

# Condición física y requerimientos metabólicos en maratonianos de montaña de alto nivel

JORGE EGOCHEAGA RODRÍGUEZ

Doctor en Medicina.  
Especialista en Medicina de la  
Educación Física y el Deporte.  
Profesor Asociado de la Universidad  
de Oviedo.

CORRESPONDENCIA:  
C/ Hermanos Pidal 24B, 1º dcha.  
Oviedo 33005.

APUNTS. MEDICINA DE L'ESPORT. 2005; 146: 31-36

**RESUMEN:** Hoy día las carreras de montaña conforman un deporte afianzado, que cuenta con un gran número de participantes y simpatizantes, lo que ha llevado a que se celebren competiciones al más alto nivel, como son Campeonatos nacionales e Internacionales, tipo Copa y Campeonato del Mundo. En nuestro país dicho deporte cuenta con un gran número de adeptos, celebrándose múltiples pruebas a lo largo de nuestra orografía. El maratón Alpino Madrileño es de todas la más reconocida, tanto por su extrema dureza como porque forma parte de las pruebas del calendario de la Copa del Mundo. En el presente trabajo valoramos la condición física de cinco maratonianos de montaña de alto nivel, así como los requerimientos fisiológicos y el nivel de esfuerzo desempeñado en la prueba anteriormente citada. Nos encontramos que los atletas seguidos presentan unos valores de consumos máximos de oxígeno y porcentajes de frecuencias cardiacas en el punto umbral con respecto a las máximas semejantes a maratonianos de elite en carretera. Los resultados determinados a lo largo de la prueba referente a frecuencias cardiacas y concentraciones sanguíneas de ácido láctico nos permiten afirmar que se trata de un deporte de alta demanda energética y metabólica, incluso superior a las carreras de asfalto.

**PALABRAS CLAVE:** Carreras de montaña, condición física, metabolismo.

**SUMMARY:** Nowadays, mountain races have become a consolidated sport with a great number of participants and followers, which resulted in the celebration of competitions at the highest level in national and international championships, such as the World Cup and the World Championship. In our country, this sport has a great number of followers that compete in many races along our orography. The so-called "Alpino Madrileño" marathon is the most important, not only for its extreme hardness, but also because it is part of the competitions counting for the World Cup. In the present study, we evaluate the physical condition of five high level mountain marathon athletes, as well as the physiological requirements and the effort level during the above-mentioned competition. Results show that the athletes present maximum oxygen consumption values and percentages of cardiac frequency very close to the maximum values present in elite marathon athletes during competition. The results regarding cardiac frequency and blood concentration of lactic acid obtained during the competition allow us to affirm that it is a sport of high energetic and metabolic requirements, even higher than in asphalt races.

**KEY WORDS:** Mountain races, physical condition, metabolism.

## INTRODUCCION

Hace unos 15 años comenzaron a surgir en Francia, una serie de pruebas deportivas consistentes en correr por caminos y veredas de montaña. En un principio, dichas carreras fueron impulsadas por montañeros y gentes habituadas a desenvolverse en terrenos escarpados, incorporándose a las mismas, poco tiempo más tarde, atletas cansados del asfalto y los recorridos monótonos. En un escaso periodo de tiempo, la popularidad de dichos eventos aumentó de manera explosiva, celebrándose hoy día campeonatos a múltiples niveles, entre los que cabe destacar la Copa y el Campeonato del mundo.

