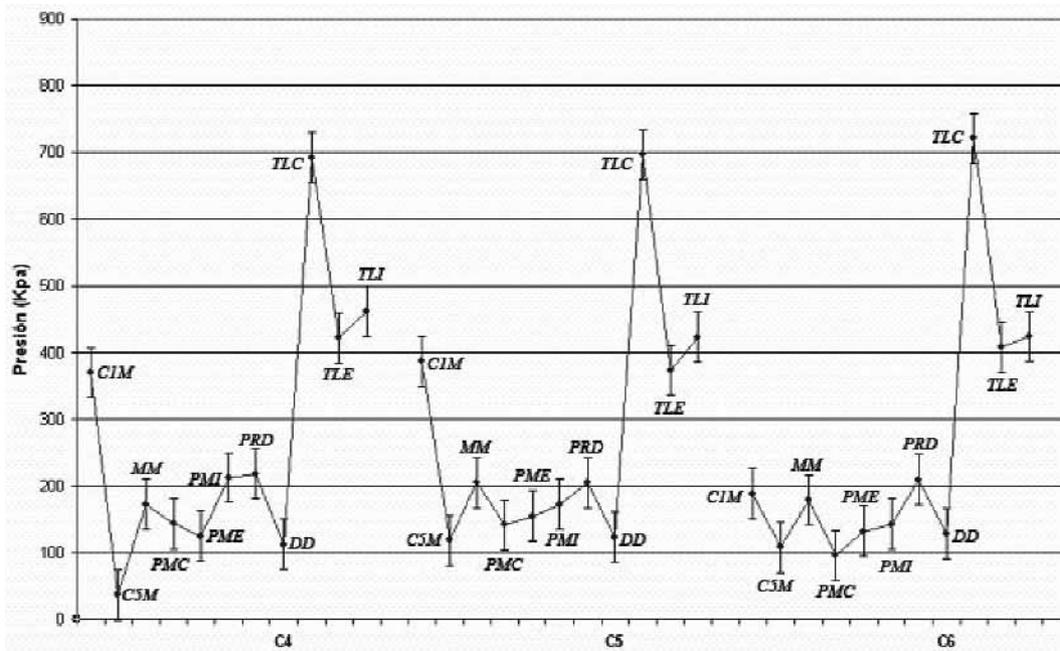


FIGURA 2. Patrón y medias de presión en la muestra de colchonetas (C1 a C6) y zona (CIM: cabeza 1^{er} metatarsiano, C5M: cabeza 5^o metatarsiano, MM: Metatarsianos medios, PMC: Planta medio central, PME: Planta medio externa, PMI: Planta medio interna, PRD: Primer dedo, DD: Dedos, TLC: Talón central, TLE: Talón externo, TLI: Talón interno).



Los resultados del análisis factorial realizado permitieron identificar las relaciones existentes entre las presiones obtenidas en las 11 zonas del pie, identificándose 4 componentes o factores (Tabla 3) que representaban el 83.80% del total de la varianza explicada (Figura 3): (A) 27.09%, (B) 19.62%, (C) 19.35% y (D) 17.74 %. Estos factores permiten explicar el aumento de presión

en la zona central (A), la zona delantera e interna (B), la zona del talón (C) y la zona más externa del pie (D).

Los resultados en el análisis de varianza de tipo no paramétrico (Kruskal-Wallis) sobre la percepción de las propiedades de la colchoneta, no mostraron diferencias estadísticamente signifi-

TABLA 2. Valores medios de presión por colchoneta (C1 a C6) y zona (C1M: cabeza 1^{er} metatarsiano, C5M: cabeza 5^o metatarsiano, MM: Metatarsianos medios, PMC: Planta medio central, PME: Planta medio externa, PMI: Planta medio interna, PRD: Primer dedo, DD: Dedos, TLC: Talón central, TLE: Talón externo, TLI: Talón interno) (media ± SD, N = 5).

