

Montraveta, J¹; Fernández-Jarillo, I¹; Chaverri, D¹; Iglesias, X¹

¹ Instituto Nacional de Educación Física de Cataluña (INEFC), Universidad de Barcelona

Introducción

Correr en una pista de atletismo de 400 metros implica desafíos biomecánicos debido a la alternancia entre tramos rectos y curvos. Los segmentos curvos imponen demandas mecánicas y fisiológicas asimétricas en las piernas, afectando variables cinemáticas clave como la cadencia (CAD), la longitud de zancada (SL), la oscilación vertical (VO) y el tiempo de contacto con el suelo (GCT). Para contrarrestar las fuerzas centrífugas, la pierna interna actúa como estabilizadora bajo mayor compresión, mientras que la pierna externa genera mayor propulsión, especialmente a velocidades más altas (Chang & Kram, 2007). Además, las transiciones entre los tramos curvos y rectos pueden influir en la VO y la CAD, obligando a los atletas a ajustar dinámicamente su patrón de marcha a lo largo del recorrido (Hamill et al., 1987). Estas adaptaciones pueden impactar el rendimiento y aumentar el riesgo de lesión. El objetivo del estudio fue: Investigar las asimetrías en la potencia (PWR), la cinemática y la oxigenación muscular (SmO₂) entre la pierna interna y externa en triatletas de nivel nacional durante una prueba incremental de carrera en pista de 400 metros.

Métodos

Catorce triatletas de nivel nacional participaron voluntariamente en el estudio (Tabla 1) y realizaron una prueba VAM EVAL (García & Secchi, 2013) en una pista de atletismo de 400m. La PWR y las variables cinemáticas se midieron con un dispositivo STRYD colocado en ambas zapatillas (Stryd Inc., Boulder, CO, EE.UU.) y la SmO₂ se midió mediante un dispositivo NIRS de onda continua colocado en el vasto lateral de la pierna interna y externa (MOXY, Fortiori Design LLC, EE. UU.). Los datos cinemáticos y de SmO₂ fueron filtrados cada 2 segundos antes del análisis. Los cálculos estadísticos se realizaron utilizando Microsoft Excel (versión 16.81, 24011420) y la aplicación Moxy Settings (versión 1.5.5). Se emplearon estadísticas descriptivas, incluyendo la media y la desviación estándar (DE), para resumir todas las variables. La normalidad de los datos se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilk con un nivel de significancia de $p < 0.05$. Para las variables con distribución normal, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas de una vía para comparar las diferencias entre piernas y niveles de intensidad en PWR, parámetros cinemáticos (CAD, VO, GCT y SL) y SmO₂. Para las variables que no cumplieron con el supuesto de normalidad, se utilizó la prueba de Friedman para detectar diferencias estadísticas. Posteriormente, se realizaron comparaciones por pares mediante la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para calcular valores de p específicos. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando Microsoft Excel (versión 16.81, 24011420) y JASP (versión 0.18.3).

Tabla 1. Características de los triatletas: Edad, altura, masa corporal, índice de masa corporal (IMC), velocidad aeróbica máxima (MAS), grosor del tejido adiposo (ATT).

	(n=14)
Edad (años)	27.43 ± 8.55
Masa corporal (kg)	66.50 ± 5.30
Altura (cm)	175.07 ± 5.76
IMC (kg·m ⁻²)	21.70 ± 1.49
MAS (km/h)	18.53 ± 1.02
ATT VLD (mm)	3.29 ± 1.95
ATT VLI (mm)	3.47 ± 2.07

Nota: Los valores son media ± desviación estándar (DE).

Referencias

- Chang, Y. H., & Kram, R. (2007). Limitations to maximum running speed on flat curves. *Journal of Experimental Biology*, 210(6), 971–982.
- García, G. C., & Secchi, J. D. (2013). Relación de las velocidades finales alcanzadas entre el Course Navette de 20 metros y el test de VAM-EVAL. Una propuesta para predecir la velocidad aeróbica máxima. *Apunts Medicina de l'Esport*, 48(177), 27–34
- Hamill, J., Murphy, M., & Sussman, D. (1987). The effects of track turns on lower extremity function. *International Journal of Sport Biomechanics*, 3(3), 276–286.

Resultados

Los sujetos (n=14) presentaron los siguientes valores promedio ± DE en el rendimiento de la prueba VAM EVAL: una frecuencia cardíaca máxima (HRmax) de 183.54 ± 15.60 bpm y una velocidad aeróbica máxima de 18.53 ± 1.02 km·h⁻¹. Los parámetros de SmO₂, PWR y cinemática reflejaron cambios debido al aumento de la velocidad durante la prueba VAM EVAL.