Existen varias distancias y modalidades de competición: medias maratones, cross de montaña, kilómetro vertical (consistente en ascender 1000 metros de desnivel en una escasa longitud de recorrido), etc. De entre todas ellas, la que más destaca por su dureza y espectacularidad es el llamado "sky-maratón", consistente en recorrer la distancia del maratón (42 kilómetros y 195 metros), salvando más de 4000 metros de desnivel acumulado y con pasos por encima de los 3000 metros sobre el nivel del mar. En dicho tipo de carreras se alternan subidas y descensos acusados con tramos técnicos de roca, bosque, vegetación y/o nieve. La habilidad del corredor para adaptarse a las condiciones y características del terreno, así como su destreza para ascender y descender por terrenos escarpados, influyen de manera determinante en el resultado final de la prueba. Igualmente cabe destacar que el tiempo necesario para finalizar dichas pruebas es lógicamente mayor que el empleado en recorridos de asfalto, por lo que no resulta infrecuente encontrarnos con duraciones de carrera superiores a las 4 horas para el vencedor del evento.

De entre todos los maratones existentes en el calendario internacional, uno de los considerados como más duros tanto por su recorrido como por las condiciones meteorológicas que habitualmente lo acompañan es el denominado Maratón Alpino Madrileño, que se celebra en la Sierra de Navacerrada, a mediados del mes de Junio.

En el presente trabajo pretendemos valorar los niveles de esfuerzo requeridos para realizar un maratón de montaña de alto nivel, así como las condiciones físicas de los atletas destacados en dicho tipo de pruebas.

## SUJETOS Y METODOS

Cinco sujetos varones ( $32 \pm 3$  años) fueron seguidos durante la celebración del Maratón Alpino Madrileño, llevado a cabo en la Sierra de Navacerrada durante el día 13 de Junio de 2004, siendo ésta una prueba del calendario de la Federa-

ción Internacional de Deportes de Altitud (FSA). La carrera se celebró sobre una distancia aproximada de 42,195 km, en la zona central de la Sierra de Guadarrama, acumulando un desnivel total de 4500 metros. Consta de cuatro subidas consideradas como muy técnicas y de mucho desnivel a las que le siguen bajadas de características similares (Gráfica 1). Por todo ello, el maratón Alpino Madrileño es considerado como uno de los más duros del mundo, recibiendo este año corredores de siete países y con una inscripción de 300 participantes. Normalmente se acompaña de un intenso calor. En este año del estudio, los corredores tuvieron que soportar temperaturas superiores a los 35° en algunos momentos del recorrido.

Los atletas seleccionados para el presente trabajo fueron previamente informados del motivo del mismo, firmando por escrito su consentimiento para formar parte. Todos ellos tenían experiencia previa en carreras de montaña, pudiéndoles considerar como deportistas de un elevado nivel, como quedó confirmado por las clasificaciones obtenidas (los cinco deportistas entre los 17 primeros puestos). Para llevar a cabo el presente estudio cada uno de los atletas seguidos fue sometido a una serie de test de esfuerzo antes del desarrollo de la carrera.

En el laboratorio de ergometría se llevaron a cabo test de esfuerzo tipo EPIM, sobre cinta sin fin. "LE-3-6" (Jaeger, Alemania). Previamente a la realización de la prueba, las diferentes fases del test eran programadas por lo que las señales para los cambios de velocidad y pendiente se enviaban automáticamente desde el ordenador.

La medida y cálculo de parámetros ergoespirométricos se llevó a cabo con el sistema "Cardio O<sub>2</sub>-Combined VO<sub>2</sub>/ECG Exercise System" (Med Graphics. USA). Se trata de un analizador de oxígeno de cámara de zirconio y un analizador de dióxido de carbono de infrarrojos. El volumen ventilado de midió mediante un neumotacógrafo en circuito abierto respiración a respiración. Ambos se calibran antes de cada prueba ergométrica.