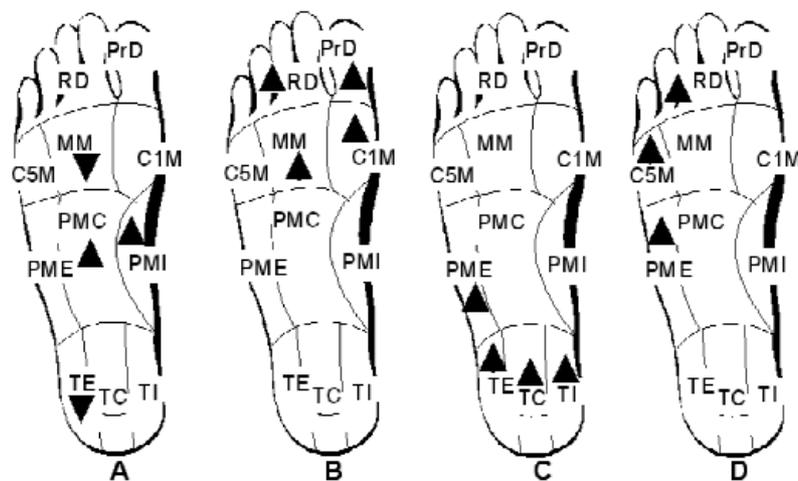
COLCHONETAS						
Zona pie	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1M	^{4,5,6} 306.209 (35.1)	^{4,5,6} 326.97 (43.1)	^{4,5,6} 315.78 (28.86)	^{1,2,3,6} 370.21 (70.23)	^{1,2,3,6} 387.504 (38.81)	^{1,2,3,4,5} 453.60 (63.59)
C5M	^{2,3} 143.50 (11.09)	^{1,3,4,5,6} 144.15 (17.38)	^{1,4,5,6} 143.98 (15.26)	^{2,3} 100.45 (18.84)	^{2,3} 118.80 (21.99)	^{2,3} 107.99 (13.12)
MM	185.48 (23.25)	198.64 (25.68)	181.35 (23.44)	⁵ 172.27 (18.50)	⁴ 204.56 (25.12)	^{179.07} (24.14)
PMC	² 136.06 (16.70)	^{1,3,4,5,6} 207.09 (55,08)	^{2,5,6} 76.1 (44,71)	^{2,6} 143.34 (26,93)	^{2,3} 141.50 (25,69)	^{2,3,4} 95.86 (23,29)
PME	³ 155,40 (30,34)	^{3,4} 221.89 (28,47)	^{1,2,4,5,6} 237.62 (51,85)	^{2,3} 125.11 (20,53)	³ 139.68 (20,31)	³ 131.82 (23,77)
PMI	^{5,6} 229.08 (40,73)	^{5,6} 241.28 (51,15)	^{5,6} 273.11 (32,98)	^{5,6} 212.35 (35,89)	^{1,2,3,4} 172.44 (28,34)	^{1,2,3,4} 142.88 (40,33)
PRD	⁴ 192.73 (29,42)	⁴ 197.81 (33,44)	⁴ 184.94 (46,87)	^{1,2,3} 218.09 (32,43)	204.98 (25,10)	209.60 (30,80)
DD	^{2,5} 83.17 (13,4)	^{1,6} 120.46 (12,01)	² 87.58 (13,47)	^{1,6} 109.86 (9,94)	¹ 120.43 (12,41)	² 89.25 (10,97)
TLC	^{2,5} 786.46 (83,97)	^{1,3,4,5,6} 945.97 (83,46)	^{2,4,5,6} 886.96 (122,31)	^{2,3} 691.51 (64,70)	^{1,2,3} 682.60 (79,09)	^{2,3} 720.40 (71,49)
TE	² 360.36 (43,86)	¹ 421.59 (77,39)	428.09 (76,85)	422.60 (46,43)	373.85 (38,07)	408.21 (83,78)
TI	^{2,4,5,6} 570.29 (106,11)	^{1,2,4,5,6} 665.18 (112,42)	^{4,5,6} 612.54 (81,14)	^{1,2,3} 461.76 (80,34)	^{1,2,3} 423.52 (86,88)	^{1,2,3} 424.42 (141,63)

¹ Diferencias estadísticamente significativa (p < 0.05) de la colchoneta C1 respecto al resto.
² Diferencias estadísticamente significativa (p < 0.05) de la colchoneta C2 respecto al resto.
³ Diferencias estadísticamente significativa (p < 0.05) de la colchoneta C3 respecto al resto.
⁴ Diferencias estadísticamente significativa (p < 0.05) de la colchoneta C4 respecto al resto.
⁵ Diferencias estadísticamente significativa (p < 0.05) de la colchoneta C5 respecto al resto.
⁶ Diferencias estadísticamente significativa (p < 0.05) de la colchoneta C6 respecto al resto.

