

ORIGINAL ARTICLE

Alterations produced in child pronator foot after endurance activities and its involvement with the physical fatigue

Modificaciones en el pie pronador del niño tras actividades de resistencia y su relación con el cansancio físico

M^a Ángeles Gómez Benítez¹, Manuel Roldán Carnerero², B. Olga Barranco Hidalgo³, Javier Ramos Ortega⁴, Lorena María Bellido Fernández⁵, Andrea Gómez Benítez⁶, Pedro V. Munuera Martínez⁴

1. Graduada en Podología por la Universidad de Málaga. Master de Ortopodología y Biomecánica y Master Nuevas Tendencias Asistenciales en CCS por la Universidad de Sevilla. España.

2. Diplomado en Educación Física por la Universidad de Cádiz. España.

3. Graduada en Podología por la Universidad de Málaga. España.

4. Profesor Contratado Doctor del Departamento de Podología de la Universidad de Sevilla. España

5. Graduada en Fisioterapia por la Universidad de Jaén. Master Nuevas Tendencias Asistenciales en CCS por la Universidad de Sevilla. España.

6. Estudiante de Enfermería de la Universidad de Cádiz. España.

*Correspondencia: M^a Ángeles Gómez Benítez c/Gonzalo Vallecillo nº26. Jimena de la Frontera (Cádiz) 11339. ESPAÑA. 615562778. mariangelesbenitez5@gmail.com

Abstract

Objectives: This study was made with the objective of determine if there are alterations in child's foot position and his footprint after a endurance activity and to establish wether these alterations are increased in pronator child compared to child who present neutral feet. At the same time, we relate all the above with the extreme physical fatigue and muscle aches that appear after physical activity. The aim of making this essay was to get to know, despite the controversy this topic arouses, if the pronator foot has some kind of disadvantage compared to the neutral foot and wheter it would need orthopedic podiatric treatment as a way to prevent and improve the child biomechanic alterations. **Material and Method:** Foot position was consider through the Foot Posture Index (FPI-6), and the footprint through a pedigraphy, before and after aerobic endurance activities in order to calculate the Arch Index by applying the computer program AutoCad® to every print.

Results and Conclusions: According to the results, it can be concluded that the foot position and the children footprint was altered after endurance activities, pronators were more fatigated and complained about feet and legs aches during and/or after the activities. These results are statistically significant ($P < 0.05$). However, there were no significant evidence ($P > 0.05$) that these changes were higher in children with pronator feet or that their efficiency was lower during the exercise compared to neutral feet children.

Key Words: Pronator foot, Chlidren, Endurance activities, Physical fatigue, Muscle aches.

Resumen

Objetivos: Este estudio se plantea con el objetivo de determinar si existen cambios en la postura del pie y en la huella plantar de los niños tras una actividad deportiva de resistencia y si estos cambios son mayores en los niños con pies pronadores respecto a los que presentan una tipología de pies neutros. A su vez relacionar todo esto con el cansancio físico desencadenado y los dolores musculares que aparecen tras la actividad física. Nos planteamos llevar a cabo este estudio con la idea de conocer, entre tanta controversia, si el pie pronador presenta algún tipo de desventaja respecto al pie neutro, y si precisaría por tanto de tratamiento ortopodológico como medida de prevención y mejora de las alteraciones biomecánicas en etapas infantiles.

Material y Método: Se valoró la postura del pie mediante el Índice de Postura del Pie (en adelante FPI-6), y la huella plantar mediante una pedigrafía, antes y después de ejercicios de resistencia de tipo aeróbicos, para posteriormente calcular el Arch Index mediante el programa informático AutoCad® a cada huella.

Resultados y conclusiones: Según los resultados, se puede concluir que la postura del pie y la huella plantar de los niños se modificó tras los ejercicios de resistencia, los pies pronadores se cansaron más y refirieron dolor en pies y piernas durante y/o post actividad, siendo estos resultados estadísticamente significativos ($P < 0.05$). Sin embargo no hubo evidencia significativa ($P > 0.05$) de que estos cambios fuesen mayores en los niños con pies pronadores ni que éstos rindieran menos que los niños con pies neutros durante la actividad.