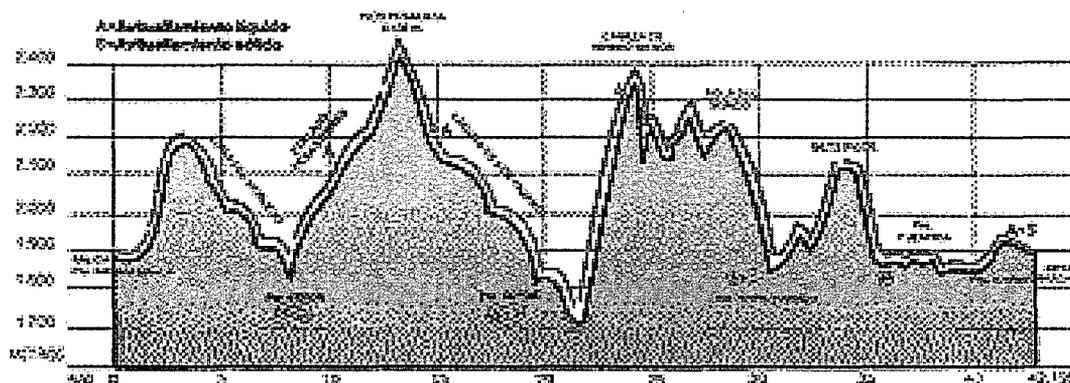
El protocolo seguido fue una velocidad inicial de 5 km/h, con incrementos de 2 km/h cada 3 minutos y 30 segundos de pausa entre escalón para recogida de micromuestra sanguínea del lóbulo de la oreja y determinación de concentraciones de ácido láctico. La pendiente de la cinta se estableció en un 5% (para simular una subida a la que dichos deportistas han de estar habituados), permaneciendo ésta constante durante toda la prueba. Durante el transcurso de la misma se realizó un registro electrocardiográfico (12 canales) así como una grabación de la frecuencia cardiaca, determinándose la concentración sanguínea de ácido láctico

al término de cada escalón, al final de la prueba y en los minutos 3, 5 y 7 de la recuperación. Para el análisis de las mismas se utilizó el aparato "Accusport" (Ergometrix, S.A.), el cual permite un estudio muy rápido (60seg) de los datos. Las tiras reactivas utilizadas son las propias del aparato y se comercializan con el mismo. La sangre pasa por la malla de protección amarilla de las tiras y penetra en un vellón de fibra de vidrio en el que se detienen los eritrocitos y sólo el plasma sanguíneo penetra en la película de detección. El lactato se determina a través de una reacción de color de oxidasa láctica-mediador con el fotómetro de reflexión. A partir de los datos obtenidos en las tomas de micromuestras, se determinaron los umbrales anaerobios individuales siguiendo la metodología de Keul y col<sup>(1,2)</sup>.

Durante el transcurso de la prueba cada deportista seguido portaba un cardiofrecuenciómetro (Polar, Vantage NV), para registro y grabación de la frecuencia cardíaca, realizándose igualmente cuatro tomas de sangre en lóbulo de la oreja para determinación de la concentraciones sanguíneas de ácido láctico. Los puntos del recorrido escogidos para toma de muestras sanguíneas fueron (Gráfica 1):

- Cumbre del Pico Peñalara, punto más alto del recorrido.
- Puerto de Navacerrada, después del descenso más largo del trayecto.
- Espacio intermedio del Recorrido de los 7 picos (relativamente llano).
- Final, o meta.

Gráfica I



EXTREMA: tramos muy técnicos y con mucho desnivel

FUERTE: subidas fuertes pero transitables sin grandes dificultades

MEDIA: terreno para correr y disfrutar

## RESULTADOS

Los valores referidos a consumos de oxígeno y frecuencias cardíacas obtenidos en las pruebas de laboratorio, realizadas de manera previa al desarrollo de la carrera pueden verse en la Tabla I. La frecuencia cardíaca se muestra en latidos por minuto, mientras que los consumos de oxígeno en ml/kg.min. Entre paréntesis se muestran los valores porcentuales de la frecuencia cardíaca umbral con respecto a la máxima.

En la Tabla II podemos observar los resultados obtenidos para las concentraciones sanguíneas de ácido láctico en el punto umbral y los valores máximos (en mmol/l), así como la velocidad máxima alcanzada en la cinta al término de la prueba (expresada en km/h).