TABLA 3. Componentes o factores (A, B, C, D) obtenidos en la matriz de componentes rotados de las distintas zonas del pie (C1M: cabeza 1^{er} metatarsiano, C5M: cabeza 5^o metatarsiano, MM: Metatarsianos medios, PMC: Planta medio central, PME: Planta medio externa, PMI: Planta medio interna, PRD: Primer dedo, DD: Dedos, TLC: Talón central, TLE: Talón externo, TLI: Talón interno).

COMPONENTES (factores)					
ZONAS	A	B	C	D	
C1M		.903			
C5M				.934	
MM	-.484	.680			
PMC	.904				
PME			.417	.772	
PMI	.933				
PrD		.863			
RD		.439			.678
TLC			.896		
TLE	-.605		.624		
TLI			.813		
% Varianza	27.09%	19.62%	19.35%	17.74%	

FIGURA 3. Componentes o factores (A, B, C, D) identificados, y aumento (▲)/disminución (▼) de la presión plantar (C1M: cabeza 1^{er} metatarsiano, C5M: cabeza 5^o metatarsiano, MM: Metatarsianos medios, PMC: Planta medio central, PME: Planta medio externa, PMI: Planta medio interna, PRD: Primer dedo, DD: Dedos, TLC: Talón central, TLE: Talón externo, TLI: Talón interno).



Orden en la percepción	Deformación	Abrasión	Devolución de energía	Estabilidad	Velocidad de recuperación
1	C1	C4	C1	C1	C1 - C4
2	C4 - C5	C1	C5	C3	C2
3	C6	C5 - C6	C6	C2	C3 - C5
4	C2	C3	C4	C4	C6
5	C3	C2	C2	C5	
6			C3	C6	

TABLA 4. Resultados en la valoración perceptiva de las propiedades en las colchonetas (C1 a C6).

cativas ($p < 0.05$). No obstante, se observan algunas tendencias de interés en la percepción que los gimnastas mostraron. Así, la Tabla 4 muestra la valoración ordenada en la percepción de cada variable, observándose como son las colchonetas C1-C4 las que obtuvieron una mejor valoración prácticamente en todas las variables analizadas, seguidas de C5-C6 (con una peor valoración en la estabilidad y velocidad de recuperación), y C2-C3 (con peor valoración en la deformación y devolución de energía).

Así mismo, en los resultados del análisis de correlaciones para pruebas no paramétricas (Spearman) destacan con una correlación significativa ($p < 0.01$), la variable deformación y devolución de energía ($r = 0.72$), junto con la variable velocidad de recuperación y devolución de energía ($r = 0.46$). Del mismo modo, y con una correlación significativa menor, destaca la variable deformación y velocidad de recuperación ($r = 0.44$), junto a la variable velocidad de recuperación y estabilidad ($r = 0.69$).

Finalmente, en el análisis de correlaciones (Pearson) sobre las variables de presurometría y de percepción, se muestran algunas correlaciones significativas como las obtenidas entre: a) la presión en la zona delantera del pie con la percepción de estabilidad ($p < 0.01$, $r = -0.61$) y con la percepción de velocidad de recuperación ($p < 0.05$, $r = -0.43$), y b) la presión en la zona del talón en el pie con la percepción en la deformación ($p < 0.05$, $r = 0.48$). Es decir, que un aumento de presión en la zona delantera del pie hace percibir en el gimnasta una peor estabilidad y velocidad de recuperación de la colchoneta. Por otra parte, un aumento de presión en la zona del

talón es percibido por el gimnasta como una adecuada deformación de la colchoneta durante la recepción.

