

Efectos de la frecuencia de zancada en el coste energético de la carrera

Manuel Lapuente
Salvador Olaso
Assumpta Ensenyat
Alberto García-Fojeda
Alfonso Blanco
Felipe Calvo

INEFC Lleida

Palabras clave

biomecánica, $\dot{V}O_2$, lactato, condición física específica, Fcc, Lcc, eficiencia energética

Abstract

In view of the lack of studies relating Fcc with lactate production and oxygen consumption applied to races at speeds higher than those corresponding to the anaerobic ventilatory threshold (VT2), the present study observed the relationship between some mechanical aspects cyclical movements (speed of the movement, frequency and length of the cycle), with some metabolical and cardiovascular aspects (lactate in the blood after the effort $\dot{V}O_2$ and FC) for a speed of movement equivalent to 90% of individual VMA in women with an average level of training following a regulated and systematic training for at least 2 years. The anthropometrical values (average SD) of the sample are: age 21 ± 4 years; height: 162 ± 6 cm; weight: 50 ± 3 kilos, and a $\dot{V}O_{2max}$ of 64 ± 5 ml O_2 /kg/min.

We did three tests on a moving belt with at least 2 days between them, lasting 6 minutes and at 90% of VMA. One with a free chosen frequency of cycle (Fcc), another without an increased Fcc and the last one with a reduced Fcc.

As a conclusion it seems obvious that for a run on the moving belt at 90% of VMA and during 6', small variations (10% in mechanical parameters modify the needs of $\dot{V}O_2$, lactate production and FC for each subject.

Therefore it is possible to attain, using these variations in daily training, specific adaptations going deeper than those obtained only through a work based on the speed of movement.

Resumen

Dada la falta de estudios que relacionan la Fcc con la producción de lactato y consumo de oxígeno aplicados a la carrera a velocidades de desplazamiento superiores a las correspondientes con el umbral anaeróbico ventilatorio (VT2), se decidió la realización del presente estudio, cuyo objetivo ha sido observar las relaciones que se dan entre algunos aspectos mecánicos del desplazamiento cíclico (velocidad de desplazamiento, frecuencia y longitud de ciclo), con algunos aspectos metabólicos y cardiovasculares (lactato en sangre post esfuerzo, $\dot{V}O_2$ y FC), para una velocidad de desplazamiento del 90% de la VMA individual, en mujeres entrenadas de nivel medio, que siguen un entrenamiento reglado y sistematizado desde hace al menos 2 años.

Los valores antropométricos (media \pm SD) de la muestra son: edad 21 ± 4 años; estatura: 162 ± 6 cm; peso: 50 ± 3 kg, y un $\dot{V}O_{2max}$ de: 64 ± 5 ml O_2 /kg/min.

Se realizaron tres pruebas sobre tapiz rodante, separadas entre sí al menos dos días, de una duración de seis minutos y al 90% de la VMA. Una se realizó con la frecuencia de ciclo (Fcc) libremente escogida, otra con Fcc incrementada y la tercera con la Fcc disminuida.

Como conclusión, parece evidente que para la carrera en tapiz rodante al 90% de la VMA y durante 6', las pequeñas variaciones (10%) de los parámetros mecánicos modifican las necesidades de $\dot{V}O_2$, producción de lactato y FC de cada sujeto.

Por ello es posible que, utilizando estas variaciones en el entrenamiento diario, se puedan conseguir adaptaciones específicas más profundas que las obtenidas tan solo mediante el trabajo basado en la velocidad de desplazamiento.

Introducción

En la búsqueda del máximo potencial de rendimiento del ser humano, se desarrollan nuevas metodologías y formas de organización de los ejercicios de entrenamiento para optimizar los efectos entrenantes de los mismos e individualizar al máximo las cargas que se soportan diariamente.



Pese a que se puede considerar el sistema del atletismo como uno de los más avanzados, en lo que a metodología del entrenamiento se refiere, aún existen ciertos aspectos que están menos estudiados que deben mejorarse y aprovecharse para entender en mayor medida el funcionamiento del organismo del atleta y conseguir mayores prestaciones deportivas.