En la Tabla III podemos observar los hallazgos determinados en los valores mínimo, máximo y medio de la frecuencia cardíaca en latidos minuto, registrados durante el desarrollo de la prueba atlética. Entre paréntesis se muestra el valor porcentual de la frecuencia media registrada con respecto a la frecuencia cardíaca umbral.

En la Tabla IV podemos apreciar los valores referidos a las concentraciones sanguíneas de ácido láctico (en mmol/l) en los cuatro puntos del recorrido considerados: a,b,c y d, señalados en el apartado de métodos. Entre paréntesis se señala la frecuencia cardíaca (latidos/minuto) registrada en ese mismo punto del trayecto.

Tabla I

Sujetos	Fc umbral	Fc máxima	VO <sub>2</sub> umbral	VO <sub>2</sub> máximo
1	173 (90,1%)	192	61	77
2	164 (88,1%)	186	59	72
3	169 (88,9%)	190	48	70
4	176 (87,5%)	201	66	78
5	162 (89%)	182	48	69

Tabla II

Sujetos	Lactato umbral	Lactato máximo	Velocidad máx
1	4,3	13,5	15
2	3,2	12,8	13
3	4,6	14,3	15
4	3,8	17,1	17
5	4,7	15,3	15

Tabla III

Sujetos	Fc mínima	Fc máxima	Fc media
1	103	189	168 (97%)
2	98	183	160 (97%)
3	89	183	162 (95%)
4	106	189	171 (97%)
5	79	174	157 (96%)

Tabla IV

Sujetos	A (cumbre)	B (puerto)	C (llano)	D (final)
1	6,4 (189)	2,6 (126)	4,2 (170)	4,7 (182)
2	5,9 (183)	2,9 (138)	3,4 (164)	3,4 (178)
3	7,9 (183)	2,8 (142)	4,8 (164)	5,1 (175)
4	9,8 (189)	3,1 (139)	4 (173)	3,9 (183)
5	6,9 (174)	3,6 (131)	5,1 (175)	5,4 (139)

## DISCUSION

Los resultados obtenidos en las pruebas llevadas a cabo en el laboratorio nos muestran cómo los atletas seleccionados presentan unos valores muy altos de consumos máximos de oxígeno y de velocidad máxima alcanzada en la cinta, teniendo en cuenta la pendiente aplicada (Tablas I y II). Igualmente, los resultados porcentuales en los niveles umbrales con respecto a los máximos, tanto en relación a las frecuencias cardiacas como a los consumos de oxígeno (Tabla I) nos señalan que estamos tratando con atletas de un alto nivel de preparación y condición física, semejantes a maratonianos de élite en carretera.<sup>(3,4,5)</sup>

Los valores determinados para las concentraciones sanguíneas de ácido láctico en el punto umbral individual nos señalan cifras cercanas a los 4 mmol/l, aunque con ligeras variaciones sobre dicho valor. Observamos que los niveles máximos conseguidos no son muy elevados, salvo el sujeto número 4 que alcanza una cifra de 17 mmol/l. Consideramos que este hecho viene determinado por las altas cargas de volumen y trabajo aeróbico al que se someten dichos deportistas.<sup>(6)</sup> Sin embargo nos permite señalar la posible necesidad de incrementar la intensidad de entrenamiento incorporando determinadas sesiones como las basadas en trabajos interválicos medios<sup>(7)</sup>