DISCUSIÓN

Diferentes autores (2, 3, 4, 5, 25, 26, 28) han analizado variables cinemáticas y cinéticas durante la recepción sobre una colchoneta desde diversas alturas de caída, técnicas o tipos de colchonetas. Sin embargo, ningún estudio ha analizado el patrón de presiones plantares durante la recepción en la colchoneta y su relación con la estabilidad en las extremidades inferiores. En este sentido, los resultados obtenidos en el presente estudio, han permitido conocer el patrón de distribución de presión plantar en 11 zonas analizadas, así como conocer las zonas que poseen mayores magnitudes durante la recepción en diversos tipos de colchonetas y su relación con la percepción del gimnasta en algunas de las propiedades de la colchoneta.

Los resultados muestran como el patrón de distribución de las presiones plantares durante la recepción, se inicia con el contacto de la zona delantera del pie en la colchoneta para amortiguar el impacto, seguida del talón. Finalmente, y durante la fase de estabilización del gimnasta en la colchoneta, las presiones se distribuyen por toda la planta del pie, pivotando sobre el triángulo formado por el talón, cabeza del quinto metatarsiano y primer dedo-cabeza del primer metatarsiano.

Respecto a las magnitudes de presión en las diferentes zonas analizadas, destaca la zona del

TABLA 5. "Zonas funcionales de análisis": mediopié, retropié, antepié y pie externo, y presiones medias por zona.

ZONAS DE ANÁLISIS PLANTAR	PRESIONES (kpa) Medias ± SD
1.- MEDIOPIÉ: PLMI, PLMC, TLE, MTM.	329.14 ± 62.30 kpa
2.- ANTEPIÉ: C1M, PRDD, RDD, MTM.	117.62 ± 28.75 kpa
3.- RETROPIÉ: TLE, TLC, TLI.	602.23 ± 100.96 kpa
4.- PIE EXTERNO: C5M, PLME, RDD.	132.29 ± 19.16 kpa

talón, y concretamente la zona del talón central (785 ± 231.9 kpa) donde se obtuvo la mayor magnitud, seguido de la cabeza del primer metatarsiano (352.6 ± 124.3 kpa). El resto de zonas tuvieron magnitudes cercanas a los 200 kpa, a excepción de las zonas de la cabeza del quinto metatarsiano (117.59 ± 85.2 kpa) y resto de dedos (95.54 ± 42.36 kpa), con las menores magnitudes en la planta del pie.

El análisis factorial ha permitido disminuir el número de zonas de análisis, pasando de las 11 zonas anatómicas iniciales, a 4 "zonas funcionales" o factores, denominadas tal y como se muestra en la Tabla 5: mediopié, antepié, retropié y pie externo, y con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en cuanto a las magnitudes medias de presión máxima. Esta reducción de 11 zonas a únicamente 4, permite simplificar el número de variables de análisis en el comportamiento del pie durante la recepción en futuros estudios.

El conocimiento de las relaciones existentes en el aumento o disminución de estas 4 zonas, puede ser de gran ayuda para comprender ciertos factores de lesión, tal y como sucede en diferentes estudios epidemiológicos de calzado deportivo (29, 30), así como contribuir a una mejor comprensión de la mecánica empleada por el gimnasta para estabilizarse en la colchoneta. El estudio de la estabilidad del pie, permite comprender cómo el pie adapta su cinemática en función de las características de deformación de la superficie (2). No obstante, durante la recepción, la estabilidad no sólo depende de la habilidad del gimnasta, sino también del nivel de deformación de la colchoneta, de hecho Arampatzis y cols (2) muestran como en superficies con mayores índices de deformación se produce un aumento de presión en las zonas delanteras del pie para esta-

bilizarse. Por lo que si se consideran como factores de lesión durante una recepción, una escasa amortiguación del impacto y/o estabilidad final en la colchoneta, cabe la posibilidad de que estudios posteriores analicen la estabilidad del gimnasta sobre la colchoneta empleando similares zonas de análisis en el pie (o patrón de presión), además de analizar si las magnitudes de presión obtenidas permiten identificar una reducción o amortiguación del impacto durante la recepción.

