Article

Reproducibilidad del Tiempo de Carrera Hasta el Agotamiento en el VO2max de Corredores de Nivel Sub-elite

Veronique Billat, Jean C. Renoux, Jacques Pinoteau, Bernard Petit y Jean P. Koralsztein

[1]*Laboratoire S.TA.P.S., Universiíé Paris XII*
[2]*F-94010 Créteil cedex, FRANCE*
[3]*and Centre de Medecine du Sport C.CA.S., F-75010 Paris, Francia*

RESUMEN

El propósito de este estudio consistió en evaluar la reproducibilidad del tiempo de carrera hasta el agotamiento (TLIM) en la velocidad aeróbica máxima (MAS= mínima velocidad que permite obtener el VO2max,), en ocho varones corredores de fondo de sub-élite (29±3 años; VO2max= 69,5±4,2 ml kg-1 min-1; MAS= 21,25±1,1 km h-1). No se observaron diferencias significativas en el TLIM medido en una cinta rodante en un intervalo de 1 semana (404±101 s contra 402±113 s; r=0,864); sin embargo, la observación de datos individuales reveló una gran variabilidad intra-sujeto (CV=25%). En la pequeña y los homogénea muestra de corredores estudiados, el tiempo de ejercicio hasta el agotamiento en MAS no se relacionó con VO2max (r=0,138), MAS (r=0,241), economía de carrera (ml O2 kg-l min-1 a 16 km h-1 (r=0,024), ni con el rendimiento en carrera de 3000 m (km h-1) (r=0,667). Sin embargo, TLIM en MAS se relacionó significativamente con el umbral del lactato determinado por el punto de aceleración distintivo descubierto en la curva del lactato alrededor de 3-5 mmol.l-1 expresado en % VO2max (r= 0,745) y con la velocidad durante la carrera de 21,1 km (km h-1) (r=0,719). Estos datos demuestran que el tiempo de carrera hasta el agotamiento en MAS en corredores de fondo varones de sub-élite está relacionado con el rendimiento en larga distancia y con el umbral de lactato pero no está relacionado con VO2max ni con MAS.

Palabras Clave: Tiempo de ejercicio hasta el agotamiento, fatiga, umbral del lactato, rendimiento de carrera, velocidad aeróbica máxima

INTRODUCCION

La relación inversa entre el tiempo de ejercicio hasta el agotamiento (T_{LIM}) (12) y la producción de potencia sostenida ha sido descripta utilizando varios modelos hiperbólicos o exponenciales (3, 11, 12, 18, 19, 23, 24), desde el primer trabajo pionero realizado por Hill en 1927 (12). Estas relaciones han sido utilizadas para estimar por interpolación o extrapolación el T_{LIM} en el VO_{2max} o en la velocidad aerobic máxima (MAS) (14). Las mediciones directas de MAS (5, 7, 12, 13, 17, 21, 22, 23, 25) (Tabla 1) indican que el T_{LIM} promedio en VO_{2max} o MAS se sitúa entre 2 min 30 s (15) y 10 min (11, 16). Sin embargo, en ninguno de estos estudios, se evaluó la reproducibilidad de T_{LIM} en VO_{2max} o T_{LIM} en MAS. Este cuestionamiento

debe ser investigado con detalle porque se ha sugerido que la medición directa de esta variable puede ser incluida en la valoración de un atleta (por ejemplo, de un corredor) (4), y porque es posible suponer que cambios pequeños en la fatiga del atleta y/o en el estado de entrenamiento de un atleta (6, 10, 20) pueden modificar significativamente el resultado obtenido en una prueba que es muy exigente.

Por lo tanto el propósito de este estudio fue evaluar la reproducibilidad de T_{LIM} en MAS (definida como la velocidad mínima que permite alcanzar el VO_{2max}) (14) en un grupo de corredores varones sub-elite. Además, se estudiaron las relaciones entre T_{LIM} en MAS y otras características bioenergéticas de los corredores.