Palabras Clave: Pie pronador, Niños, Actividades de Resistencia, Cansancio Físico, dolor muscular.

Recibido: 13 Octubre 2015; Aceptado: 26 Octubre 2015.

Conflictos de interés

Ninguno declarado.

Fuentes de Financiación

Ninguno declarado.

Introducción

Las modificaciones que se producen en el pie y su repercusión posterior en el resto del cuerpo podrían condicionar la elección de los sujetos para un determinado deporte o simplemente para su vida diaria. Hoy en día, dado el impacto que supone el deporte en nuestra sociedad, el interés por conocer los mecanismos biomecánicos que inducen a fatiga muscular, cansancio precoz, sobrecarga muscular, disminución del rendimiento y lesión es un área que debe estar en constante estudio para clínicos e investigadores.

Autores coinciden que en el pie pronador existe una alteración de los ejes de movimiento, lo que podría favorecer a que los músculos de la pierna y pie tiendan a la fatiga con facilidad (1-3). Los síntomas incluirían cansancio precoz, dificultades para estar de pie o caminar de forma prolongada y dolor, que en la mayoría de los casos se sitúa en la cara plantar del pie y la parte posterior de la pantorrilla (4), pudiendo contribuir a la incidencia de lesiones (5-9). Sin embargo, la controversia entre los diferentes autores es relevante, (10-16) no existiendo un consenso de si el tipo de pie repercute en el rendimiento motor y si específicamente el pie pronador presenta algún tipo de desventaja respecto al pie neutro. Dato importante, ya que la prevención y mejora de las alteraciones biomecánicas en etapas infantiles, mediante soportes plantares, sería un punto destacable en este aspecto.

Estimamos que la ejecución de nuestro trabajo está plenamente justificada por los beneficios que podría aportar a la hora de comprender el funcionamiento del pie, prevenir futuras lesiones y deformidades, llegar a un consenso de si influye o no el tipo de pie en el rendimiento deportivo, y por tanto si precisaría o no ortesis plantares. Sobre todo permitirá una mejor comprensión y desarrollo de estrategias de prevención específicas para el tipo de pie y su posible repercusión en la actividad física futura.

Los objetivos principales de este estudio fueron comprobar si existen cambios en la postura del pie y en la huella plantar de los niños después de un aumento de las sollicitaciones mecánicas, y si aquellos niños que presentan pies pronadores se cansan más respecto a los niños con pies neutros en la práctica deportiva. Y como objetivos secundarios, determinar si estos cambios son más llamativos en los individuos que presentan pies pronadores respecto aquellos que presentan pies neutros y comparar el rendimiento y los dolores musculares en ambos tipos de pies.

Material y Métodos

La muestra se compuso por 2 grupos (n=36), el grupo casos (pies pronadores) y el grupo control (pies neutros). Toda la muestra se encontraba en una franja de edad entre los 10-12 años y con un índice de masa corporal (en adelante IMC) comprendido entre 5 y 84.

Según las características del presente trabajo de investigación, se trata de un “Estudio Piloto”, siendo este, de tipo Analítico, Trasversal y Observacional.

Los niños/as estaban matriculados en 5º y 6º de primaria, de dos centros educativos de la localidad de Jimena de la Frontera, provincia de Cádiz, Andalucía, España. La recogida de datos se llevó a cabo durante los meses de Febrero y Marzo de 2014. Los niños que participaron en el estudio debían de cumplir con los criterios de selección establecidos y previo consentimiento informado de los padres. Previamente se sometió el trabajo a evaluación en el portal de Ética de la Investigación Biomédica de Andalucía con el comité ético de la investigación (en adelante CEI) de los Hospitales Universitarios Virgen Macarena-Virgen del Rocío, obteniendo una valoración favorable.