Tabla 2. Datos descriptivos de ambas piernas en PWR, CAD, VO, GCT, SL y SmO₂ durante la prueba VAM EVAL (n = 14). Los valores promedio para ambas piernas se calcularon a partir de los 20 segundos centrales de cada intervalo de un minuto en cada nivel de intensidad (60%, 70%, 80% y 90% MAS). La siguiente tabla resalta las diferencias significativas ($p < 0.05$) observadas en los diferentes niveles de intensidad.

	60% MAS	70% MAS	80% MAS	90% MAS
PWR-L (W)	228.6 ± 29.3 ABC	259.6 ± 27.5 BC	293.8 ± 29.4 C*	324.5 ± 31.8 C*
PWR-R (W)	225.2 ± 27.5 ABC	256.6 ± 27.3 BC	285.4 ± 30.6 C*	319.5 ± 29.4 C*
CAD-L (spm)	81.8 ± 2.8 ABC	83.5 ± 2.8 BC	85.3 ± 3.0 C	88.2 ± 3.1 C
CAD-R (spm)	82.0 ± 2.9 ABC	83.4 ± 2.8 BC	85.4 ± 3.1 C	88.5 ± 3.3 C
VO-L (cm)	81.7 ± 10.3 B	84.6 ± 8.3 B	85.7 ± 8.1 B	82.2 ± 6.9 B
VO-R (cm)	80.1 ± 10.1 B	83.8 ± 8.2 B	84.7 ± 8.4 B	81.5 ± 7.4 B
GCT-L (ms)	251.9 ± 10.8 ABC*	227.3 ± 7.0 BC	207.6 ± 9.2 C*	193.5 ± 6.6 C*
GCT-R (ms)	255.2 ± 10.5 ABC*	230.2 ± 8.2 BC	209.8 ± 8.5 C*	193.9 ± 6.6 C*
SL-L (cm)	1199.5 ± 101.3 ABC	1363.5 ± 92.2 BC	1519.8 ± 100.5 C*	1641.4 ± 89.8 C*
SL-R (cm)	1173.9 ± 95.3 ABC	1328.8 ± 87.0 BC	1476.0 ± 93.5 C*	1613.1 ± 78.5 C*
SmO ₂ -L (%)	40.2 ± 9.4 C	40.5 ± 9.9 C	36.7 ± 9.9 C	26.6 ± 10.0 C
SmO ₂ -R (%)	42.7 ± 13.6 C	40.3 ± 16.0 C	36.4 ± 18.6 C	24.9 ± 18.1 C

Nota: Los valores se presentan como media ± DE. El nivel de significancia es $p < 0.05$. Las letras (A, B, C) indican diferencias significativas entre las intensidades comparadas con el 70% MAS, 80% MAS y 90% MAS, respectivamente. Las diferencias significativas entre las piernas ($p < 0.05$) están marcadas con un asterisco (*). Izquierda (L), derecha (R), potencia (PWR), cadencia (CAD), oscilación vertical (VO), tiempo de contacto con el suelo (GCT), longitud de paso (SL), saturación de oxígeno muscular (SmO₂).

Discusión

Los principales hallazgos son que no hubo diferencias significativas entre la pierna interna y externa, excepto en PWR al 80% MAS, SL al 80% MAS y GCT al 60% y 80% MAS. Aunque los estudios de Chang y Kram (2007) y Hamill et al. (1987) demuestran que correr en pistas curvas afecta las variables cinemáticas clave, como CAD, SL, VO y GCT, es importante señalar las diferencias en sus condiciones experimentales en comparación con las de nuestro estudio. La investigación de Chang y Kram (2007) se realizó en curvas mucho más pronunciadas que las de una pista estándar de atletismo y a velocidades máximas de sprint. De manera similar, Hamill et al. (1987) examinaron correr a una velocidad sustancialmente más alta (6.31 m/s ± 5%) que el ritmo mantenido por los triatletas en nuestro estudio. Estas diferencias resultan en fuerzas centrífugas mucho mayores, lo que amplifica las disparidades cinemáticas entre las piernas internas y externas durante la carrera en curva. La tecnología portátil proporciona un método preciso y eficiente para capturar métricas biomecánicas y fisiológicas detalladas durante el entrenamiento diario de los triatletas, lo que posibilita evaluaciones de rendimiento personalizadas sin necesidad de realizar pruebas en laboratorio.

Conclusión

Una pista estándar de 400 metros no induce diferencias medibles en potencia, cinemática (incluyendo cadencia, oscilación vertical, tiempo de contacto y longitud de paso) y saturación de oxígeno muscular entre la pierna interna y externa en triatletas de nivel nacional realizando una prueba VAM EVAL, excepto en potencia, longitud de paso y tiempo de contacto a una velocidad del 80% de la MAS.



Diapositiva 1

LB0 Reference to the tables and figures are needed.

Lindsay Bottoms;

2023-04-13T11:17:51.007

LB1 Reference needed

Lindsay Bottoms;

2023-04-13T11:18:21.449