MÉTODOS

Sujetos

El estudio se realizó con ocho corredores varones de sub-elite. Sus edades, masas corporales y tallas fueron 29,3±3 años (Media±SD), 69±5,9 kg y 178±4 cm. La velocidad de carrera media sostenida por los corredores en las carreras de 3000-m y de media-maratón (21,1 km) fueron 20,6±0,9 km h^{-1} y 18±0,7 km h^{-1}, respectivamente. Los sujetos dieron su consentimiento informado por escrito para participar en el estudio, siguiendo lo establecido por el Comité Nacional Francés para las Investigaciones Médicas.

Protocolo Experimental

El VO_{2max}, la MAS y el umbral del lactato (LT) fueron determinados en una sesión de evaluación preliminar por medio de un protocolo de ejercicio progresivo en cinta rodante (Gymrol 1800). La velocidad inicial se fijó en 12 km h^{-1} (pendiente 0%) y aumentó 2 km h^{-1} cada 3 min hasta alcanzar el 80% de la velocidad del corredor durante una carrera de 3 km y a partir de allí 1 km h^{-1}. En los últimos 30 s de cada trabajo, se obtuvo una muestra de sangre de la yema de los dedos que se utilizó para determinar la concentración de lactato (*Bioblock*). Luego se midió T_{LIM} en MAS en la cinta rodante en dos ocasiones separadas por 1 semana. Luego de un período de entrada en calor de 20 min a 60% de MAS, la velocidad se incrementó rápidamente (menos de 20 s) hasta alcanzar MAS y se animó verbalmente al sujeto para que corriera hasta el agotamiento. Se realizó el cálculo de VO_2 y VCO_2 cada 15 s (Jaegger Eosprint). También se monitoreó la frecuencia cardíaca (HR) (Electrocardioscopio de Siemens) y se registró (*Sportester PE 3000*) a lo largo de cada test. El criterio usado para VO_{2max} fue la presencia de un *plateau* en VO_2 a pesar de un aumento en la velocidad de carrera; una tasa intercambio respiratorio por encima de 1,1; HR por encima de 90% de la HR máxima estimada (1). La MAS se define como la menor velocidad de carrera que permite alcanzar un VO_2 igual al VO_{2max}. Para determinar el umbral del lactato (LT), dos investigadores analizaron independientemente la relación entre la concentración del lactato sanguíneo. El LT se definió como el valor que correspondía a una aceleración marcada en la curva del lactato en alrededor de 3,5 mM (2). La economía de carrera (RE) se expresó como el costo de oxígeno de correr a 16 km h^{-1} y se expresó en ml kg^{-1} min^{-1} (8). Finalmente, las velocidades medias sostenidas durante los 3000 m y 21 km se expresaron en km.h^{-1} y % MAS.

***Tabla 1**. T_{LIM} en MAS o cerca de MÁS en los estudios anteriores.*

% MAS	T_{LIM}	Sujetos	Ergometría	Autor
90	20min	Varones entrenados	Bicicleta	McLellan and Skinner (16)
90	18 min 51 s	Varones entrenados	Pista	Ramsbottom et al. (25)
90	21 min 48 s	Varones entrenados	Pista	Ramsbottom et al. (25)
93	7 min 16 s	Varones desentrenados	Cinta rodante	Pepper et al. (22)
95	11 min	Varones entrenados	Bicicleta	McLellan and Skinner (16)
95	9 min	Varones desentrenados	Cinta rodante	Brigos(5)
96	8 min 19 s	Varones desentrenados	Bicicleta	Housh et al. (13)
100	5 min 40 s	Varones desentrenados y entrenados	Bicicleta	McLellan and Cneung (17)
100	6 min 27 s	Varones entrenados	Cinta rodante	Biliat et al. (4)
100	10 min	Varones entrenados	Bicicleta	McLellan and Skinner (16)
100	5 min	Varones entrenados	Bicicleta	Lavoie and Merder (15)
100	10 min	Varones desentrenados	Bicicleta	GteserandVogel (11)
105	4 min 58 s	Varones entrenados	Pista	Padilla et al. (21)
105	4 min 50 s	Varones entrenados	Cinta rodante	Camus et al. (7)

Análisis Estadísticos

Los datos se presentan en forma de media y desviación estándar (SD). Las medias se compararon por medio del *Test t* de Student para datos apareados con un nivel de confianza de 5%.

