

¿PUEDE LA INFUSIÓN DE SUERO MEJORAR LA ECONOMÍA DE CARRERA?

DOES PLASMA INFUSION IMPROVE RUNNING ECONOMY?

R E S U M E N

Objetivo: El estudio valoró el efecto de la infusión de suero en la economía de carrera de 14 atletas de nivel nacional (VO_2 max de 67 mL/kg/min, marcas en 800/1500/3000/5000 de 1:56/3:57/8:49/15:11). Se hicieron dos pruebas incrementales hasta la extenuación tanto en condición normal (N) como tras la infusión de 500 ml de suero salino fisiológico (S), la mitad de ellos en cada orden de pruebas.

Resultados: No se observaron diferencias entre N y S en el VO_2 max. Hubieron mejoras en S en la velocidad máxima ($p < 0,005$), sin haber efecto del orden ($p > 0,05$). Se hallaron 5 pulsaciones menos en la frecuencia cardiaca máxima en S ($p < 0,005$).

Se encontró menor VO_2 en la prueba S a la velocidad del VO_2 max en N ($p < 0,01$). También se halló menor VO_2 en S a la velocidad de VT2 en N ($p < 0,05$). Se halló un menor VO_2 medio de alrededor de 200 ml en el rango de velocidades comunes, habiendo unos sujetos con mucho efecto y otros con poco. Todos estos datos se relacionaron con el orden de las pruebas (S+N o N+S) ($p < 0,05$). El grupo de < 200 ml de diferencia media realizaba mayor kilometraje semanal ($p < 0,05$). Se encontró una tendencia a mayor kilometraje en los atletas que realizaron las pruebas en el orden S+N aunque sin llegar a significación estadística ($p = 0,08$).

Discusión: Esto podría explicar el indicado "efecto del orden" en el resto de variables. Se indica una explicación fisiológica (mayor uso de unidades motoras tipo I) y otra biomecánica (mayor rigidez muscular de las piernas) como hipotéticas causas.

Conclusión: La infusión de suero mejora la economía de carrera en corredores de alto nivel, permitiendo alcanzar velocidades superiores con el mismo gasto energético, sin poder precisarse los motivos, y siendo necesario discriminar a los corredores según su volumen de entrenamiento en relación al efecto que pueda producir el suero.

Palabras clave: Economía de carrera. Hipervolemia. Rendimiento.

S U M M A R Y

Purpose: To determine whether saline serum infusion (500ml) improves running economy, the present study evaluated 14 highly trained athletes (VO_2 max 67 mL/kg/min, personal bests in 800/1500/3000/5000 around 1:56/3:57/8:49/15:11).

Method: They performed two progressive tests until exhaustion in normal (N) and serum-infused conditions (S), half of them being first in every condition.

Results: There were no statistical differences between S and N in VO_2 max ($p > 0,05$). Maximal speed achieved was improved in S ($p < 0,005$), without order effect ($p > 0,05$). There were 5 beats per minute less in maximal heart rate in S ($p < 0,005$).

There was less VO_2 in S at the VO_2 max speed in N test ($p < 0,01$). There was also less VO_2 in S at the VT2 speed in N test ($p < 0,05$). There was an average VO_2 of 200 ml in the range of common speeds for all athletes. All these parameters showed an "order effect" (S+N or N+S) ($p < 0,05$). There were athletes with great and others with few improvement effect in running economy.

The average difference group of > 200 ml had less training volume (kilometres per week) than the < 200 ml group ($p < 0,05$).

Discussion: There was a tendency to higher volume in the athletes with the order S+N although not reaching statistical significance ($p = 0,08$). This could explain the "order effect" seen in the rest of parameters. To explain these results several hypothesis as muscle fiber recruitment and leg stiffness are discussed.

Conclusion: The 500 ml serum infusion improves running economy in high-level runners, who are able to achieve higher speeds with the same energy cost. Explanation to this remains unknown and it is necessary to discriminate runners in order to their training volume.

Key words: Running economy. Hypervolemia. Performance.

Jonathan Esteve

Luis M. López-Mojares

Alejandro F. San Juan

Universidad Europea de Madrid

CORRESPONDENCIA:

Jonathan Esteve. Universidad Europea de Madrid. Tajo, s/n. 28670 Villaviciosa de Odón. Madrid.

