

Estudio de las presiones plantares en gimnasia y su relación con las propiedades percibidas durante la recepción en colchonetas

P. PÉREZ SORIANO, S. LLANA BENLLOCH
Departamento de Educación Física y Deportiva.
Universitat de València.

Introducción

Los gimnastas, realizan numerosas recepciones tras la salida de aparatos, siendo la acción técnica más frecuencia e importante (Arampatzis y cols. 2003, Brian y cols. 2001, McNitt-Gray y cols. 1994), no sólo en la puntuación final, sino, también, por la probabilidad de sufrir una lesión ocasionada por una escasa amortiguación y/o inestabilidad. Dado que los gimnastas no utilizan calzado deportivo que pueda ayudar a amortiguar, el único elemento que se interpone entre el rígido suelo y los pies, son las colchonetas, por lo que sus propiedades son adquieren una gran relevancia (Pérez y cols. 2006).

La mayor parte de las lesiones experimentadas durante las recepciones, están asociadas a su primera fase (Brown y cols. 1995), donde los impactos pueden alcanzar hasta 10 veces el peso corporal (Zhang y cols. 2000). Lógicamente, la región anatómica donde se localizan la mayoría de estas lesiones, son las extremidades inferiores (Hume, 2001), que son las principales responsables de amortiguar los impactos. En este sentido, diversos estudios han analizado variables cinéticas (McAuley y cols. 1987; Dufek y cols, 1992) y cinemáticas (Lees, y cols. 1981; McNitt-Gray, 1993) durante la recepción. Destacan los trabajos de Arampatzis (2003) centrados en los efectos que colchonetas con diferentes características mecánicas tienen en las extremidades inferiores del gimnasta. Sin embargo, no se han analizado los patrones de presiones plantares y sus valores máximos. Esto, podría ayudar a explicar algunas de las estrategias que los gimnastas emplean en la amortiguación y estabilización durante la recepción,

lo que, a su vez, podría ayudar a conocer posibles causas de lesión.

Los objetivos planteados en el estudio fueron: a) describir el patrón de las presiones plantares durante la recepción, b) analizar los valores máximos de presión en la planta del pie y c) conocer la percepción subjetiva que los gimnastas tienen sobre las propiedades más relevantes de las colchonetas.

Materiales y métodos

En el 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 alto nivel. El tipo de salto empleado fue el «Drop Jump» desde 0,8 m de altura, y con unas restricciones que garantizaran la misma ejecución en todos los gimnastas.

La muestra de colchonetas, siguiendo las especificaciones citadas por Pérez y cols (2006), estuvo formada por aglomerado de espuma (polietileno) (dimensiones: 1 x 1 x 0.2 m), y con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en sus valores de absorción de impactos, según los ensayos mecánicos propuestos por la norma EN 12503-4:2001 «*Determination of shock absorption*».

Se registraron las presiones plantares en el pie derecho mediante un sistema de plantillas instrumentado Biofoot/IBV 2001®, dividiendo la planta del pie en 11 zonas: 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.

Como variable de estudio, se consideró el valor máximo obtenido en las medias de cada zona analizada, así como el instante de tiempo en que

Correspondencia:
pedro.perez-soriano@uv.es
salvador.llana@uv.es

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 se realizó desde el propio programa de las plantillas y, su análisis estadístico posterior mediante el paquete estadístico SPSS.10 consistió en análisis de varianza (Anova) estableciéndose como factor aleatorio el gimnasta, como fijo las distintas colchonetas y como variables dependientes las presiones en las distintas zonas del pie.

Cada gimnasta realizó 5 recepciones válidas en cada colchoneta, tras las cuales contestaban un cuestionario (con escalas de tipo likert de 1 a 5) donde emitían un juicio de valor subjetivo sobre las siguientes características de las colchonetas: deformación, abrasión, devolución de energía, estabilidad, y velocidad de recuperación. Su análisis estadístico consistió en un 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.

