

**Núm.Orden: 0074**

**Título: “PATRÓN CINEMÁTICO DE LA CARRERA A VELOCIDAD AERÓBICA MÁXIMA HASTA EL AGOTAMIENTO Y TIEMPO LÍMITE DE RENDIMIENTO”**

**Autores:** Miguel A. Fernández del Olmo <sup>1</sup>, José Luis Tuimil <sup>1</sup>, Rafael Martín Acero <sup>1</sup>, Xavier Iglesias <sup>2</sup>, Ferran.A. Rodríguez <sup>2</sup>

**Procedencia:** <sup>1</sup> Instituto Nacional de Educación Física de Galicia (Universidade da Coruña)  
<sup>2</sup> Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (Universitat de Barcelona)

**Correspondencia:** Miguel A. Fernández del Olmo; Instituto Nacional de Educación Física de Galicia. Ctra. de Bastiagueiro, s/n. 15179 Oleiros, A Coruña. [mafo@mail2.udc.es](mailto:mafo@mail2.udc.es)

## **INTRODUCCIÓN**

La velocidad aeróbica máxima (VAM) o velocidad de carrera asociada a la obtención del VO<sub>2</sub>max (Morgan et al. 1989; Billat et al. 1994a) se considera un parámetros útil y eficaz para la predicción, programación y control del entrenamiento. Sin embargo, a pesar de la incuestionable relevancia de este parámetro no se conocen con exactitud los factores de los que depende. Otra dimensión derivada de la VAM, y que podría suponer un dato suplementario de valoración de la cualidad aeróbica, útil para estimar la capacidad de trabajo al VO<sub>2</sub>max en el ámbito de entrenamiento adaptado a las carreras de media y larga distancia, es la capacidad de mantener dicha velocidad en el tiempo (Billat et al. 1994a). Este concepto se ha denominado “tiempo límite a la velocidad aeróbica máxima” (Tlim) (Billat et al. 1994a, 1994b; Hill y Rowel 1997; Berthoin et al. 1996).

Los estudios realizados sobre este parámetro parecen indicar que a pesar de ser un indicador reproducible para un sujeto, presenta una gran variabilidad interindividual en corredores de medio fondo y fondo (Gazeau et al. 1997). Dependiendo del tipo de deportista valorado, el Tlim puede oscilar entre los 300 y 600 segundos (Billat et al. 1994a; Berthoin et al. 1996). En una muestra pequeña y homogénea de corredores especialistas en medio fondo y fondo, se comprobó que el tiempo de mantenimiento de la VAM no tenía relación con el VO<sub>2</sub>max ni con la VAM, pero sí con el umbral de lactato (Billat et al. 1994b). En este estudio se observó también una buena correlación del Tlim con la marca en distancias de media maratón concluyendo que este parámetro podría resultar un indicador muy importante de la tolerancia a la acidosis y, por lo tanto, de la capacidad anaeróbica láctica, coincidiendo estas últimas afirmaciones con las de otros estudios más recientes (Hill y Rowel 1996).

A partir de otra serie de investigaciones (Billat et al. 1994a, 1994b, 1995a) se puede afirmar que el tiempo de mantenimiento de la VAM, en corredores de subélite de fondo, está relacionada con el rendimiento en larga distancia y con el umbral de lactato, pero no con el VO<sub>2</sub>max y la economía de carrera, y que incluso parece existir una correlación de signo negativo entre el Tlim y la VAM. Además, y según los resultados de uno de estos estudios (Billat et al. 1994b), los sujetos con mayor Tlim eran aquellos con menor diferencia entre la VAM y la velocidad en el umbral de lactato, o el mayor valor de umbral de lactato expresado como una fracción de la VAM.

A este respecto, el entrenador de atletismo francés Gaçon (1991), considera que la VAM, unida a la capacidad para mantenerla (TMI, como él la denomina), son dos factores trascendentales a la hora de determinar las posibilidades de un sujeto en las carreras de

medio fondo y fondo. Para dicho autor, la determinación de la VAM (intensidad), no representa suficientemente el potencia aeróbico de un sujeto, si esta no va acompañada de la determinación del tiempo de mantenimiento de la misma (volumen).