Tras el análisis de la Figura 2, así como las diferencias significativas ($p < 0.05$) (Tabla 2) en las medias de presión plantar máxima alcanzadas, se observan diferencias entre el grupo de colchonetas que poseen una menor deformación (C1/C2/C3) y el grupo con una mayor deformación (C4/C5/C6), y no sólo en zonas delanteras del pie (C1M y C5M), sino también en zonas del mediopié y retropié (PMI, TI y TC). En este sentido, en el grupo de colchonetas con menor deformación (o más duras), las zonas: C5M, PMI, TI y TC (A) (Figura 4) presentan una mayor magnitud de presión plantar que el resto. Además, el análisis en los resultados de percepción muestra una mejor percepción de la deformación de la colchoneta (la cual está relacionada con una mejor percepción en la velocidad de recuperación y devolución de energía). Este aumento elevado de presión (fundamentalmente en la zona del talón) podría suponer una recepción no controlada del gimnasta, donde la estabilidad del gimnasta en la colchoneta vendría determinada por el movimiento de pronosupinación del pie (fundamentalmente supinador).

En cambio, en el grupo de colchonetas con una mayor deformación (o más blandas), las diferencias significativas observadas (Tabla 2), muestran un aumento de la presión plantar en la zona

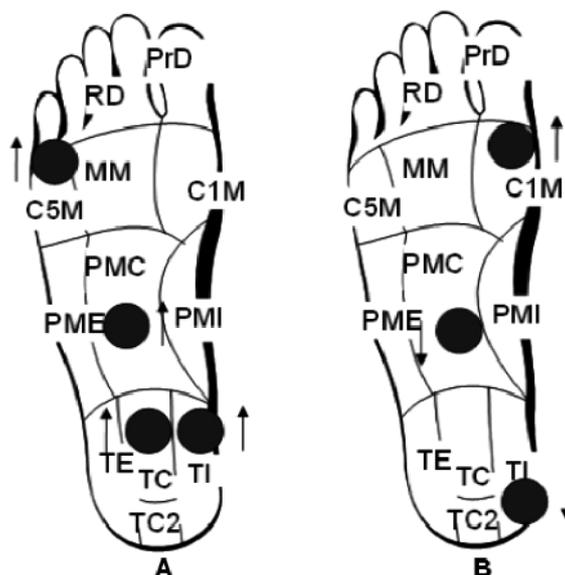


FIGURA 4. Zonas (C1M: cabeza 1^{er} metatarsiano, C5M: cabeza 5^{er} metatarsiano, MM: Metatarsianos medios, PMC: Planta medio central, PME: Planta medio externa, PMI: Planta medio interna, PRD: Primer dedo, DD: Dedos, TLC: Talón central, TLE: Talón externo, TI: Talón interno) con diferencias significativas en el aumento (↑)/disminución (↓) de presión entre colchonetas duras (A) y blandas (B).

de la C1M y una disminución en las zonas PMI y TI (B). Este comportamiento del pie, supone que durante la recepción en colchonetas más blandas, la estabilidad del gimnasta se consigue con un movimiento de torsión del antepié con respecto al retropié, fundamentalmente pronador. Si se analiza además, los resultados en los estudios de percepción, este aumento de presión en la zona delantera del pie correlaciona con una peor percepción en cuanto a estabilidad y velocidad de recuperación de la colchoneta.

Además de las modificaciones producidas en el patrón de presión plantar durante la recepción en diferentes tipos de colchonetas, el grado de mayor o menor deformación de las mismas también supone diferentes rangos de movimiento en distintas articulaciones, tal y como describen otros estudios: McNitt-Gray (5) mostró como la flexión de cadera es mayor a medida que la deformación de la superficie aumenta. Devita y Skelly (25); Dufek y cols (21) y McNitt-Gray y cols (5), mostraron como flexión de rodilla aumenta con la deformación de la superficie, aunque estos ajustes en la mayor o menor flexión de rodilla y/o cadera, dependen fundamentalmente de cada gimnasta (29), y finalmente, Arampatzis y cols (2) mostraron como se produce una mayor pronación del pie, fundamentalmente en su zona media (articulaciones calcane-

ocuboidea y talonavicular) durante la recepción en colchonetas con mayor deformación, al igual que muestran los resultados obtenidos en este estudio, donde en superficies blandas, la pronación del pie se corresponde con un aumento de presión en la cabeza del primer metatarsiano respecto al resto de dedos, y en la planta medio interna respecto a las planta central y externa.