Dado el creciente énfasis que reciben las carreras de medio fondo y fondo en la actualidad, debido al incremento espectacular de los registros mundiales conseguidos en la mayoría de las distancias, parece lógico pensar que cualquier pequeño avance en la metodología del entrenamiento que pueda ser aplicada en las sesiones diarias, puede ser de gran ayuda a atletas y entrenadores. Siendo éstas especialidades cíclicas, es posible controlar y relacionar ciertos parámetros mecánicos con otros metabólicos y cardiovasculares, de forma que se pueda incidir en los distintos niveles de intensidad mediante la observación de variables sencillas de controlar, como es la velocidad y la frecuencia de ciclo.

El presupuesto de partida es el incremento demostrado de la concentración de lactato en sangre conforme aumenta la velocidad de desplazamiento. En el plano mecánico podemos descomponer la velocidad en F_{cc} x L_{cc} , factores ambos que se incrementan con el aumento de la velocidad de desplazamiento, pero con una dinámica diferente para cada estadio de velocidad y para cada sujeto (McGinnis y Dillman, 1989; en Grana y cols., 1989). A su vez sabemos que un aumento de la L_{cc} implica mayores tiempos de vuelo, mientras que para mayor F_{cc} la tendencia es de disminuir el tiempo de contacto. Sabiendo que existe una frecuencia óptima individual (Wilson y cols., 1996; Verchoshanskij, 1996 y 1997; Voss y Kreuse, 1997; Lehmann, 1997) que es natural de cada sujeto y cada tipo de movimiento (con clara referencia a las estructuras neuromusculares y tendinosas), cualquier variación del patrón mecánico óptimo individual implicará un gasto energético mayor, lo cual repercutirá negativamente en la economía de esfuerzo, y por tanto, en la eficiencia de carrera.

Existen trabajos publicados que hacen referencia al estudio de parámetros similares, especialmente relacionados con la longitud de ciclo, (Cavanagh y Williams, 1982; Powers y cols., 1982; Plyley y cols., 1985; Heinert, y cols., 1988; Colli y cols., 1994; Klein, y cols., 1997), pero bien utilizan velocidades de desplazamiento bajas (por debajo del umbral anaeróbico o VT_2), o si lo hacen a velocidades superiores, pertenecen a otro deporte (piragüismo, natación, ciclismo).

Otros estudios similares han sido ampliamente referenciados (Grana y cols., 1989), pero igualmente utilizan velocidades de desplazamiento que corresponden a estados estables, y los resultados obtenidos son variados, encontrando algunos en los que el $\dot{V}O_2$ es similar en las distintas condiciones estudiadas, y otros en los que el $\dot{V}O_2$ es superior utilizando L_{cc} superiores, es decir, la carrera con mayor L_{cc} es menos económica.

Dada la falta de estudios que relacionan la F_{cc} con la producción de lactato y consumo de oxígeno aplicados a la carrera a velocidades de desplazamiento superiores a las correspondientes con el umbral anaeróbico ventilatorio (VT_2), se decidió la realización del presente estudio, cuyo objetivo ha sido observar las relaciones que se dan entre algunos aspectos mecánicos del desplazamiento cíclico (velocidad de desplazamiento, frecuencia y longitud de ciclo), con algunos aspectos metabólicos y cardiovasculares (lactato en sangre post esfuerzo, $\dot{V}O_2$ y FC), para una velocidad de desplazamiento del 90% de la VMA individual, en mujeres entrenadas de nivel medio.

Material y métodos

Sujetos

En este estudio participaron voluntariamente tres mujeres que compiten en pruebas de medio fondo y fondo. Estas atletas participan en los equipos Club Atlètic Lleida-UdL y Dominiques, y siguen un entrenamiento reglado y sistematizado desde hace al menos 2 años.

Los valores antropométricos (media \pm SD) de la muestra son: edad 21 ± 4 años; estatura: 162 ± 6 cm; peso: 50 ± 3 kg.

Procedimiento

Las atletas realizaron una prueba de esfuerzo progresiva y máxima en tapiz rodante (Powerjog) con una pendiente fija del 3% e incrementos de la velocidad de $1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ cada minuto hasta que se alcanzaron los criterios de maximalidad de Jones (1985). La velocidad inicial fue de $8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Durante la prueba se registraron los parámetros ventilatorios utilizando un analizador de gases (CPX, Medical Graphics Corporation) y se monitorizó la frecuencia cardíaca mediante un pulsómetro (Polar Sport Tester). Asimismo, también se registró la frecuencia de ciclo para cada velocidad.