RESULTADOS

La Tabla 2 presenta los valores de VO_{2max}, MAS y LT, expresados en km h^{-1} y % VO_{2max} determinados en los ocho sujetos.

El VO_2 y la frecuencia cardíaca (HR) alcanzados durante los dos tests de carrera hasta el agotamiento (68,6 contra 69,5 ml kg^{-1} min^{-1}, y 187 contra 189 lpm), y las concentraciones finales de lactato sanguíneo (8,3 contra 8,7 mM) no fueron significativamente diferentes de los valores correspondientes observados al final del test máximo progresivo para medir VO_{2max} (69,2 ml kg^{-1} min^{-1}, 190 lpm y 9 mM, respectivamente). Los tiempos de ejercicio hasta el agotamiento no fueron significativamente diferentes en el primer y segundo test (6 min 44 s 1 min 41 s contra 6 min 42 s 1 min 53 s) y se correlacionaron significativamente (r=0,864) (Figura 1). En la Tabla 3 se presentan los coeficientes de correlación calculados entre T_{LIM} y 1) las características bioenergéticas de los corredores, y 2) la velocidad de carrera mantenida durante las carreras de 3000-m y de media-maratón para los ocho corredores. Sólo se observó un coeficiente de correlación significativo entre T_{LIM} y el LT expresados en VO_{2max} (r=0,745) (Figura 2) y la velocidad mantenida durante una carrera de 21,1 km expresada en km h^{-1} (r=0,719) (Figura 3).

Tabla 2. *Datos individuales. V@21,1= velocidad en la carrera de 21,1 km; v@3000= velocidad en la carrera de 3000 m.*

Sujeto	VO2max (ml min^{-1} kg^{-1})	MAS (km h^{-1})	RE ml kg^{-1} min^{-1}a 16 km h^{-1}	LT km h^{-1}	LT %VO_{2max}	V@21,1km (km h^{-1})	V@21,1km% MAS	V@3000m (km h^{-1})	V@3000m %VO_{2max}	Tlim 1 (s)	Tlim (s)
1	65,0	20,5	44,8	16,8	81,9	19,16	93,5	21,32	104,0	436	347
2	74,2	23,5	46,9	16,5	70,2	173	74,0	20,58	87,6	262	295
3	67,2	20,5	44,8	16,5	80,5	16,89	82,4	18,61	90,8	293	314
4	74,3	20,0	56,0	15,5	77,5	17,8	89,0	20,44	102,2	398	386
5	69,5	21,0	53,3	17,9	85,1	18,27	87,0	21,48	102,3	422	349
6	64,0	21,0	39,4	16,5	78,6	17,85	85,0	2028	96,6	395	387
7	74,6	21,5	45,3	18,5	86,0	18,49	86,0	21,50	100,0	598	632
8	68,1	22,0	43,7	17,2	78,1	18,26	83,0	20,98	95,4	428	510
Media	69,6	21,25	46,8	16,9	79,7	18,00	85,0	20,60	97,3	404	402
SD	4,2	1,10	5,3	0,9	5,0	0,70	5,7	0,90	5,9	101	113