Aceptado: 24-03-2004 / Original nº 485

INTRODUCCIÓN

Los efectos del incremento de volumen sanguíneo en el rendimiento deportivo han sido objeto de estudio desde hace más de 50 años¹⁻⁴. En numerosas ocasiones se ha descrito que la hipervolemia *per se* supone una ventaja cardiovascular, de acuerdo con la ley de Frank-Starling, traducida en un incremento del volumen sistólico^{5,6} y descenso de la frecuencia cardíaca para una misma intensidad⁷⁻¹⁴. Pero también es lógico que si el incremento de volumen plasmático provoca una hemodilución excesiva ello reduce la concentración de hemoglobina, lo cual puede comprometer la diferencia arterio-venosa de oxígeno, y con ello la posibilidad de consumo de oxígeno. Los diversos estudios parecen indicar que debe de haber un volumen óptimo de expansión de plasma por encima del cual el incremento del volumen sistólico se ve compensado con la hemodilución y con ello el VO₂ max no se ve mejorado¹⁵⁻¹⁸. La conclusión de sus trabajos es que la infusión de 200-300 ml de plasma incrementaba el volumen plasmático en un 10-15% causando sólo una hemodilución de la concentración de hemoglobina del 4%, mientras que el incremento de 400 ml comporta un 11% de mejora del volumen sistólico con un 6% de hemodilución, y 600 ml de plasma comportarían una excesiva hemodilución de más del 11%, lo que no permitiría mejoras del VO₂ max. Esta hemodilución fue la registrada en el trabajo con deportistas de mayor nivel realizado hasta el momento, en el que Warburton, *et al.*¹⁹ no vieron mejoras ni del VO₂ max ni del rendimiento

en tiempo límite en ciclistas con un VO₂ max alrededor de los 69 ml/kg/min.

Probablemente el trabajo que ha obtenido mejores resultados ha sido el de Luetkemeier y Thomas²⁰, observando que tanto la hipervolemia inducida por el ejercicio como la conseguida por expansores de plasma (327 y 368 ml respectivamente) permitía mejorar el tiempo de esfuerzo límite a intensidad prefijada alrededor de 90 min respecto a las condiciones de normovolemia.

Uno de los factores determinantes del rendimiento en el deporte de resistencia es la economía de gesto, definida como el consumo de oxígeno (VO₂) a una intensidad determinada. Las formas de mejorar dicha economía pasan por la mejora de la técnica, el reclutamiento de unidades motoras más eficientes (tipo I), los materiales, la aerodinámica, la psicología (relajación) y el entrenamiento, puesto que otros condicionantes como los antropométricos, biológicos o ambientales son difícilmente modificables a excepción del peso corporal²¹.

Dado que hasta el momento se ha prestado poca atención tanto al ejercicio en hipervolemia en carrera por una parte, como al estudio de atletas de elite, así como a la valoración de otros aspectos más allá del VO₂ max o pruebas de tiempo límite, el presente estudio se diseñó con ánimo de seguir investigando nuevas formas de mejora de la economía de carrera, observando la repercusión del incremento de volumen plasmático en su economía de carrera.

	X	SD
Edad (años)	23,9	3,8
Peso (kg)	68,2	5,1
Talla (cm)	177,0	4,4
IMC (kg/m ²)	21,7	1,2
%graso	11,2	0,8
VO ₂ máx (ml/kg/min)	67,5	6,0
VO ₂ máx (L/min)	4,6	0,4
MP 800 m*	1:56	0:02
MP 1500 m*	3:57	0:07
MP 3000 m*	8:49	0:20
MP 5000 m*	15:11	0:36

TABLA 1.-
Características
de la muestra
del estudio

IMC: Índice de Masa Corporal; MP: Marca Personal en la distancia; *No todos los atletas tenían MP en todas las distancias

MATERIAL Y MÉTODO

Sujetos

Catorce atletas de nivel nacional completaron el estudio. Fueron seleccionados por su semejanza en niveles de rendimiento y/o programaciones de entrenamiento. Previamente a la primera de las pruebas los sujetos plasmaron su consentimiento por escrito, y se les realizó un electrocardiograma de reposo (Burdick Inc. Quest.

Milton, USA). También fueron medidos sus pliegues grasos, altura y peso. La Tabla 1 muestra los valores medios (\pm SD) de edad, peso, talla, índice de masa corporal (IMC), VO_2 máx y marca personal en 800, 1500 y 5000 m. (Algunas de estas marcas muy recientes respecto al momento de valoración).