Por otra parte, aunque es bien conocido el hecho de que la longitud de zancada, así como la flexión de cadera y rodilla se incrementa al final de un test exhaustivo en tapiz rodante realizado a un velocidad constante (Siler y Martin 1991; Williams et al. 1991), las relaciones entre las modificaciones de parámetros cinemáticos con la fatiga en una prueba de mantenimiento de la VAM no han sido abordadas en profundidad y los pocos estudios que hay al respecto han sido realizados en tapiz rodante (Gazeau et al. 1997), con las importantes limitaciones que ello conlleva cuando se trata de extrapolar estos resultados a la pista. Por ello el objetivo de este estudio es, por un lado describir la evolución de parámetros cinemáticos de la carrera en una prueba a la velocidad aeróbica máxima (VAM) hasta el agotamiento, y por otro lado, comparar dicho patrón en dos grupos de sujetos, con objeto de establecer una relación entre indicadores de eficiencia mecánica y el tiempo límite de mantenimiento de la VAM.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Sujetos

Participaron en el estudio doce sujetos varones que fueron clasificados en dos grupos: seis corredores especialistas en medio fondo y fondo de nivel nacional (C) y seis deportistas de resistencia no corredores (NC). Sus medias ( $\pm$  desviación típica) de edad, talla y peso fueron  $25,2 \pm 3,3$  años;  $178,3 \pm 4,3$  cm y  $69,9 \pm 4,7$  kg. Todos los sujetos fueron informados de las características del estudio y firmaron su consentimiento previo de participación en el mismo.

Tabla 1. Edad, talla y peso de los dos grupos de sujetos. Se indican la media y la desviación típica.

	Edad (años)	Talla (cm)	Peso (kg)
Corredores (n=6)	$26,5 \pm 4,0$	$176,0 \pm 3,6$	$66,7 \pm 0,8$
No corredores (n=6)	$23,8 \pm 1,7$	$180,5 \pm 4,1$	$73,1 \pm 4,8$

### Diseño experimental

Todos los sujetos realizaron la prueba de carrera en pista de la Universidad de Montreal (UMTT) (Léger y Boucher 1980), en una pista sintética de 400m para determinar su VAM individual. Un día después y a la misma hora y con similares condiciones climáticas, se evaluó el tiempo límite de mantenimiento hasta el agotamiento de la VAM (Billat et al.1994a). En esta prueba el sujeto primeramente realizaba un calentamiento consistente en 10 minutos de carrera al 60% de la VAM y 5 min de estiramientos para, a continuación, correr detrás de una bicicleta a su velocidad aeróbica máxima hasta el agotamiento.

Durante ambas pruebas se monitorizaron y registraron los parámetros cardiorrespiratorios por telemetría mediante un analizador de gases portátil (K4 b<sup>2</sup>, Cosmed, Italia) para otros objetivos del estudio. Para evaluar los parámetros cinemáticos de la carrera en ambas

pruebas, se colocó una plataforma de contactos (Ergo-Runner Bosco System, Italia) de 5 metros de longitud situada antes de la línea de meta. Se midieron la frecuencia del paso (FP) en pasos por segundo, la amplitud (AP) en metros, el tiempo de contacto (TC) y el tiempo de vuelo (TV), ambos en milisegundos, en los 2 últimos pasos de cada vuelta.

La fuerza explosiva se evaluó mediante la plataforma de contactos (Ergo-Jump Bosco System, Italia) a través de la batería de saltos verticales (SJ, CMJ, CMJA) propuesta por Bosco (1994). También se registraron la velocidad y los parámetros cinemáticos de la carrera en los últimos 5 metros durante una prueba de velocidad máxima en 30 metros, mediante fotocélulas infrarrojas Heuer ©(HL2-11) y el Ergo-Runner.