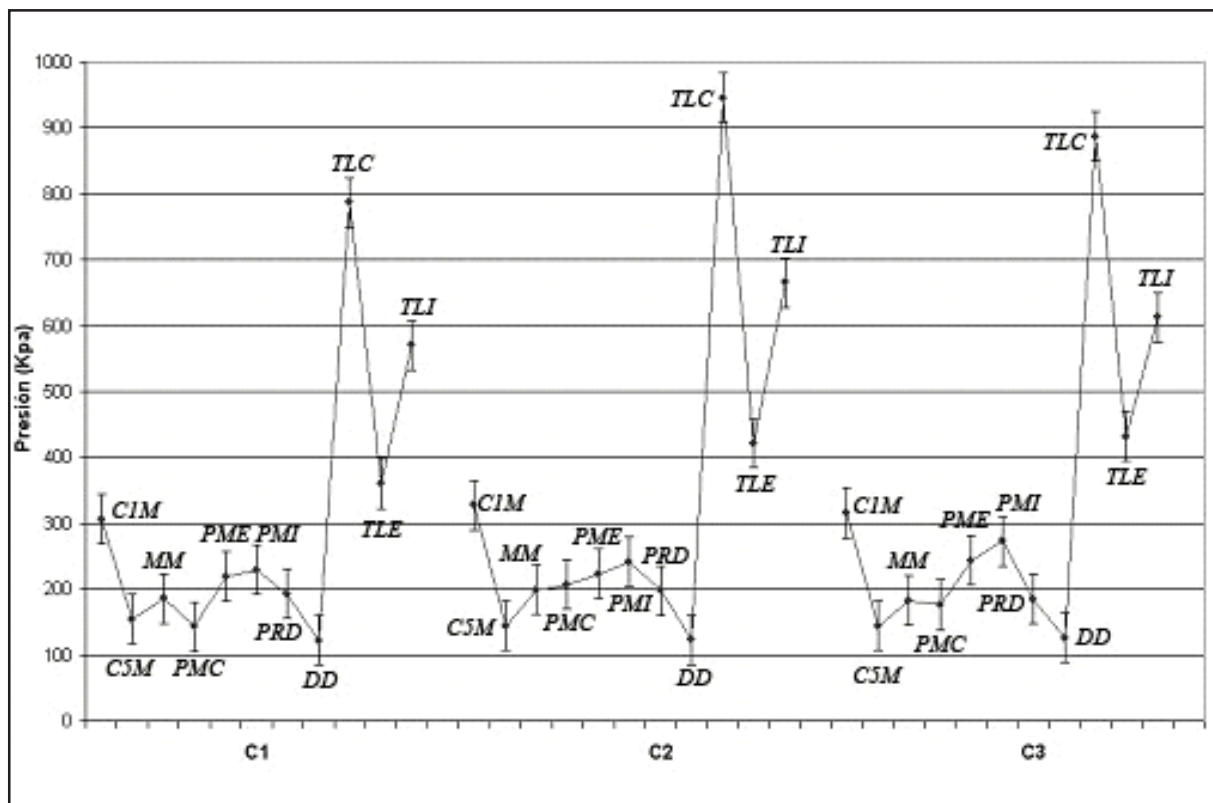
Resultados

Patrón de las presiones plantares

Los resultados obtenidos, muestran un patrón de presiones similar en todas las colchonetas (gráfica 1). El análisis de varianza (ANOVA) (tabla 1), mostró algunas diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los máximos en distintas zonas del pie dependientes de la 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.

Un análisis factorial permitió identificar las relaciones existentes en las 11 zonas del pie, identificándose 4 componentes (factores) con un 83.80% del total de la varianza explicada: Mediopié: zona central (A), Antepié: zona delantera e interna (B), Retropié: zona del talón (C) y Pié externo (D).

El análisis de varianza no paramétrico (Kruskal-Wallis) en las percepciones de las propiedades de



Gráfica 1 (a). Patrón y medias de presión en la muestra de colchonetas (C1 a C3) y zonas de pie

la colchoneta, no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$). No obstante, se aprecian algunas tendencias de interés en la percepción, tales como una mejor valoración prácticamente en todas las variables analizadas en las colchonetas C1-C4, seguidas de C5-C6 (con peor valoración en la estabilidad y velocidad de recuperación), y C2-C3 (con peor valoración en la deformación y devolución de energía).

Entre los resultados del análisis de correlaciones (Spearman) destacan las correlaciones entre la velocidad de recuperación con la estabilidad ($r = 0.69$, $p < 0.05$), con la deformación ($r = 0.44$, $p < 0.05$) y con la devolución de energía ($r = 0.46$, $p < 0.01$). Asimismo, la devolución de energía también correlacionó con la deformación ($r = 0.72$, $p < 0.01$).