Protocolo

El estudio se desarrolló en el laboratorio de Fisiología del Ejercicio de la Universidad Europea de Madrid. Los sujetos acudieron al laboratorio en dos días distintos en el plazo de una semana. En ambas ocasiones realizaron una prueba incremental hasta la extenuación en tapiz rodante (Technogym Run Race 1400 HC, Gambettola, ITA), desde 11 km/h y con un incremento en rampa de la velocidad, a razón de 0,5 km/h cada 30 s. La pendiente se mantuvo constante al 0% durante la totalidad de la prueba.

En una de las pruebas (para la mitad del grupo fue la primera y para la otra mitad la segunda, respectivamente) se les inyectó previamente en la vena antecubital en posición de tendido supino 500 ml de suero salino fisiológico (0,9g sodio cloruro) (Grifols, Barcelona, España). Inmediatamente realizada la infusión, los sujetos iniciaban la prueba de esfuerzo. Previamente a ambas pruebas (con o sin infusión de suero), los sujetos realizaban un calentamiento de 15 min a 11 km/h, seguidos de estiramientos estáticos realizados libremente (duración: 10 min) y varios intentos de entrada y salida del tapiz a la velocidad inicial. Acto seguido, en el caso de la prueba con suero, se empleaban alrededor de 15' para la infusión, por lo que en la prueba sin suero los sujetos permanecían durante esos minutos en reposo en las mismas condiciones. Durante las pruebas fueron valorados los datos espirométricos por un sistema automático estándar 'respiración a respiración' (Sensormedics MVmax 29C, Sensormedics Corporation, California), que fue calibrado antes de cada una de las pruebas. También se midió continuamente la frecuencia cardiaca de cada sujeto (se recogieron las medias de cada

5s) con un monitor de ritmo cardiaco Polar Accurex Plus (Polar Electro Oy, Kempele 90440, Finlandia). Los criterios de maximalidad de la prueba en fueron: meseta en el de VO_2 (ver más abajo), $RER > 1.1$ y frecuencia cardiaca teórica máxima a partir de la fórmula de Tanaka, *et al.*²². La determinación de los parámetros espirométricos se estableció a partir de la media de los valores cada 30 s, considerándose para el VO_2 max el inicio de meseta el punto en el cual el aumento del VO_2 era nulo o inferior a 150 ml en dos estadios sucesivos²³, y determinándose también los umbrales ventilatorios (VT1 y VT2) en cada condición de acuerdo a los criterios de Davis²⁴. Se determinaron así unos valores de grupo S (con suero) y N (normal), aplicándose para la obtención de datos tratamientos con pruebas *t* de Student para datos pareados o para muestras independientes con el programa estadístico SPSS 9.0.

RESULTADOS

La asignación al azar del orden no estaba condicionada por el mejor nivel de VO_2 max de unos sujetos en el grupo con un orden concreto dado que tanto el VO_2 max en condición normal (N) como en la experimental con suero (S) no mostraron diferencias significativas respecto al orden y el nivel de los grupos tras aplicar una prueba *t* de Student para muestras independientes, siendo la variable independiente el orden de pruebas (S + N o N + S) respecto a cada condición (N y S, $t_{12} = -0,101$; $p > 0,05$ y $t_{12} = 0,499$; $p > 0,05$).

No se observaron diferencias significativas en el VO_2 max absoluto (L/min) (Figura 1) o relativo (ml/kg/min) ($t_{13} = 0,948$; $p > 0,05$ y $t_{13} = 0,959$; $p > 0,05$).

No se hallaron diferencias en la velocidad de VO_2 max respectiva en las pruebas N o S ($t_{13} = -1,375$; $p > 0,05$), aunque sí en la velocidad máxima alcanzada en el test ($t_{13} = -3,663$; $p < 0,005$), siendo mayor para la condición S (22,4 km/h, 2:41 min/km) ($t_{12} = 1,02$; $p > 0,05$; $t_{12} = 0,54$; $p > 0,05$) (Figura 1). También se obtuvie-

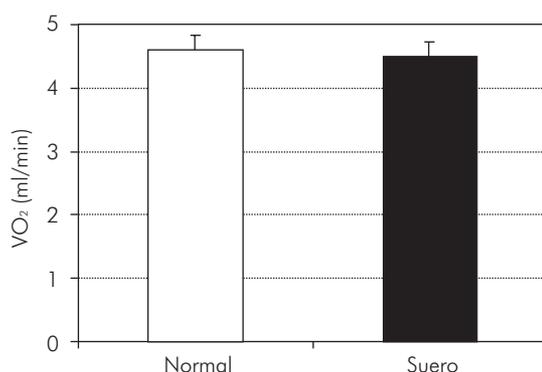


FIGURA 1.-
Resultados de VO₂
max absoluto y
velocidad máxima
completada en las
pruebas N y S