### **Análisis estadístico**

Para la comparación entre grupos se utilizó la “t” de Student de muestras independientes, previa comprobación de la normalidad y homogeneidad de la varianza.

Para la comparación entre grupos de la evolución de los parámetros cinemáticos durante el Tlim se analizaron estos parámetros en tres momentos diferentes, los correspondientes a la primera vuelta (Tlim inicial), a la última vuelta (Tlim final) y a una vuelta intermedia entre ambas (Tlim intermedio). A continuación se llevó a cabo una ANOVA de medidas repetidas, con 3 factores intrasujetos (tiempo inicial, tiempo intermedio y Tlim).

### **RESULTADOS**

El patrón de carrera fue esencialmente el mismo durante la prueba la UMTT que durante la de mantenimiento de la VAM para ambos grupos, no encontrándose diferencias significativas en ninguno de los parámetros entre ambas pruebas.

En la evolución de los parámetros cinemáticos en la prueba de mantenimiento de la VAM, la frecuencia y amplitud del paso no fueron significativamente diferentes desde el comienzo hasta el final de la prueba al igual que el tiempo de vuelo, pero el tiempo de contacto se incremento de la primera a la última vuelta ( $p = 0,048$ ).

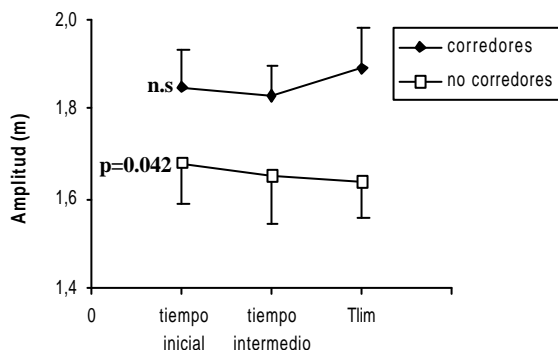
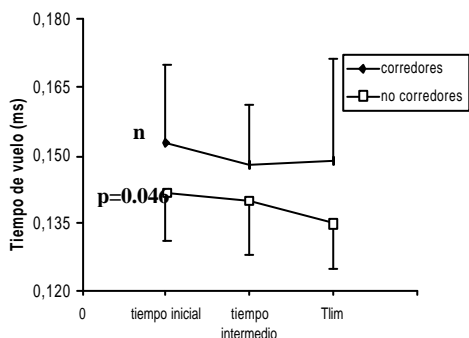
Analizando ambos grupos por separado, se puede observar que los corredores mostraron valores significativamente superiores en la VAM alcanzada en el UMTT con respecto al grupo de no corredores (tabla 1).

Tabla 1. Velocidad aeróbica máxima, tiempo límite de mantenimiento y parámetros cinemáticos de la carrera en la prueba de mantenimiento de la VAM en corredores y no corredores. Media y desviación típica.

	VAM (km.h <sup>-1</sup> )	Tlim (s)	Frecuencia de zancada (pasos· s <sup>-1</sup> )	Amplitud de zancada (m)	Tiempo de contacto (ms)	Tiempo de vuelo (ms)
Grupo C (corredores)	21,0 (0,63)	328 (56)	3,140 (0,139)	1,869 (0,074)	169 (4)	151 (16)
Grupo NC (no corredores)	18,2 (1,17)	337 (71)	3,022 (0,91)	1,671 (0,089)	192 (11)	139 (8)
Diferencias (valor de p)	<0,0001	ns	ns	0,002	0,003	ns

De los parámetros cinemáticos únicamente la amplitud del paso y el tiempo de contacto mostraron unas diferencias medias estadísticamente significativas, siendo la amplitud superior y el tiempo de contacto menor en el grupo de corredores. Sin embargo en relación al tiempo de mantenimiento de la VAM (Tlim) aunque no se encontraron diferencias significativas entre los grupos, sus valores fueron ligeramente superiores en el grupo de no corredores.