En la Tabla III se observan los datos referidos al registro de las frecuencias cardiacas durante la prueba atlética. Es curioso señalar que la frecuencia cardiaca mínima obtenida en

ningún caso lo fue en el momento de la salida, así como tampoco en ninguno de los tramos de bajada. La salida multitudinaria supone un momento de stress importante que condiciona, a pesar de la quietud del instante, una activación importante de la respuesta simpática y por ende un incremento de los valores de la frecuencia cardiaca.<sup>(4)</sup> Los valores mínimos de la misma se obtuvieron en los tramos más técnicos del recorrido (zona de rocas grandes), en los que era necesario ir muy despacio para poder desplazarse dentro de unos límites adecuados de seguridad. En las zonas de descenso, bien por la irregularidad del terreno que requiere un estado de máxima alerta propioceptiva, bien porque se trataba de tramos francos en los que se podía correr muy deprisa, la frecuencia cardiaca se solió mover dentro de valores cercanos a los determinados para el punto umbral. La frecuencia cardiaca máxima durante la prueba, se correspondió en todos los atletas con su llegada a la cumbre del Pico Peñalara, después de una subida muy empinada de casi mil metros de desnivel positivo. Podemos diferenciar en función a los valores porcentuales relacionados con la frecuencia cardiaca umbral, una serie de "tramos" de intensidad de esfuerzo, que son habitualmente empleados por los entrenadores para marcar áreas de desarrollo de niveles de entrenamiento. La determinación de los valores porcentuales varía en función al deporte referido así como el médico o entrenador que los marca. Siguiendo a los entrenadores de la selección española de maratón hablamos de ritmos aeróbicos y anaeróbicos, in-

tensivos y extensivos. Consideramos así un ritmo aeróbico extensivo aquel que se realiza a frecuencias cardíacas menores o iguales al 75% con respecto a la umbral. Aeróbico intensivo se realiza con porcentajes de la frecuencia cardíaca entre el 75 y el 85% con respecto a la determinada como frecuencia cardíaca umbral. Ritmo umbral es el comprendido entre el 85 y el 100%, siendo un ritmo anaeróbico extensivo el que se realiza entre el 100 y el 105% de la frecuencia umbral y el anaeróbico intensivo el llevado a cabo por encima del 105%.<sup>(7)</sup> Lógicamente, cuanto mayor es el valor porcentual de la frecuencia cardíaca, mayor es la intensidad de esfuerzo, teniendo que relacionar también dicho parámetro con la duración del ejercicio. Por ello, en deportes de larga duración como el que nos ocupa, ritmos aeróbicos intensivos son ya considerados como de alta intensidad durante la competición, siendo necesario para su mantenimiento durante largos periodos de tiempo, una elevada preparación y una condición física de alto nivel.<sup>(3,4,5)</sup>

Si observamos los resultados señalados en tabla III podemos determinar cómo los atletas seguidos presentan durante la prueba unas frecuencias cardíacas medias con valores porcentuales que se encuentran entre el 95 y el 97% con respecto a las frecuencias umbrales determinadas en las pruebas de laboratorio (ritmos umbrales). Este hecho nos permite afirmar que los requerimientos metabólicos necesarios para llevar a cabo una prueba de estas características, competida a un alto nivel, son muy elevados, comparables claramente a las pruebas de maratón en ruta.<sup>(3,4,5,8)</sup> Es más, debido a las características orográficas del terreno, podemos afirmar que en determinados periodos de la carrera, como los ascensos prolongados, el deportista desempeña ritmos anaeróbicos incluso intensivos (tabla IV –cumbre–), que pueden ser prolongados en función a la longitud de las subidas. Por otra parte, aunque los requerimientos metabólicos disminuyen de manera importante durante los descensos, hemos de considerar que en los mismos, los atletas llevan a cabo un esfuerzo muscular (especialmente en la musculatura del cuádriceps) excéntrico de frenado, por lo que el sufrimiento muscular se

incrementa de manera importante, siendo así muy frecuentes los calambres y las contracturas musculares en dichas pruebas.<sup>(9)</sup>

Todos estos datos se ven confirmados con el estudio de los valores en las concentraciones sanguíneas de ácido láctico. En las zonas de cumbre los valores determinados se encuentran por encima de los hallados en el punto umbral anaerobio individual, mientras que en la zona más o menos llana las cifras determinadas son cercanas a las establecidas para el umbral (ritmos umbrales). El incremento de los valores en la parte final creemos que está ocasionada por un factor acumulativo derivado del prolongado tiempo de duración de la prueba (entre 4 horas y 4 horas y media en los atletas seguidos).