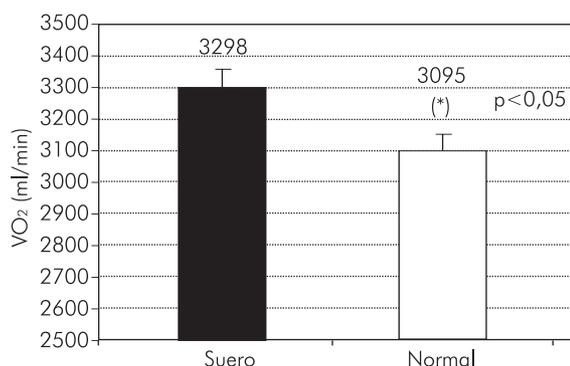
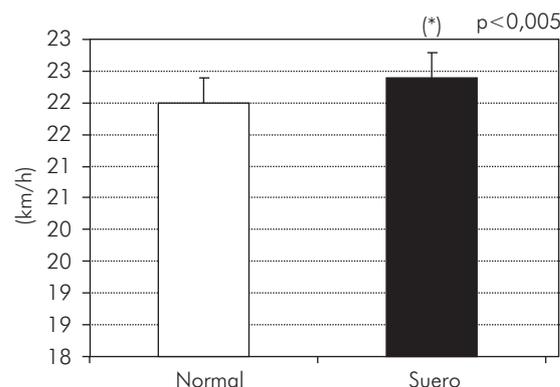


FIGURA 2.-
VO₂ medio de todos
los atletas entre 12
y 19 km/h en cada
condición

ron diferencias significativas de alrededor de 5 lpm menos en la frecuencia cardíaca máxima en S ($t_{13} = 3,375$; $p < 0,005$).

Se encontraron diferencias ($p < 0,01$) a la velocidad del VO₂ max en condición N en cuanto a un menor VO₂ en la prueba S. Esto se vio tanto en VO₂ absoluto como relativo de alrededor de menos de 4 ml/kg/min y 280 ml/min respectivamente ($t_{13} = 3,364$; $p < 0,005$ y $t_{13} = 3,144$; $p < 0,01$) al correr con suero a esa misma velocidad (alrededor de 21,1 km/h, 2:50 min/km). Ambos datos mostraron diferencias significativas al relacionarse con el factor "orden de las pruebas" (S+N o N+S) al aplicar una prueba *t* de Student para muestras independientes, ($t_{12} = -4,03$; $p < 0,01$ y $t_{11,8} = -3,93$; $p < 0,01$, respectivamente para VO₂ absoluto y relativo).

También se encontraron importantes diferencias de menor VO₂ en el test S a la velocidad de VT2 en condición N (17,6 km/h, 3:25 min/km) tanto en VO₂ absoluto como relativo de alrededor de 3

ml/kg/min y 195 ml/min respectivamente ($t_{13} = 2,463$; $p < 0,05$ y $t_{13} = 2,697$; $p < 0,01$) sin que dichas mejoras de economía se observaran en los parámetros del VT1. Ambos datos mostraron también relación con el factor "orden de las pruebas" (S+E o N+S) ($t_{12} = -3,25$; $p < 0,01$ y $t_{12} = -2,93$; $p < 0,05$ respectivamente para VO₂ absoluto y relativo a la velocidad de VT2 en condición N).

Comparando el VO₂ medio en el rango de velocidades comunes para todos los atletas (de 11 a 19 km/h), se hallaron diferencias tanto a cada velocidad ($p < 0,05$) como a favor de menor VO₂ medio en S respecto a N ($t_{13} = 3,34$; $p < 0,05$), de alrededor de 200 ml (Figura 2). En dicha diferencia de VO₂ medio se vio nuevamente, sin embargo, efecto del orden ($t_{12} = -2,93$; $p < 0,05$). Los valores de diferencia de VO₂ en todo el rango de velocidades comunes fue distinta entre los atletas, con sujetos mostrando gran efecto y otros apenas nada.