En cuanto a la evolución de los parámetros cinemáticos desde el inicio hasta el final de la prueba de Tlim, en el grupo de no corredores se observaron cambios significativos en todos los parámetros a excepción del tiempo de contacto. Como se puede comprobar en la figura 1, el grupo de no corredores a lo largo de la prueba va incrementando significativamente la frecuencia del paso ( $p = 0,036$ ), a expensas de una reducción significativa tanto de la amplitud ( $p = 0,042$ ) como del tiempo de vuelo ( $p = 0,046$ ), mientras que el tiempo de contacto permanece prácticamente estable. Curiosamente, el tiempo de contacto es el único parámetro que se modifica significativamente en el grupo de corredores ( $p = 0,024$ ), permaneciendo los restantes parámetros sin cambios significativos.



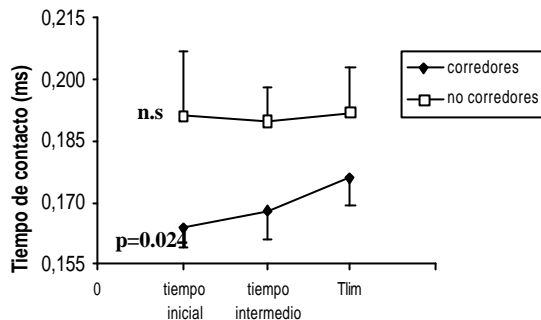
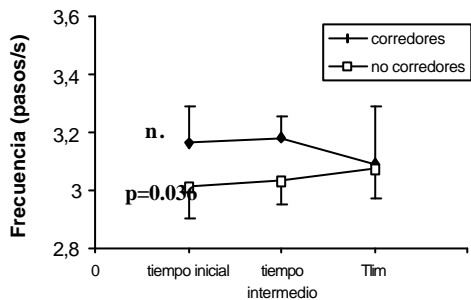


Fig. 1. Evolución de los parámetros cinemáticos de la carrera durante la prueba de mantenimiento de la VAM para cada uno de los grupos. A.- Frecuencia; B.- Amplitud; C.- Tiempo de vuelo; D.- Tiempo de contacto

En relación a las pruebas de valoración de fuerza explosiva únicamente se observaron diferencias significativas entre los grupos en el tiempo de contacto en la prueba de velocidad máxima en 30 metros ( $p = 0,049$ ). El tiempo límite de mantenimiento de la VAM (Tlim) no correlacionó en ninguno de los grupos con los indicadores de fuerza explosiva de los miembros inferiores evaluados mediante la batería de Bosco. Tampoco se encontraron correlaciones significativas entre la VAM y el Tlim.

## DISCUSIÓN

### Análisis de los parámetros cinemáticos de la carrera

Los resultados obtenidos muestran que el grupo de corredores poseen, en comparación con los no corredores, una mayor velocidad aeróbica máxima y una mayor estabilidad en sus parámetros cinemáticos durante el test, y su patrón de carrera se caracteriza por una similar frecuencia del paso y tiempo de vuelo, pero una mayor amplitud y un tiempo de contacto menor, factores directamente relacionados con una mayor eficiencia mecánica (Williams y Cavanagh, 1987).

A pesar de esta mayor estabilidad de la cinemática de la carrera en el grupo de corredores, el tiempo de mantenimiento de la velocidad aeróbica máxima no fue superior al grupo de no corredores. Este grupo se caracterizó por un patrón de carrera en el que se producía a lo largo de la prueba un incremento paulatino y significativo de la frecuencia del paso acompañado también de una disminución significativa de la amplitud y tiempo de vuelo, permaneciendo constante el tiempo de contacto. Aunque no existieron diferencias significativas en el tiempo de mantenimiento de la VAM entre ambos grupos, éste era superior en el grupo de no corredores. La menor VAM alcanzada por el grupo de no corredores podría justificar este hallazgo, aunque no hemos encontrado correlaciones significativas entre la VAM y el Tlim que permitan apoyar la afirmación de una correlación negativa entre ambos parámetros (Billat et al. 1995b). No obstante, la mayor VAM en el grupo de corredores podría haber originado en la prueba de mantenimiento el incremento