Se incluyó en el estudio a todos aquellos niños que presentaban una tipología de pie pronador o de pie neutro y que ambos pies fuesen semejantes según el FPI-6. Se excluyeron a todos aquellos que se encontraban en tratamiento ortopodológico en el momento del estudio, aquellos que no pudieron completar las pruebas físicas establecidas o habían experimentado algún tipo de cirugía osteoarticular, traumatismo o enfermedades osteoarticulares degenerativas en el pie o miembro inferior (en adelante MMII).

El protocolo llevado a cabo se estructura en varias partes:

En primer lugar, se valoró la postura del pie mediante el FPI (18) y la huella del pie mediante una pedigrafía antes y después de la actividad deportiva, para posteriormente calcular el Arch Index (índice del arco) mediante el programa informático AutoCad® a cada huella.

La actividad deportiva que se llevó a cabo fueron ejercicios de resistencia de tipo aeróbicos. Los ejercicios consistían en 6 estaciones donde cada niño permaneció 30 segundos. En cada estación se calculó el número de repeticiones que realizaba el niño. Se realizaron 3 series de ejercicios donde existió un periodo de descanso de 3-5min entre cada serie. Importante mencionar que el colaborador que contabilizaba las repeticiones estuvo cegado respecto al tipo de pie del niño/a y las pruebas se realizaron con el tipo de calzado deportivo habitual, siempre y cuando no tuvieran elementos que los hicieran ser zapatillas “pronadoras” o “supinadoras”. Las estaciones realizadas fueron:

- Carrera suave: para iniciar los ejercicios con mejor aptitud física.
- Salto a la comba con desplazamiento. (Figura 1 y 2)



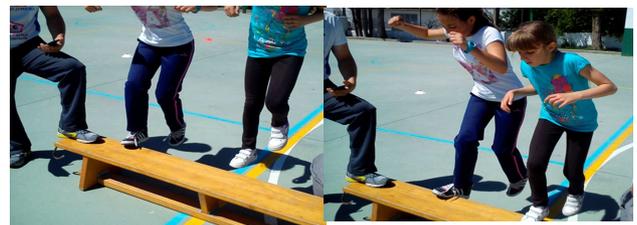
Figuras 1 y 2 : Salto a la comba con desplazamiento.

- Desplazamientos tocando líneas a 8 m de distancia. (Figura 3 y 4)



Figuras 3 y 4. Desplazamientos tocando líneas a 8 m de distancia.

- Alternancia de piernas en banco sueco. (Figura 5 y 6)



Figuras 5 y 6. Alternancia de piernas en banco sueco.

- Mini-circuito en Zig-Zag. (Figura7)



Figura 7: Mini-circuito en Zig-Zag.

➤ Salto con los pies juntos. (Figura 8 y 9)



Figuras 8 y 9. Salto con los pies juntos.

Una vez realizados los ejercicios, se pasó el Pictorial Children's Effort Rating Table (en adelante PCERT) (21) para que puntuaran en la escala numérica del 1 al 10 su percepción del cansancio.

Análisis estadístico

Se compararon los valores medios del FPI y del Arch Index antes de la actividad vs después de la actividad física para ambos grupos, el grupo casos y el grupo control. Para determinar la significación estadística se utilizó la prueba de contraste paramétrica T de Student para muestras relacionadas. Se calculó la d de Cohen para estimar el tamaño del efecto como medida de significación clínica.

Se compararon los valores medios de cada una de las pruebas físicas para ambos grupos. Para determinar la significación estadística se utilizó la prueba T de Student para muestras relacionadas, excepto para la variable mini circuito en Zig-Zag y salto con los pies juntos que se utilizó la prueba U de Mann Whitney.

Se compararon los valores medios del PCERT del Grupo Control vs Grupo casos. Para determinar la significación estadística se utilizó la prueba no paramétrica U de Mann Whitney. Se compararon los valores de la variable "Si el niño refería dolor en los pies o piernas durante y/o después del ejercicio físico" para ambos grupos. Se utilizó para ello la prueba de contraste Chi-Cuadrado de Pearson.