Tomando como referencia esa diferencia media en todas las intensidades comunes (de poco más de 200ml, (Figura 2), se establecieron dos grupos con ánimo de relacionarlos con el efecto del orden y variables de entrenamiento, de cara a esclarecer otra variable que pudiera influir en el efecto "orden de pruebas" anteriormente observado en diversas variables. Se hallaron mayores diferencias en el grupo < 200 ml en todas las intensidades entre 12 y 19 km/h ($p < 0,05$) (Figuras 3 y 4).

Se encontró relación entre el grupo de diferencia media (< 200 o > 200 ml) y el kilometraje

medio semanal de las últimas 8 semanas previo a la primera prueba ($t_{10,6} = -2,03$; $p < 0,05$) siendo mayor en el grupo de $< 200\text{ml}$ ($75,4 \text{ kms} \pm 15,2$ frente a $60,7 \text{ kms} \pm 11,4$) (Figura 5). Por último, comparando el orden de pruebas con el kilometraje semanal medio, se encontró una tendencia a mayor kilometraje en los atletas que realizaron las pruebas en orden S+N ($75,1 \text{ kms} \pm 16,3$ frente a $63,6 \text{ kms} \pm 12,4$), aunque sin llegar a significación estadística ($t_{11,9} = 1,49$; $p = 0,08$) (Figura 5).

DISCUSIÓN

Este es el primer estudio que ha hallado una posible mejora significativa en la economía de carrera fruto de la infusión de suero. Autores como Coyle et al en 1986 y 1990^{17,15}, o Luetkemeier y Thomas (1994)²⁰, hallaron mejoras en el rendimiento en tiempo límite y mejoras en el $\text{VO}_2 \text{ max}$ utilizando expansores del plasma. A nuestro entender, el único trabajo publicado en carrera (en ese caso desentrenados, 7) encontró mejoras, aparte del $\text{VO}_2 \text{ max}$, en el tiempo límite en una prueba incremental escalonada. Nuestra muestra de corredores, a diferencia de la de Coyle, se caracterizaba por ser de mayor nivel, con valores medios de $\text{VO}_2 \text{ max}$ de $67,5 \text{ ml/kg/min}$. Semejantes valores mostraron los ciclistas de Warburton, et al.¹⁹, en el trabajo previo realizado con deportistas de mayor nivel, en que no se obtuvieron mejoras.

La novedad de los resultados es indudable, si bien se debe guardar cierta cautela por el efecto

que tuvo el factor "orden de pruebas". Éste resultó estar relacionado en diversas variables relacionadas con la economía, no así con la velocidad máxima desarrollada. Se podría pensar por ello que parte de los resultados obtenidos están influidos por el hecho de que los sujetos que realizaron la prueba con suero en segundo lugar hubieran notado grandes mejoras fruto del "efecto de aprendizaje" de la prime-

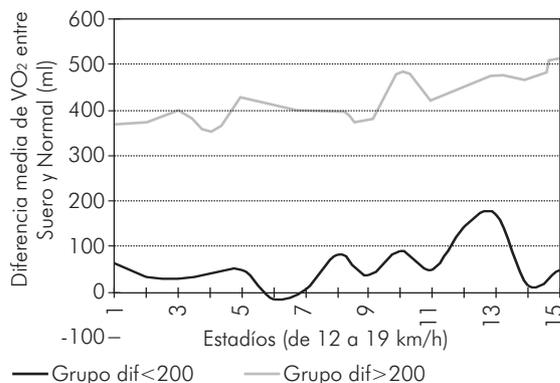


FIGURA 3.- Diferencias de VO_2 medio de todos los atletas entre 12 y 19 km/h en cada condición por grupos $< >$ de 200 ml de diferencias media

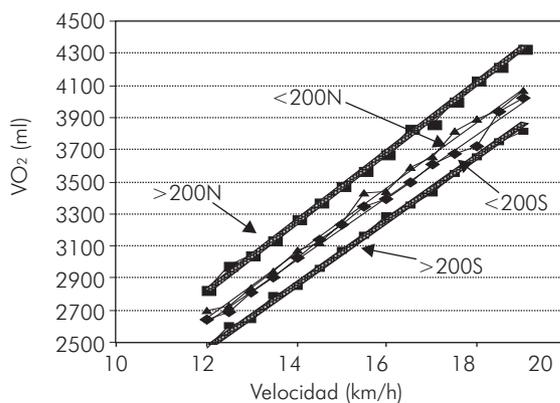


FIGURA 4.- Regresión de VO_2 medio de todos los atletas entre 12 y 19 km/h en cada condición por grupos $< >$ de 200 ml de diferencias media