Finalmente, y en cuanto a las magnitudes de presión máxima alcanzadas durante la recepción, cercanas a los 800 kpa en la zona del talón, no son magnitudes muy altas pese a la altura y el peso del gimnasta, dado que la recepción es realizada sobre un material amortiguador como es la colchoneta. Sin embargo, la cinemática de distintas estructuras óseas que configuran el pie, como la articulación talonavicular o calcaneocuboidea, están influenciadas por la densidad de la colchoneta (2), y un elevado rango de movimiento en estas zonas acompañado de una elevada presión, podría influir en la aparición de determinadas lesiones en el pie del gimnasta.

En conclusión, el análisis de las presiones plantares durante la recepción en distintos tipos de colchoneta ha mostrado un similar patrón de presión en todas las zonas del pie. Sin embargo, se han observado diferencias estadísticamente significativas en cuanto a los niveles máximos de

presión en algunas zonas, siendo el talón, la cabeza del primer metatarso y la zona media del pie respectivamente, donde se han alcanzado los máximos valores durante la recepción.

Sobre la estabilidad del gimnasta, se ha observado como durante la recepción en superficies más blandas (percibidas por los gimnastas como menos estables y con escasa velocidad de recuperación) aumentan las presiones máximas fundamentalmente en la parte delantera del pie, con una disminución significativa en la planta central y talón interno, a la vez que el pie realiza una acción fundamentalmente pronadora para estabi-

lizarse en la colchoneta. Por el contrario, durante la recepción en colchonetas de mayor densidad (percibidas por los gimnastas con mayor deformación), el aumento de presión se localiza mayoritariamente en el talón y planta medio/externa del pie, lo que indica fundamentalmente un movimiento supinación del pie durante la estabilización en estas superficies.

Así, la percepción de estabilidad y velocidad de recuperación, se asocian con las presiones en la parte delantera, mientras que la presión en el talón se asocia con la percepción de la deformación para amortiguar la recepción.

B I B L I O G R A F Í A

- Pérez, P; Llana, S; Alcantara, E.** Aplicación parcial de la metodología QFD para la identificación de las características y propiedades más importantes en el diseño de una colchoneta para la gimnasia deportiva. Selección: revista española e iberoamericana de medicina de la educación física y el deporte. 2006, 15: 3-10.
- Arampatzis, A; Brüggemann, G.P; Klapsing, G.M; Wiehn, M.** A Three dimensional lower leg-foot model to determine the influence of various gymnastic mats on foot during landings. Med. Sci. Sports Exerc. 2002; 3: 130-138.
- Brian, P; Self, P; Paine, D.** Ankle biomechanics during four landing techniques. Med. Sci. Sports Exerc. 2001:1338-1344.
- McNitt-Gray, J.I; Yokoi, T; Millward, C.** Landing strategy adjustments made by female gymnasts in response to drop height and mat composition. J. Appl. Biomech. 1993; 9: 173-190.
- McNitt-Gray, J.I; Yokoi, T; Millward, C.** Landing strategies used by gymnasts on different surfaces. J. Appl. Biomech. 1994; 10: 237-252.
- Brown, E.W; Witten, W.A; Espinoza, D. M; Witten, C.X; Wilson, J. D; Wisner, D.M; Weise, M; Learman, J.** Attenuation of ground reaction forces in dismounts from the balance beam. Proceedings XIII International Symposium on Biomechanics in Sport, Canada. 1995: 114-117.
- Hume, P.** Minimising injuries in gymnastics activities. Auckland: Department of sport and exercise. Auckland, Univ. (New Zealand). 2001: 34.
- Kerwin, D.G; Yeadon, M.R y Lee, S.C.** Body configuration in multiple somersault high bar dismounts. Int. J. Sports Biomech. 1990; 6: 147-156.
- Geiblinger, H; McLaughlin, P.A; Morrison, W.E.** Landing Kinematics of Horizontal bar dismounts. Proceedings XIII International symposium on Biomechanics in Sport: Canada. 1995: 132-136.
- Zhang, S.N; Bates, B.T; Dufek, J. S.** Contribution on lower extremity joints to energy dissipation during landings. Med. Sci. Sports Exerc. 2000: 812-819.
- Panzer, V.P; Wood, G. A; Bates, B.T; Mason, B.R.** Lower extremity loads in landing of elite gymnasts. XI International congress on Biomechanics.7-B. 1988: 721-735.
- McNitt-Gray, J.L.** Kinematics and impulse characteristics of drop landing from three heights. Int. J. Sports Biomech. 1991; 7: 201-204.
- Arampatzis, A., G-P. Brüggemann, and V. Metzler.** The effect of speed on leg stiffness and joint kinetics in human running. J. Biomech. 1999; 32; 1349-1353.
- Caine, D; Cochrane, B; Caine, C; Zemper, E.** (1989). An epidemiologic investigation of injuries