significativo en su tiempo de contacto, provocando a su vez una disminución de la frecuencia y un aumento en la amplitud (en ambos casos no significativo) para mantener la velocidad impuesta. A pesar de no haber encontrado correlaciones significativas entre el tiempo de contacto y el Tlim, todo hace pensar que en el grupo de corredores el principal limitante del mantenimiento de la VAM es la capacidad de mantener unos buenos niveles de reactividad, mientras que en el grupo de no corredores existiría una menor dependencia de esa característica neuromuscular, lo que explicaría la no disminución de los tiempos de contacto en este grupo.

En este mismo grupo de corredores en la prueba progresiva en pista para determinar la VAM (UMTT) se observó una reducción significativa del tiempo de contacto con respecto a lo no corredores sin modificación de su frecuencia ni su tiempo de vuelo, lo que significaría que son capaces de desarrollar una mayor velocidad gracias a su capacidad de generar mayor potencia muscular (mayor amplitud en menos tiempo) en situaciones de fatiga (Tuimil et al. 2002). Sería pues, esta potencia muscular, y más concretamente su mantenimiento, un factor clave en los corredores para un mejor Tlim.

### **Análisis de la fuerza explosiva**

Ambos grupos no presentaron diferencias significativas en las pruebas de salto vertical (Sj, CMJ, CMJA), ni en la velocidad máxima en 30 metros pero sí en el tiempo de contacto en esta prueba, presentando los corredores unos tiempos de contacto significativamente menores que los no corredores y por tanto unos mejores niveles de reactividad. Esta mayor reactividad podría suponer una mayor economía de carrera, en base a las correlaciones positivas ( $r = 0,50$ ) halladas por Williams y Cavanagh (1987) entre el tiempo de apoyo y el requerimiento de energía. Sin embargo, no hemos encontrado correlaciones significativas entre el tiempo de contacto en los 30 metros y el Tlim en ninguno de los dos grupos. Por otra parte y en base a esa posible relación entre unos mejores niveles de reactividad y la economía de carrera, hubiera sido de esperar que el grupo de corredores hubieran mostrado un mayor Tlim. Sin embargo la economía de carrera ha sido definida como el volumen de  $O_2$  requerido para mantener cualquier ritmo de carrera submáximo (Daniels y Daniels 1992), por lo tanto su evaluación se realiza a velocidades de carrera que implican exclusivamente el metabolismo aeróbico (inferiores al umbral anaeróbico). Sin embargo, la VAM representa una intensidad de carrera que implica al metabolismo anaeróbico y, por lo tanto, una velocidad superior a la del umbral anaeróbico. Los atletas con mejor economía a velocidades bajas deberían mantenerla a velocidades elevadas, pero esta relación no siempre se produce (Williams et al. 1990).

Finalmente, y a pesar de una teórica dependencia entre el tiempo de contacto y el Tlim en el grupo de corredores nuestros resultados parecen indicar que el tiempo de mantenimiento de la VAM no está determinada por las características cinemáticas de la carrera y que no puede ser predecible en función de éstas, a pesar de los hallazgos de Gazeau et al. (1997) que indican que el Tlim puede ser estimado a partir de las modificaciones de determinadas variables cinemáticas. Además, el nivel del deportista es un factor clave que puede condicionar las relaciones entre las variables estudiadas.