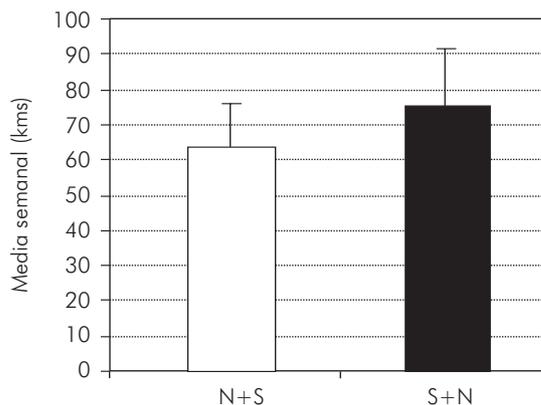
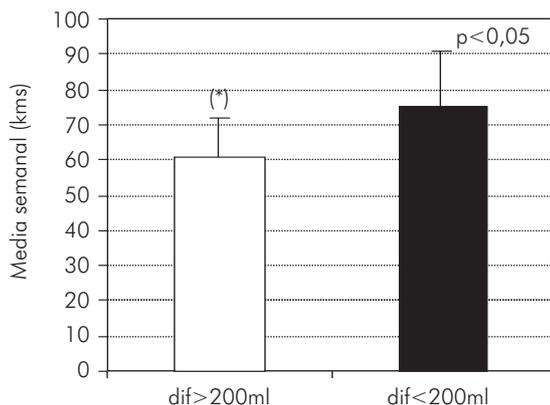


FIGURA 5.- Diferencias de kilometraje semanal entre los grupos de diferencia media de VO_2 medio entre N y S de $< 200 \text{ ml}$ y $> 200 \text{ ml}$ y entre los grupos según el orden de pruebas N+S y S+N

ra prueba sobre la segunda, o algún aspecto que diferenciase a unos atletas con otros (que no fue el VO_2 max).

Sin embargo, la reproductibilidad de las mediciones de los parámetros ventilatorios ha sido reiteradamente validada desde hace muchos años²⁵⁻²⁸, y las diferencias de VO_2 en el mismo sujeto y para una misma carga de trabajo como las obtenidas tras la infusión de suero, en un orden de magnitud de unos $0.2 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ son demasiado importantes como para deberse a un mero efecto de aprendizaje por el esfuerzo previo más varias sesiones intermedias.

Por otra parte, se observó una relación entre la diferencia media de el VO_2 como > 0 o < 0 de 200 ml con el volumen semanal de kilómetros, habiendo un grupo de corredores con diferencias netamente superiores y otro sin apenas diferencias. Creemos que el posible efecto del orden viene producido por la situación no controlada inicialmente de que los atletas que hicieron la prueba S en primer lugar fueron casi todos los que más kilómetros realizaban en las semanas previas al estudio. Esto puede explicar la paradoja de influencia de ambos factores. No en vano, Scrimgeour, *et al.*²⁹ han valorado que atletas que entrenan menos de 60 kilómetros a la semana (como los de $< 200\text{ml}$ de diferencia de este estudio) tenían una economía peor que los que entrenan entre 60 y 100 (como los de > 200 ml de nuestro estudio), hallando diferencias de hasta un 19% mejores en la economía de los atletas que recorrían más de 100 kilómetros a la semana.

Sin embargo, la explicación a semejante hallazgo se presenta intrigante.

Dos hipótesis podrían explicar semejante coyuntura de resultados significativos y valoraciones pseudo-subjetivas posteriores, ambas basadas en la mayor presencia de flujo sanguíneo en las extremidades inferiores, algo que se presupone como previsible habida cuenta de la diferencia media de 5 pulsaciones por minuto entre la frecuencia cardíaca máxima de ambas pruebas ($p < 0,005$), y de la celeridad con la que se

daba paso a la realización de las pruebas tras la infusión de suero.

Una posible explicación podría ser que el mayor flujo sanguíneo, provocando una mayor presión local, permitiera la mayor llegada del mismo y su utilización en las fibras más aeróbicas. El aspecto más aceptado como posible causa del componente lento del VO_2 es el reclutamiento de unidades motoras tipo II, menos eficientes, que provocan ese "exceso" VO_2 ³⁰, que se intuye no producido en el caso de que se utilizaran para la misma generación de tensión las fibras tipo I. Si esto fuera así, los corredores con mayor proporción de esas unidades, como ocurre en corredores de larga distancia, no se verían tan beneficiados. Pese a que no hayamos medido el componente lento, la diferencia de mejora según los kilómetros realizados puede estar relacionada, de modo que parece que los corredores más "fondistas" tendrían menor efecto y los corredores más "mediodondistas" se habrían beneficiado en mayor medida.