- affecting young competitive female gymnasts. *Am. J. Sports Med.* 1989; 17: 811-820.
15. **Lowry, C.B; Leveau, B. F.** A retrospective study of gymnastic injuries to competitors and non competitors in private clubs. *J. Sports Med.* 1982; 10: 237-239.
 16. **Hunter, L. Y; Torgan, C.** Dismounts in gymnastics: should scoring be reevaluates?. *J. Sports Med.* 1983; 11: 208-210.
 17. **Pettrone, F. A; Riccardelli, E.** Gymnastic injuries: The Virginia experience 1982-83. *J. Sports Med.* 1987; 15: 59-62.
 18. **Weiker, G. G.** Injuries in club gymnastics. *Phys. Sportsmed.* 1985; 13: 63-66.
 19. **Adrish, J.T.** Knee injuries in gymnastics. *Clin. Sports Med.* 1985; 4: 111-121.
 20. **McAuley, E; Hudach, G; Shiels, K; Albright; Garrick, J; Requa, R; Wallace, R.K.** Injuries in women's gymnastics: the state of the art. *J. Sports Med.* 1987;15: 558-565.
 21. **Dufek, J. S; Bates, B.T.** Lower extremity performance models for landing. *Hum. Movement Sci.* 1992; 11: 299-318.
 22. **Bauer, J.J; Fuchs, R.K; Smith, G.A y Snow, C.M.** Quantifying force magnitude and loading rate from drop landings that induce osteogenesis. *J. Appl. Biomech.* 2001; 17: 142-152.
 23. **Lees, A.** Methods of impact absorption when landing from a jump. *Eng. Med. MEP.* 1981;10: 4: 207-211.
 24. **McNitt-Gray, J.L.** Kinetics of the lower extremities during drop landings from three heights. *J. Biomech.* 1993; 25: 1037-1046.
 25. **Devita, A; Skelly, W. A.** Effect of landing stiffness on joint kinetics and energetic in the lower extremity. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1992: 108-115.
 26. **Arampatzis, A; Klapsing, G.M; Brüggemann, G.P.** The effect of falling height on muscle activity and foot motion during landings. *Journal of Electromyography Kinesiol.* 2003; 13: 533-544.
 27. **Sands, W.A; Caine, D.J; Borms.** Scientific aspects of women's Gymnastics. En Borms, J; Hebbelink, M; Hills, A. P. *Med. Sport Sci. Karger.* 2003; 45: 33-35.
 28. **Pérez, P.** Análisis de parámetros biomecánicos durante la recepción en colchonetas y su influencia en los mecanismos de lesión en gimnasia deportiva [Tesis Doctoral]. Valencia. Colección *Tesis Doctorales en CD-ROM* de la Universitat de Valencia 2005.
 29. **Brizuela, G.; Ferrandis, R.; Llana, S.** Aspectos epidemiológicos del calzado para baloncesto. *Archivos de medicina del deporte.* 1996; 55: 391-396.
 30. **Brizuela, G.; Llana, S.; Ferrandis, R.** Aspectos epidemiológicos del balonmano y su relación con el calzado. *Archivos de medicina del deporte.* 1996; 54: 267-274.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido desarrollado gracias a la colaboración del I.B.V. (Instituto de Biomecánica de Valencia) y a la financiación de la empresa *TATAM SPORT* by *Serrano*.

Correspondencia:

Dr. Pedro Pérez Soriano

Departamento Educación Física y Deportiva. Universidad de Valencia

C/ Gascó Oliag, 3. 46010 Valencia (España). Tel. +34 96 3864352. Fax. +34 96 3864353

E-mail: pedro.perez-soriano@uv.es

Acceptado: 21-07-2006 / Original nº 521