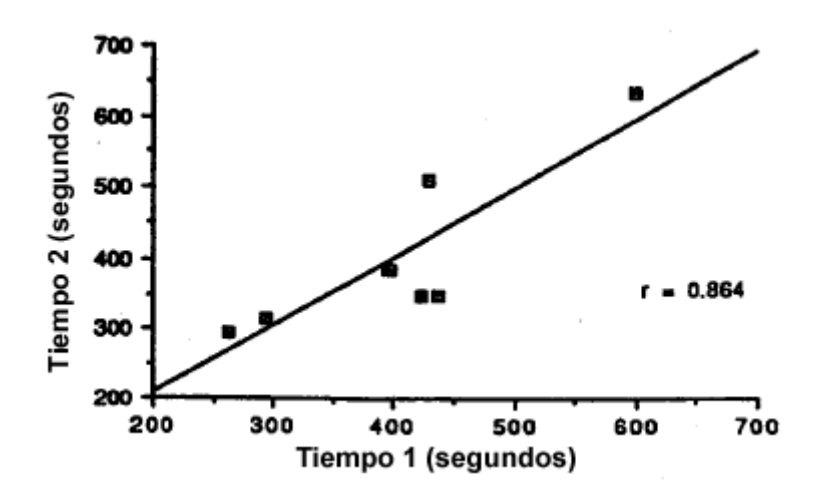

Figura 1. *Relación entre T_{LIM} en MAS durante la primera y segunda semana.*

Tabla 3. *Coeficientes de correlación (r) entre Tlim, características bioenergéticas y rendimiento (N = 8).*

	r	p
VO_{2max} (ml kg^{-1} min^{-1})	0,138	0,744
MAS (km h^{-1})	0,241	0,565
RE (ml kg^{-1} min^{-1} en 16 km h^{-1})	0,024	0,954
LT (km h^{-1})	0,671	0,068
LT(%VO_{2max})	0,745	0,033
Velocidad @ 3000m (km h^{-1})	0,667	0,070
Velocidad @ 3000m (%MAS)	0,685	0,061
Velocidad @ 21,1 km (km h^{-1})	0,719	0,045
Velocidad @ 21,1 km (%MAS)	0,566	0,143

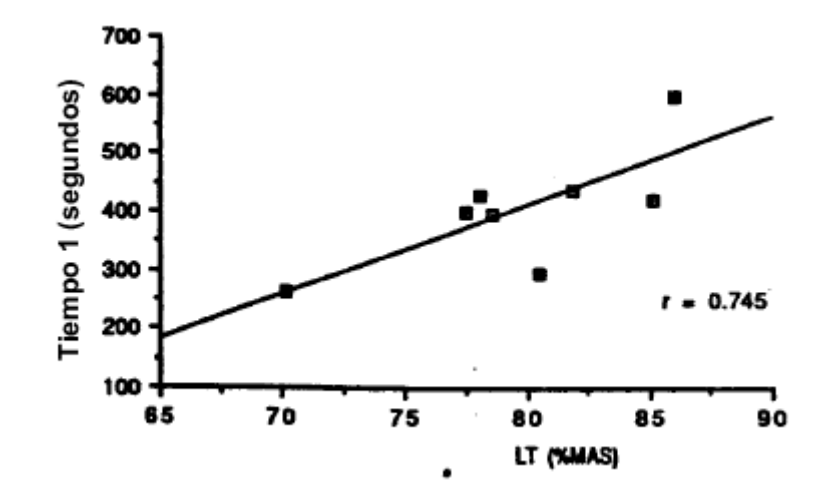

Figura 2. *Relación entre T_{LIM} y el umbral del lactato (%MAS).*

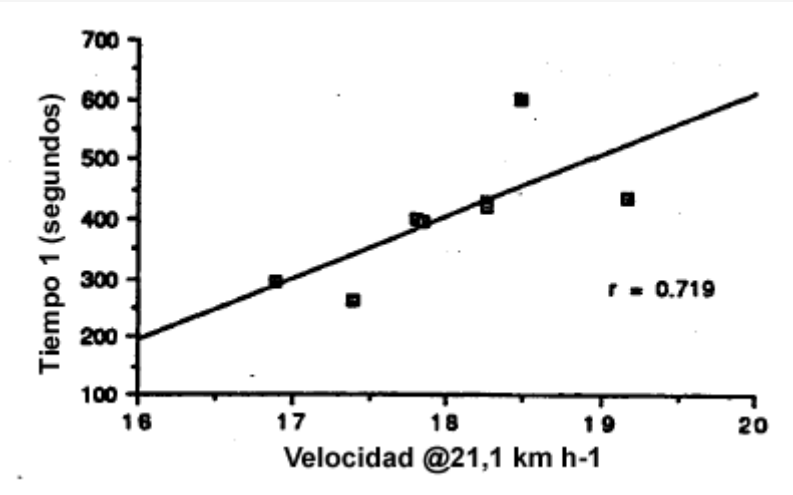

Figura 3. *Relación entre T_{LIM} y la velocidad durante la carrera de 21,1 km (km h^{-1}).*