Por otra parte, en la carrera, la llamada "stiffness" o capacidad de rigidez del miembro inferior en el momento del apoyo conferiría una ventaja mecánica, traducida en ahorro energético, de modo que el sistema de músculo-tendón y ligamentos del miembro inferior actuarían como un muelle, en el que los tensores son los músculos y los muelles propiamente los tendones³¹. Diversos trabajos han relacionado la mayor economía en corredores con la mayor rigidez³²⁻³⁴, de modo que tanto ésta como el mayor número de kilómetros²⁹ profieren una mayor economía y por tanto podrían estar relacionados. Si ese mayor flujo sanguíneo (500 ml) no se pierde por sudor u orina (como no parece el caso) se entiende que acudiría fundamentalmente a los miembros inferiores, como respuesta natural de la regulación de la volemia, y podría así producir una mayor presión intramuscular en dichos miembros y con ello una mayor rigidez. En la carrera a altas velocidades y en sprint, se ha indicado que la posibilidad de correr más rápido se consigue por generar mayor potencia en el apoyo y no por mover más rápidamente las piernas³⁵. Farley y

González³⁶ concluyeron en uno de sus trabajos que el factor más importante para adaptar la carrera a las altas frecuencias de ciclo era la capacidad de dotar de mayor rigidez al miembro inferior. El mismo concepto se indica en otro trabajo reciente en carga constante hasta la extenuación³⁷. Según esta hipótesis también obtendría mayores beneficios el mediodondista que el fondista. Además, podría explicar así mismo porqué en el resto de trabajos hasta la fecha, en su gran mayoría en bicicleta a excepción del de

Coyle, *et al.*¹⁵, en los que no han medido o no han encontrado dichas ventajas, quizá por ser un gesto predominantemente concéntrico.

AGRADECIMIENTOS

Por antonomasia a todos los sujetos por su generosidad agonista. A Margarita Pérez, Alejandro Lucía y Maribel Barriopedro por su guía y colaboración en el trabajo.

B I B L I O G R A F I A

1. Kjellberg SR, Rudhe U, Sjostrand T. Increase of the amount of hemoglobin and blood volume in connection with physical training. *Acta Physiol Scand* 1949;19:146-51.
2. Ekblom B, Goldbarg AN, Gullberg B. Response to exercise after blood loss and reinfusion. *J Appl Physiol* 1972;33:175-80.
3. Ekblom B, Wilson G, Astrand PO. Central circulation during exercise after venesection and reinfusion of red blood cells. *J Appl Physiol* 1976;40:379-83.
4. Spriet L, Gledhill N, Froese AB, Wilkes DL. Effect of graded erythrocythemia on cardiovascular and metabolic responses to exercise. *J Appl Physiol* 1986;61:1942-8.
5. Frick MH, Sjogren AL, Persalo J, Pajunen S. Cardiovascular dimensions and moderate physical training in young men. *J Appl Physiol* 1970;29:452-5.
6. Green HJ, Jones LL, Painter Dc. Effects of short-term training on cardiac function during prolonged exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1990;22:488-93.
7. Bass DE, Kleeman CR, Quinn M, Henschel A, Hegnauer H. Mechanisms of acclimatization to heat in man. *Medicine* 1955;34:323-80.
8. Bass DE, Burkirk ER, Iampietro PF, Mager M. Comparison of blood volume during physical conditioning, heat acclimatization, and sedentary living. *J Appl Physiol* 1958; 12:186-8.
9. Wyndham CH, Benade AJA, Williams CG, Strydom NB, Goldin A, Heyns AJA. Changes in central circulation and body fluid spaces during acclimatization to heat. *J Appl Physiol* 1968;25:586-93.
10. Wyndham CH, Rogers GG, Senay LC, Mitchell D. Acclimatization in a hot humid environment: cardiovascular adjustments. *J Appl Physiol* 1976;40:779-85.
11. Convertino VA, Greenleaf JE, Bernauer EM. Role of thermal and exercise factors in the mechanism of hypervolemia. *J Appl Physiol* 1980a;48:657-64.
12. Convertino VA, Brock PJ, Keil LC, Bernauer EM, Greenleaf JE. Exercise-training induced hypervolemia: role of plasma albumin, renin, and vasopressin. *J Appl Physiol* 1980b;48: 665-9.
13. Convertino VA, Keil LC, Greenleaf JE. Plasma volume, renin and vasopressin responses to graded exercise after training. *J Appl Physiol* 1983;54:508-14.
14. Sawka MN, Hubbard RW, Francesconi RP, Hortsman DH. Effect of acute plasma volume expansion on altering exercise-heat performance. *Eur J Appl Physiol* 1983; 51:303-12.
15. Coyle EF, Hemmert MK, Coggan AR. Effects of detraining on cardiovascular responses to exercise: the role of blood volume. *J Appl Physiol* 1986;60:95-9.
16. Hopper MK, Coggan AR, Coyle EF. Exercise stroke volume relative to plasma-volume expansion. *J Appl Physiol* 1988; 64:404-8.
17. Coyle EF, Hopper MK, Coggan AR. Maximal oxygen uptake relative to plasma volume expansion. *Int J Sports Med* 1990;11:116-9.
18. Kanstrup IL, Ekblom B. Blood volume and hemoglobin concentration as determinants of maximal aerobic power. *Med Sci Sports Exerc* 1984;16:256-62.
19. Warburton DE, Gledhill N, Jamnik VK, Krip B, Card N. Induced hypervolemia, cardiac function, VO₂max, and performance of elite cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 1999; 31:800-8.
20. Luetkemeier MJ, Thomas EL. Hypervolemia and cycling time trial performance. *Med Sci Sports Exerc* 1994;26:503-9.