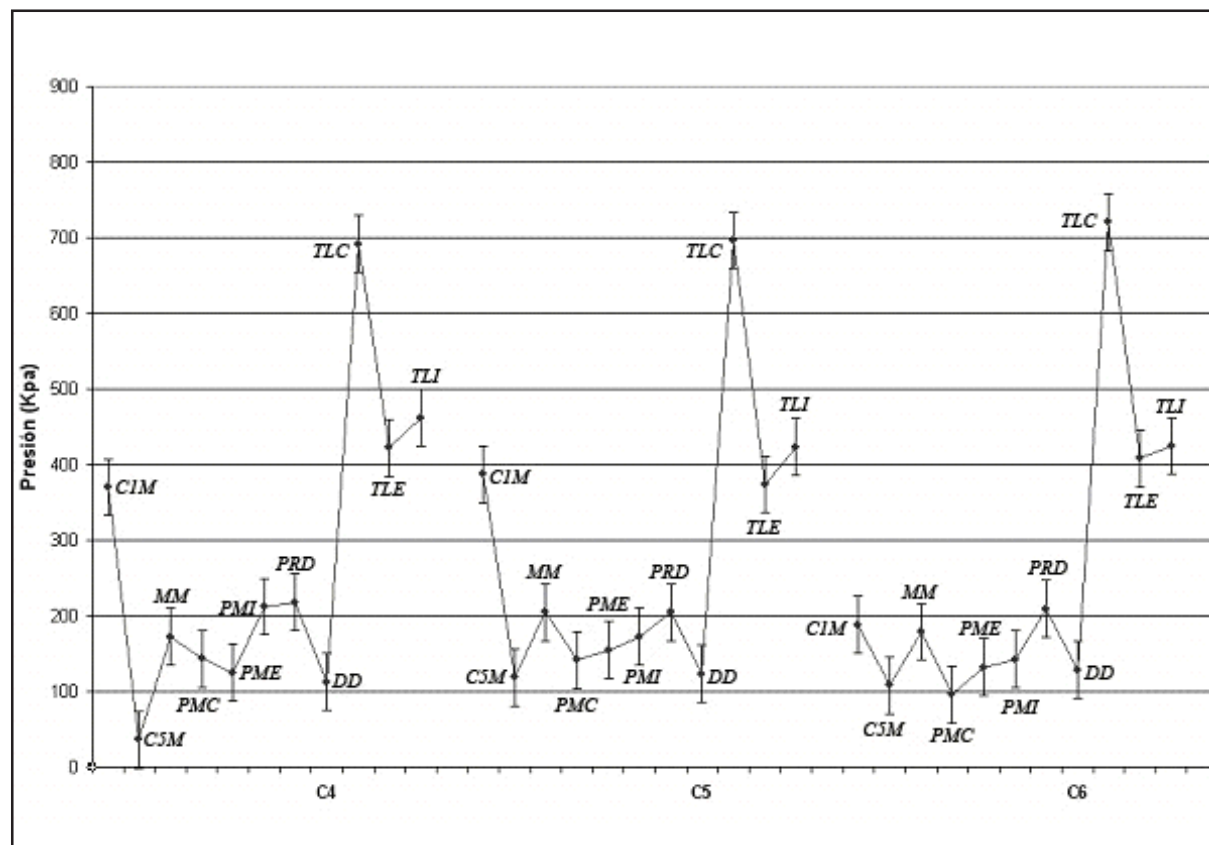
Finalmente, el análisis de correlaciones (Pearson) en las variables de presurometría y de percepción, mostró algunas correlaciones significativas entre: a) la presión en la zona delantera del pie con la percepción de estabilidad ($r = -0.61$, $p < 0.01$) y con la percepción de velocidad de recuperación ($r = -0.43$, $p < 0.05$), y b) la presión en la zona del talón del pie con la percepción en la deformación ($r = 0.48$, $p < 0.05$).

Discusión

Los resultados muestran el patrón de las presiones plantares durante la recepción muestra dos fases. La primera, donde se alcanzan los valores más altos de presión (primero en la zona del antepié y, luego en el talón), es la fase de amortiguación propiamente dicha. En la segunda el gimnasta se estabiliza hasta alcanzar la posición de bipedestación, y 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.

En cuanto a los valores máximos de presión (gráfica 1), destaca la zona central del talón (785 ± 231.9 kpa), seguida 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.

Las magnitudes máximas de presión registradas en el presente estudio, cercanas a los 800 kpa en la zona del talón, no son excepcionalmente elevadas.