DISCUSIÓN

El hallazgo principal de este estudio fue que se puede reproducir la medición de T_{LIM} en MAS en un laboratorio en un grupo de corredores sub-elite en intervalos de 1 semana. Sin embargo, aunque los valores medios determinados son muy parecidos (sólo una diferencia de 2 s) y el coeficiente de correlación fue moderadamente alto (r=0,864), el análisis de la Tabla 2 y de la Figura 1 revela diferencias sustanciales entre los datos individuales de los dos tests: la diferencia promedio absoluta fue 44 s o aproximadamente 10% del valor de T_{LIM}, y en tres de los ocho sujetos esta diferencia superó los 60 s. Estas observaciones sugieren que la medición de T_{LIM} en MAS en el laboratorio puede ser confiable en un grupo de sujetos y que el valor promedio puede ser utilizado para estudiar los efectos del entrenamiento, la puesta a punto y/o diferentes procedimientos de entrada en calor en un grupo de corredores. En contraste, la gran variación de los resultados obtenidos para un determinado sujeto indica que la medición de cambios en T_{LIM} en MAS probablemente no es sensible para prescribir y supervisar el programa de entrenamiento de un atleta individual.

El valor promedio obtenido de Tlim en MAS en el estudio presente coincide con los valores informados en otros estudios previamente (11, 16, 17, 21) (ver Tabla 1). Tal como sugerimos previamente (4, 10, 15, 17, 21) también se observó una gran dispersión de los datos alrededor del valor promedio: rango 2 min 30 s a 11 min 30 s, coeficiente de variación = 25%.

El coeficiente de correlación calculado (Tabla 3) demuestra que T_{LIM} en MAS no se relacionó con el VO_{2max} ni con MAS, pero si se relacionó con la velocidad en 21,1 km (km h^{-1}) y con el umbral del lactato expresado en % de VO_{2max}. Los sujetos que pudieron mantener la MAS durante un período más largo de tiempo fueron también los que presentaron un marcado aumento en la concentración de lactato en una fase más tardía del test de ejercicio progresivo y los que corrieron mas rápido la carrera de 21,1 km. Estos resultados son consistentes con la observación realizada en otros estudios que el umbral del lactato, expresado en % de VO_{2max}, está estrechamente relacionado con el rendimiento de carrera (9, 26). Finalmente, debemos destacar que la muestra de corredores investigada en el estudio presente era muy homogénea. No podemos descartar que en una muestra más amplia de corredores, el T_{LIM} en MAS pueda estar relacionado con otras características bioenergéticas.

Este estudio fue financiado por subsidios de Caisse Céntrale des Activités Sociale de Electricite De France and Gaz De Franca, Francia.

Dirección de contacto: Véronique Billat, Laboratoire Sciences et Técniques des Activités Physjques Sportives, Université París XII, 61 Avenue du General Lederc, F-94010 Créteil cedex. Francia.

REFERENCIAS

1. Astrand P., O. and I. Ryhming. (1954). A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during sub-maximal work. *J. Appl. Physiol. 7:218-222.*
2. Aunóla, S. and H. Rusko. (1984). Reproducibility of aerobic and anaerobic thresholds in 20-30 year old men. *Eur. J. Appl Physiol. 53:260-266.*
3. Aunóla, S., E. Alanen, J. Marntemi, and H. Rusko. (1990). The relation between cycling time to exhaustion to anaerobic threshold. *Ergonomics. 33:1027-1042.*
4. Billat, V, C Hauter, J. P. Blanchi, J. Pinoteau, and J. P. Koralsztein. (1991). Evolution des paramétres cinématíques et bioénergétíques de la course au cours d'une épreuve de temps limite á vitesse maximale aérobie. *Innovation and Technology in Biology and Medicine 12:89-97.*
5. Briggs C. A. (1977). Maximum aerobic power and endurance as predictor of middle distance running success. *Aus. J. Sports Med. 9:28-31.*
6. Busso T., C Carasso and J. R. Lacour. (1991). Adequacy of a systems structure in the modeiing of training effects on performance. *J. Appl. Physiol. 71:2044-2049.*
7. Camus G., J., Juchnes H. Thys and A. Fossion. (1988). Relation entre le temps limite et la consommation maximale d'oxygene dans la course supramaximale. *J. Physiol. París 83: 26-3.*
8. Conley D. L., G. S. Krahenbuhl. (1980). Running economy and distance running perfomance of highly trained athlete. *Med. Sci. Sports Exerc. 12:357-360.*
9. Costill D. L. (1976). The relation between selected physiological variables and distance running performance. *J. Sports Med. Phys. Fitness 7:61-66.*
10. Fitz-Clarke J. R., R. H. Morton and E. W. Banister (1991). Optimizing athletic performance by influence curves. *J. Appl. Physiol. 71:1151-1158.*
11. Gleser M. A. and J. A. Vogel. (1973). Endurance capacity for prolonged exercise on the bicycle crgometer. *J. AppL PhysioL*