21. **Frederick EC.** Economía de movimiento y rendimiento en carrera. En: Shepard RJ, Astrand PO. *La resistencia en el deporte*. Barcelona: Paidotribo, 2000;179-88.
22. **Tanaka H, Monahan KD, Seals DR.** Age-predicted maximal heart-rate revisited. *J Am Coll Cardiol* 2001;37:153-6.
23. **Ferrero JA, Fernández A.** Consumo de oxígeno. En: **Chicarro JL, Fernández A.** (eds) *Fisiología del ejercicio*. Madrid: Panamericana, 1995;209-18.
24. **Davis J.** Anaerobic threshold: a review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc* 1985; 17:6-18.
25. **Edwards AM, Challis NV, Chapman JH, Claxton DB, Fysh ML.** The test-retest reliability of gas exchange kinetics in humans using a pseudorandom binary sequence exercise test. *Eur J Appl Physiol* 2001;85:333-8.
26. **Unnithan VB, Wilson J, Buchanan D, Timmons JA, Paton JY.** Validation of the sensormedics (S2900Z) metabolic cart for pediatric exercise testing. *Can J Appl Physiol* 1994;19:472-9.
27. **Powers SK, Lawler J, Thompson D, Beadle R.** Measurement of oxygen uptake in the non-steady-state. *Aviat Space Environ Med* 1987;58:323-7.
28. **Wasserman K, Whipp BJ.** Breath-by-breath analysis of pulmonary gas exchange and the hyperpnea of exercise under non-steady-state and steady-state conditions. *Chest* 1972;61:Suppl:46S-47S.
29. **Scrimgeour AG, Noakes TD, Adams B, Myburgh K.** The influence of weekly training distance on fractional utilization of maximum aerobic capacity in marathon and ultramarathon runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1986;55:202-9.
30. **Shinoara M, Moritani T.** Increase in neuromuscular activity and oxygen uptake during heavy exercise. *Ann Physiol Anthropol* 1992;11:257-62.
31. **Novachek TF.** The biomechanics of running. *Gait and Posture* 1998;7:77-95.
32. **Jones AM.** Running economy is negatively related to sit-and-reach test performance in international-standard distance runners. *Int J Sports Med* 2002;23:40-3.
33. **Craib MW, Mitchell VA, Fields KB, Cooper TR, Hopewell R, Morgan DW.** The association between flexibility and running economy in sub-elite male distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 1996;28:737-43.
34. **Gleim GW, Stachenfeld NS, Nicholas JA.** The influence of flexibility on the economy of walking and jogging. *J Orthop Res* 1990;8:814-23.
35. **Weyand PG, Sternlight DB, Bellizzi MJ, Wright S.** Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *J Appl Physiol* 2000;89:1991-9.
36. **Farley CT, González O.** Leg stiffness and stride frequency in human running. *J Biomech* 1996;29:181-6.
37. **Dutto DJ, Smith GA.** Changes in spring-mass characteristics during treadmill running to exhaustion. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:1324-31.