Gráfica 1 (b). Patrón y medias de presión en la muestra de colchonetas (C4 a C6) y zonas de pie

Sin embargo, Arampatzis y cols. (2002), indican que la cinemática articular del pie, especialmente la articulación talonavicular (calcaneocuboidea), implica un elevado rango de movimiento en estas zonas, lo que acompañado de elevados valores de presión, podría influir en la aparición de lesiones en el pie del gimnasta.

Respecto a la influencia de la colchoneta en las presiones plantares, el grupo de colchonetas con menor deformación o más duras (C1/C2/C3), las zonas C5M, PMI, TI y TC presentaron valores más altos. Además, los resultados en la percepción subjetiva muestran una mejor valoración de la deformación de la colchoneta (relacionada con una mejor percepción en la velocidad de recuperación y devolución de energía). Este aumento de presión

(fundamentalmente en la zona del talón) podría suponer mayores problemas para controlar la recepción por parte del gimnasta.

En cambio, en el grupo de colchonetas con mayor deformación o más blandas (C4/C5/C6), los resultados muestran un aumento significativo de la presión plantar en la zona C1M y una disminución en las zonas PMI y TI. Este comportamiento del pie, supone que durante la recepción en estas colchonetas, la estabilidad del gimnasta se consigue con un movimiento de torsión del antepié con respecto al retropié. Los resultados en los estudios de percepción subjetiva, indican que este aumento de presión en la zona delantera del pie correlaciona con una peor percepción en la estabilidad y velocidad de recuperación de la colchoneta.

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)
TC	^{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 1. Valores medios de presión por colchoneta (C1 a C6) y zona del pie

Conclusión

En conclusión, el análisis de las presiones plantares durante la recepción ha mostrado un patrón similar con independencia del tipo de colchoneta. Sin embargo, la dureza de la colchoneta sí que afecta a los valores máximos en algunas zonas de la planta del pie. En cuanto a la estabilidad del gimnasta, se ha observado que durante la recepción en superficies más blandas, aumentan las presiones máximas 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 de torsión y pronación para estabilizarse en la colchoneta. Por el contrario, durante la recepción en colchonetas de mayor densidad, el aumento de presión se localiza en el talón y planta medio/externa del pie, lo que indica un movimiento más supinador del pie durante la estabilización en estas superficies. Una percepción subjetiva de mayor estabilidad, se asocian con las presiones en la parte delantera, mientras que una menor estabilidad se asocia a mayores valores de presión en la zona del talón.

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*.

Bibliografía

1. **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.
2. **Arampatzis, A; Brüggemann, GP; Klapsing, GM; Wiehn, M. A.** Three dimensional lower leg-foot model to determine the influence of various gymnastic mats on foot during landings. *Medicine & science in Sports & Exercise.* 2002; 3: 130-138.
3. **Brian, P; Self, P; Paine, D.** Ankle biomechanics during four landing techniques. *Medicine & science in Sports & Exercise.* 2001:1338-1344.
4. **McNitt-Gray, J.I; Yokoi, T; Millward, C.** Landing strategies used by gymnasts on different surfaces. *Journal Applied biomechanics.* 1994; 10: 237-252.
5. **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.
6. **Hume, P.** Minimising injuries in gymnastics activities. Auckland: Department of sport and exercise. Auckland, Univ. (New Zealand). 2001: 34.
7. **Zhang, S.N; Bates, B.T; Dufek, J. S.** Contribution on lower extremity joints to energy dissipation during landings. *Medicine & science in Sports & Exercise.* 2000: 812-819.
8. **McAuley, E; Hudach, G; Shiels, K; Albright; Garrick, J; Requa, R; Wallace, R.K.** Injuries in women's gymnastics: the state of the art. *Journal Sports Medicine.* 1987;15: 558-565.
9. **Dufek, J. S; Bates, B.T.** Lower extremity performance models for landing. *Human movement science.* 1992; 11: 299-318.
10. **Lees, A.** Methods of impact absorption when landing from a jump. *Engineering in Medicine.* MEP. 1981;10: 4: 207-211.
11. **McNitt-Gray, J.L.** Kinetics of the lower extremities during drop landings from three heights. *Journal of Biomechanics.* 1993; 25: 1037-1046.
12. **Arampatzis, A; Klapsing, G.M; Brüggemann, G.P.** The effect of falling height on muscle activity and foot motion during landings. *Journal of electromyography and kinesiology.* 2003; 13: 533-544.