34:438-442,.
12. Hill A. V. (1927). Muscular Movement in Man. *New York: McGraw-Hill.*
13. Housh D. J., T. J. Housh and S. M. Bauge. (1989). The accuracy of critical power test for predicting time to exhaustion during cycle ergometry. *Ergonomics 32:997-1004.*
14. Lacour J. R., S. Padilla-Magunacelaya, J. C. Chatard, L. Arsac and J. C Barthelemy. (1991). Assessment of running velocity at maximal oxygen uptake. *Eur. J. Appl. Physiol. 62:77-82.*
15. Lavoie, N. F. and T. H. Mercier. (1987). Incremental and constant load determinations of VO2max and maximal constant load performance time. *Can. J. Appl. Sports Sci. 12:229-232.*
16. McLeuan, T. M. and J. S. Skinner (1985). Submaximal endurance performance related to the ventilatory thresholds. *Can. J. Appl. Sports Sci., 10:81-87.*
17. McLellan T. M. and S. Y. Cheung. (1992). A comparative evaluation of the individual anaerobic threshold and the critical power. *Med. Sci. Sports Exerc. 24:543-550.*
18. Monod H. and J. Scherrer. (1965). The work capacity of synergy muscular groups. *Ergonomics 8:329-338.*
19. Morttani, T., A. Nagata, H. A. De Vries, and M. Muro. (1981). Criticall power as a measure of physical working capacity and anaerobic threshold. *Ergonomics 24:339-350.*
20. Morton, R. H., J. R. Fitz-Clarke, And E. W. (1990). Banister, Modeling human performance in running. *J. Appl. Physiol. 69:1171-1177,*
21. Padilla, S., M. Bourdin, J. C Barthelemy, and J. R. Lacour. (1992). Physiological correlates of middle-distance running performance. *Eur. J. Appl. Physiol. 65:561-566..*
22. Pepper M. L, T. J. Housh and G. O. Johnson. (1992). The accuracy of the critical velocity test for predicting time to exhaustion during treadmill running. *Int. J. Sports Med. 2:121-124,.*
23. Peronnet F., G. Thibault E. C Rhodes and D. C Mckenzie. (1987). Correlation between ventilatory threshold and endurance capability in marathon runners. *Med. Sci. Sports Exerc. 6:610-615.*
24. Poole D. C, S. A. Ward G. W. Garoner and B. J. Whipp. (1988). Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics 31:1265-1279.*
25. Ramsbottom R., C. Williams D. G. Kerwin and M. L. G. Nute. (1992). Physiological and metabolic responses of men and women to 5-km treadmill tune trial. *J. Sports Sci. 10:119-129.*
26. Sjódin B. and J. Svedenhag. (1985). Applied physiology of marathon running. *Sports Med. 2:83-89.*

Cita Original

Billat V., Renoux J., Pinoteau J., Petit B. and Koralsztein J.P. (1994). Reproducibiiity of Running Time uo Exhaustion at VO2max in Subelite Runners. Med. Sci. Sports Exerc. Vol. 26, No. 2, pp. 254-257.