Resultados

Para el FPI y el Arch Index la diferencia es estadísticamente significativa porque (P fue < 0,05) para el FPI y el Arch Index a excepción del Arch Index del pie izquierdo del grupo control. (Tabla 1

Tabla 1. Significación estadística de las comparaciones mediante la prueba T de Studente y d de Cohen, de los valores medios del FPI y del Arch Index antes de la actividad y después de la actividad física para ambos grupos.

		-FPI-		-Arch Index-	
		Significación (P)	d de Cohen	Significación (P)	d de Cohen
Grupo control	Dch antes y después	<0,001	1,15	0,006	0,2
	Izq antes y después	0,005	0,94	0,195	0,1
Grupo casos	Dch antes y después	<0,001	1,79	<0,001	0,6
	Izq antes y después	<0,001	1,47	<0,001	0,6

Dch: Derecho; FPI: Foot Posture Index (FPI-6); Izq: Izquierdo.

Para las diferentes pruebas físicas la media de los resultados no fue significativamente diferente porque (P > 0,05). (Tabla 2).

Tabla 2. Significación de las pruebas físicas.

-Pruebas Físicas-	Significación (P)
Salto Comba	0,280
Desplazamiento a 8m	0,177
Alter. piernas banco sueco	0,155
Circuito zig-zag	0,211
Salto con pies juntos	0,912

Alter.: Alternancia

La diferencia entre el cansancio manifestado por los niños con pies neutros y los niños con pies pronadores fue estadísticamente significativa (P fue < 0,005). (Tabla 3)

Tabla 3. Media, desviación típica y significación del PCERT para ambos grupos

-PCERT-	Media± DT	Significación
Grupo control	5,69±2,213	P=0,046
Grupo casos	7,35±2,390	

PCERT: Pictorial Children's Effort Rating Table.

En el grupo de pies pronadores hubo un mayor número de casos de niños que presentaron dolor en los pies o piernas durante la actividad física o después de ésta. La diferencia respecto al número de niños con pies neutros fue significativa ($P<0,001$). (Tabla 4)

Tabla 4. Recuento de la variable y significación "si el niño refería dolor en los pies o piernas durante/post actividad para ambos grupos.

	No Dolor	Si Dolor	Significación
Grupo control	15	1	P≤0,001
Grupo casos	6	14	

Discusión

Según los resultados del estudio y acorde a los objetivos establecidos, se han producido cambios en la postura del pie y en la huella plantar de los niños que participaron en el estudio después de la actividad física. Estos cambios cuantificados mediante el FPI y el Arch Index han mostrado que existe una tendencia a la pronación global del pie después del ejercicio realizado.

En la literatura, numerosos autores han estudiado los cambios que sufre el pie durante el ejercicio físico; refieren que se produce un excesivo estrés en aquellas estructuras que intervienen en el control de los movimientos de pronación (5,7,12,13,17), así mismo indican haber obtenido cambios significativos en las dimensiones de la huella plantar tras una actividad física, que requiere de un gasto energético (5,14). Podríamos relacionar estos cambios obtenidos con una expansión de los tejidos blandos probablemente relacionados con la fatiga muscular, lo que ocasiona una mayor postura en pronación y un aplastamiento de la huella plantar.

Sin embargo, no se ha podido demostrar que esos cambios fuesen mayores en los individuos que presentaban pies pronadores respecto a los que presentaban pies neutros.

A pesar de los resultados mostrados hay que reconocer que la inmensa mayoría de los niños con pies pronadores moderados han pasado tras la actividad física a ser pies pronadores severos según los define el FPI-6 (18). Cuando hablamos de un pie pronador, hablamos de pies que biomecánicamente presenta una alteración funcional, pues el mecanismo normal de las fases de la marcha se encuentra alterado. Por tanto habría que considerar la función de un pie pronador severo. Según afirman numerosos autores (5,6,7,11,17) la transferencia de carga en una tipología de pies extrema es imposible que se haga correctamente en las diferentes fases de la marcha, pudiendo originar modificaciones en toda la cadena cinética en sentido ascendente, lo que favorece a un mayor riesgo de padecer lesiones en las actividades deportivas. Según Abián, Vicén et al, en 2005 (6) el grado de significación estadística no tiene porqué ser el límite que marque el mayor o menor riesgo de futura lesión. Pequeñas y no significativas diferencias podrían marcar un incremento sustancial del riesgo.