## BIBLIOGRAFÍA

- BERTHOIN, S.; BOQUET, G.Y MANTÉCA, F. (1996a) Maximal Aerobic Speed and Running Time to Exhausting, *Pediatric Exercise Science*, 8, 234-244.
- BERTHOIN, S.; PELAYO, P., LENSEL-CORBEIL, G., ROBIN, H. Y GERBEAUX M. (1996b) Comparison of maximal aerobic speed as assessed with laboratory and field measurements in moderately trained subjects, *Internatinal Journal of Sports Medicine*, 17(7):525-527.
- BILLAT, V., RENOUX, J. C., PINOTEAU, J., PETIT, B.; KORALSZTEIN, J. P. (1994a) Times to exhaustion at 100% of velocity at  $VO_{2max}$  and modelling of the time-limit / velocity relationship in elite long-distance runners, *Eur. J. Appl. Physiol.*, (69), 271-273.
- BILLAT, V., RENOUX, J. C., PINOTEAU, J., PETIT, B.; KORALSZTEIN, J. P. (1994b) Reproducibility of running time to exhaustion at  $VO_{2max}$  in subelite runners. *Med Sci Sports Exerc* 26: 254-257.
- BILLAT, V., RENOUX, J. C., PINOTEAU, J., PETIT, B.; KORALSZTEIN, J. P. (1995a) Times to exhaustion at 90, 100 and 150% of velocity at  $VO_{2max}$  (Maximal Aerobic Speed) and critical speed in elite long distance runners. *Arch Physiol Biochem* 103: 129-135.
- BILLAT, V., RENOUX, J. C., PINOTEAU, J., PETIT, B.; KORALSZTEIN, J. P. (1995b) Cinétique des variables cardio-pulmonaires et métaboliques au cours d'épreuves exhaustives (Tlim) à 90, 100 et 150% de la vitesse aérobie chez 16 coureurs d'élite. *STAPS* 37: 53-62
- BOSCO, C. (1994) La valoración de la fuerza en el test de Bosco. Barcelona: Paidotribo.
- DANIELS, J.; DANIELS, N. (1992) Running economy of elite male and elite female runners, *Med. Sce. Sport Exerc.*, (24), 483-489.
- GACON, G. (1991) Un nuevo concepto de entrenamiento: La ponderación (1ª parte) *Revista de Entrenamiento Deportivo* 5 (1), 31-35.
- GAZEAU, F.; KORALSZTEIN, J.P.; BILLAT, V. (1997) Biomechanical events in the time to exhaustion at maximum aerobic speed, *Arch. Physiol. Biochem.*, 105, (6), 583-590.
- HILL, D.; ROWELL, A. (1996) Running velocity at  $VO_{2max}$ , *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28 (1), 114-119.
- HILL, D.Y ROWELL, A. (1997) Responses to exercise at the velocity associated with  $VO_{2max}$ , *Medicine and Science in Sports and Exercise*, (September), 113-116
- LÉGER, L.; BOUCHER, R. (1980) An Indirect Continuous Running Multistage Field Test: The Université de Montréal Track Test, *Can. J. Appl. Sports Sci.*, 5 (2), 77-84.
- MORGAN, D., MARTIN, P. E.; KRAHENBUHL, G. S. (1989b) Factors affecting running economy, *Sports Med.*, (7), 310-330.
- SILER W.L.; MARTIN P.E. (1991) Changes in running pattern during a treadmill run to volitional exhaustion: fast versus slower runners, *Int. J. Sport Biomech.* 7:12-28
- TUIMIL, J.L.; FERNÁNDEZ DEL OLMO, M.A.; MARTÍN ACERO, R.; IGLESIAS, X.; RODRÍGUEZ, F.A. (2002) Análisis de los parámetros cinemáticos de la carrera durante una prueba de velocidad aeróbica máxima en pista. II Congreso de Ciencias del Deporte A.E.C.D. (en prensa).
- WILLIAMS K.R.; CAVANAGH, P.R. (1987) Relationship between distance running mechanics, running economy, and performance, *J. Appl Physiol*, (63), 1236-1245.
- WILLIAMS, T., KRAHENBUHL, G.; MORGAN, D. (1990) Mood state and running economy in moderately trained male runners, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 23 (6), 727-731.
- WILLIAMS, K.R.; SNOW R.; AGRUSS C. (1991) Changes in distance running kinematics with fatigue. *Int. J. Sport Biomech.* 7:138-162