Otro factor a considerar es el de la altura en la que se desarrolla la misma. En nuestro medio, en la mayoría de los casos, ésta no supera los 3500 metros de altitud. Si bien no se trata de elevaciones que puedan llevarnos a modificar los valores hallados durante la carrera con respecto a los determinados en el laboratorio<sup>(10,11)</sup> sí nos tienen que hacer pensar en la necesidad de la realización de un sobreesfuerzo por parte del atleta, lo que se traduce en una dureza añadida en este tipo de eventos.

Todo lo anterior nos induce a pensar en la necesidad de una preparación y condición muy elevadas para participar a elevado nivel en maratones de montaña. Los altos valores de intensidad de esfuerzo encontrados nos indican la necesidad de elevadas cargas de entrenamiento a ritmos aeróbicos intensivos, umbrales y también anaerobios. Igualmente, las características propias del terreno que obligan a un trabajo muscular excéntrico importante señalan la obligatoriedad de desempeño de entrenamientos de fortalecimiento muscular por encima de los que realizan los atletas de ruta o pista. Es lógico pensar en la necesidad de llevar a cabo sesiones específicas en las que los atletas se habitúen a correr en lugares técnicamente complicados, así como desarrollar test de campo especialmente adaptados a las condiciones concretas de este tipo de atletas.<sup>(12)</sup>

## Bibliografía

1. Davis J. Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Med Sci Exer* 1985 Feb; 17(1): 6-21.
2. Farrell P, Wilmore J., Coyle E., Billing J., Costill D. Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med Sci Sports Exerc* 1993 Oct; 25(10): 1091-7.
3. Tanaka K., Matsuura Y. Marathon performance, anaerobic threshold and onset of blood lactate accumulation. *J Appl Physiol* 1984 Sep; 57(3): 640-3.
4. Billar V., Demarle A., Koralsztein J., Paiva M. Effect of training on the physiological factors of performance in elite marathon runners. *Int J Sports Med* 2002 Jul; 23(5): 336-41.
5. Billar V., Demarle A., Slawinski J., Koralsztein J., Paiva M. Physical and training characteristics of top class marathon runners. *Med Sci Sports Exerc* 2001 Dec; 33(12): 2089-97.
6. Billar V., Sirvent P., Koralsztein J., Mercier J. The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, physiology and sports science. *Sport Med* 2003; 33(6): 407-26.
7. Maldonado S., Mujica I., Padilla S. Physiological variables to use in gender comparison in highly trained runners. *J Sports Med Phy Fitness* 2004 Mar; 44(1): 8-14.
8. Leibar X., Arrabitel I., Lekue J., Aramendi J. Aspectos biomédicos del maratón. *Atletismo español* 2004; 446: 39-46.
9. Minetti A., Moia C., Roi G., Susta D., Ferretti G. Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes. *J Appl Physiol* 2002 Sep; 93(3): 1039-46.
10. Egocheaga J., Montoliu M., González Díez V., Rodríguez B., Urraca JM. Clasificación metabólica y umbral anaeróbico en la escalada deportiva, la escalada de grandes paredes y el alpinismo de grandes montañas. *Rendimiento deportivo en altitud*. Madrid: CSD, 2000: 89-131.
11. Levine B., Stray J. "Living high – training low": effect of moderate altitude acclimatization with low altitude training on performance. *J Appl Physiol* 1997 Jul; 83(1): 102-12.
12. Borsetto C., Ballarín E., Casoni I., Cellini M., Vitello P., Conconi F. A field test for determining the speed obtained through anaerobic glycolysis in runners. *Int J Sports Med* 1989 Oct; 10(5): 339-45.