Respecto al PCERT y a la variable "dolor en los pies y/o piernas tras la actividad", se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa en la cual, los niños con pies pronadores se cansaban más y presentaban mayor dolor en los pies y/o piernas respecto a los niños con pies neutros. Resultados que según Evans (19) y Kirby y Grenn (20) lo relacionan con la postura del pie, pues concluyeron de sus estudios que al reducir la postura del pie en pronación mediante ortesis plantares, se reducían los dolores musculares.

Desde nuestro punto de vista, estos valores elevados de cansancio y dolor en los niños podrían deberse a que una función anormal del pie altera su relación con el resto de las estructuras osteoarticulares. La inestabilidad del pie en las diferentes fases de la marcha, se acompaña de momentos torsionales en rotación interna.

A nivel de la pierna, se intenta frenar el recorrido interno, mediante la contracción de toda la cadena muscular antero-externa, lo que provoca que los músculos se activen antes, a mayor intensidad y durante periodos más largos. Los ligamentos del pie se elongan permitiendo la eversión del retropié y abducción del astrágalo. Esto produce una pronación por encima de los valores de normalidad y un mayor esfuerzo para soportar el arco interno del pie; produciéndose una sobrecarga que asciende del pie a todo el MMII. Por tanto, pensamos que esta carga adicional podría asociarse con el dolor y el cansancio expresado por los niños.

Respecto a las pruebas físicas de resistencia, no se han obtenido diferencias significativas de que los pies pronadores rindieran menos en la actividad deportiva. Es difícil comparar nuestro trabajo con los encontrados, pues en todos los estudios encontrados mezclan todas las capacidades físicas básicas y nosotros sólo hemos incluido la capacidad física básica de resistencia. Al ser la resistencia aeróbica una capacidad física que somete al músculo a un trabajo de repetición continuo disponiendo del oxígeno suficiente para la contracción, consideramos que era la capacidad física más útil para valorar los cambios que se producen en la postura del pie, pues el trabajo continuo con suficiente oxígeno termina cansando al organismo y por tanto se desencadenaría la fatiga muscular deseada.

Limitaciones y Prospectiva de futuro

Estimamos necesario aclarar que una de las limitaciones más evidentes que posee nuestro estudio se refiere a la muestra estudiada. Si el tamaño de la muestra fuese mayor los resultados serían más relevantes. Otras de las limitaciones fue la diferencia de sexos a esas edades y la escasa información sobre estudios que valoren los diferentes tipos de pies mediante dos o más pruebas y exclusivamente mediante pruebas de resistencia.

En futuras investigaciones se debería equilibrar los grupos en cuanto a sexo, además sería conveniente evaluar el FPI y la huella plantar tras un periodo de descanso, para observar si las modificaciones y el dolor expresado tras la actividad física revierten a su estado inicial una vez que la musculatura haya descansado, también se podría hacer comparaciones entre subgrupos: sexo, tipo de actividad extraescolar, etc.

Conclusiones

La postura del pie y la huella plantar de los niños incluidos en este estudio se modificaron tras realizar una actividad deportiva que requiere un gasto energético, como son los ejercicios de resistencia.

No hubo evidencia de que los cambios producidos en la postura del pie y en la huella plantar de los niños incluidos en este estudio tras la actividad física fuesen mayores en el grupo pies pronadores respecto al grupo control.

No hubo evidencia de que los pies pronadores rindan menos que los pies neutros en las pruebas físicas de salto a la comba con desplazamiento, desplazamientos a 8m de distancia, alternancia piernas en banco sueco, mini circuito en zigzag y salto con pies juntos.

Referencias

1. Moreno JL. Podología deportiva. 2ª ed. Madrid: Masson; 2005:416.
2. Moreno JL. Podología general y biomecánica. 2ª ed. Barcelona: Elsevier/Masson; 2009:448.
3. Tudor A, Ruzic L, Sestan B, Sirola L, Prpic T. Flat-footedness is not a disadvantage for athletic performance in children aged 11 to 15 years. *Pediatrics*. 2009; 123(3):386-392.
4. Barnes A, Wheat J, Milner CE. Fore- and Rearfoot Kinematics in High and Low Arched Individuals During Running. *Foot Ankle Int*. 2011; 32(7):710-716.
5. 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.
6. Abián J, Alegre LM, Lara AJ, Jiménez L, Aguado X. Fuerzas de reacción del suelo en pies cavos y planos. *Arch Med Deporte*. 2005; 22(108):285-292.
7. Levinger P, Murley GS, Barton CJ, Cotchett MP, McSweeney SR, Menz HB. A comparison of foot kinematics in people with normal and flat arched feet using the Oxford Foot Model. *Gait Posture*. 2010; 32(4):519-523.
8. Murphy DF, Connolly DA, Beynon BD. Risk factors for lower extremity injury: a review of the literature. *Br J Sports Med*. 2003; 37(1):13-29.
9. Kaufman KR, Brodine SK, Shaffer RA, Johnson CW, Cullison TR. The effect of foot structure and range of motion on musculoskeletal overuse injuries. *Am J Sports Med*. 1999; 27(5):585-593.
10. Berdejo-del-Fresno D, Lara AJ, Martínez EJ, Cachón J, Lara S. Footprint modifications according to the physical activity practiced. *Rev Int Med Cienc Act Fís Deporte*. 2013; 13(49):19-39.
11. Boozari S, Ashraf A, Ali M, Jafari H. Effect of Functional Fatigue on Vertical Ground-Reaction Force in Individuals With Flat Feet. *J Sport Rehab*. 2013; 22(3):177-183.
12. Escamilla-Martínez E, Martínez-Nova A, Gómez-Martín B, Sánchez-Rodríguez R, Fernández-Seguín LM. The effect of moderate running on foot posture index and plantar pressure distribution in male recreational runners. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2013; 103(2):121-125.
13. Teyhen DS, Stoltenberg BE, Eckard TG, Doyle PM, Boland DM, Feldtmann JJ, et al. Static foot posture associated with dynamic plantar pressure parameters. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2011; 41(2):100-107.
14. Delgado Abellán L, Aguado X, Jiménez Ormeño E, Mecerreyes L, Alegre LM. Efectos del ejercicio continuo e intermitente sobre la huella plantar. *Arch Med Deporte*. 2012; (148):601-608.
15. Arévalo JF. Los tipos de pie y su repercusión en el rendimiento motor. [Tesis Doctoral]. Cádiz: Universidad de Cádiz; 2013.
16. Chang L, Myung K, Mi SC. The Relationship between Balance and Foot Pressure in Fatigue of the Plantar Intrinsic Foot Muscles of Adults with Flexible Flatfoot. *J Phys Ther Sc*. 2012; 24(8):699-701.
17. Shih YF, Chen CY, Chen WY, Lin HC. Lower extremity kinematics in children with and without flexible flatfoot: a comparative study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2012; 13(1):31.
18. Redmon AC, Crane YZ, Menz HB. Normative values for the foot posture index. *J Foot Ankle Res*. 2008; 1(1):6.
19. Evans AM. Relationship between “growing pains” and foot posture in children: single-case experimental designs in clinical practice. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2003, 93(2):111-117.
20. Kirby KA, Green DR. Foot and Ankle disorder in Children. SJ De Valentine. Evaluation and Nonoperative Management of Pes Valgus. New York: Churchill Livingstone; 1992: 295-327.
21. Yelling M, Lamb KL, Swaine IL. Validity of a pictorial perceived exertion scale for effort estimation and effort production during stepping exercise in adolescent children. *European Physical Education Review* 2002; 8 (2):157-175.