A partir de los datos de la prueba de esfuerzo se determinó la velocidad aeróbica máxima para cada sujeto.

Una vez determinada la velocidad aeróbica máxima (VAM) del sujeto (García-Verdugo y Leibar, 1997) se calculó la velocidad que correspondía al 90% de la VAM.

Una semana más tarde, y con pausas de al menos dos días de descanso, se realizaron tres pruebas ($P_6'L$, $P_6'F_{cc}$, $P_6'L_{cc}$) cuadrangulares en tapiz rodante. En estas pruebas la pendiente (3%) y la velocidad (90% de la VAM) se mantenían fijas durante 6 minutos.

Durante las pruebas se monitorizaron el consumo de oxígeno ($\dot{V}O_2$), la frecuencia cardíaca (FC) y la frecuencia de ciclo (F_{cc}). Asimismo, al final de cada prueba y en los minutos 1,3,5 y 7 de recuperación se tomaron muestras de sangre capilar del lóbulo de la oreja para el análisis del lactato hemático mediante un sistema fotoenzimático (Dr. Lange).

A partir de la primera prueba ($P_6'L$), que se realizaba de forma libre e individual, se determinaron los parámetros de F_{cc} y longitud de ciclo (L_{cc}) libremente escogidos por cada atleta. En las otras dos pruebas se invitó a cada sujeto a que intentara mantener una F_{cc} un 10% superior ($P_6'F_{cc}$) o inferior ($P_6'L_{cc}$) a la libremente escogida, en ambos casos el ritmo de la F_{cc} se controló con

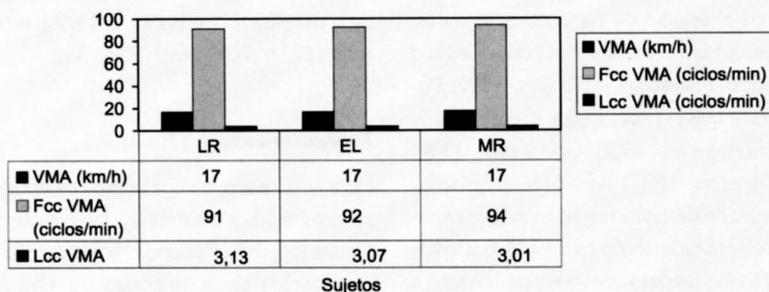


Gráfico 1. Datos correspondientes a la prueba de esfuerzo incremental: variables mecánicas.

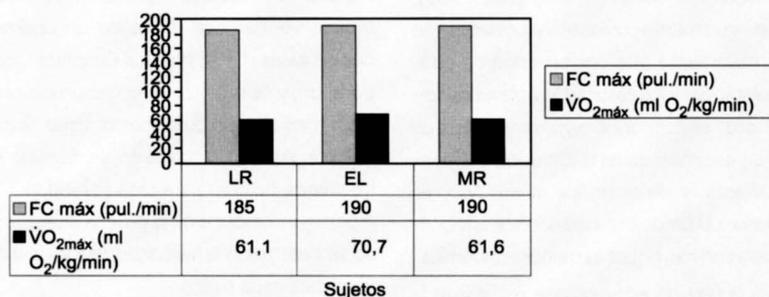


Gráfico 2. Datos correspondientes a la prueba de esfuerzo incremental: variables fisiológicas.

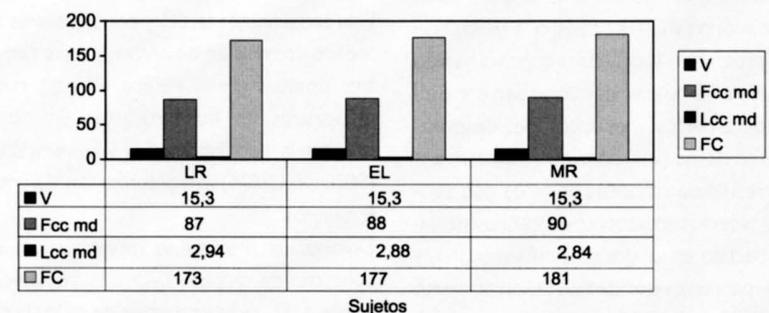


Gráfico 3. Datos correspondientes al 90% de la VMA en la prueba de esfuerzo incremental.

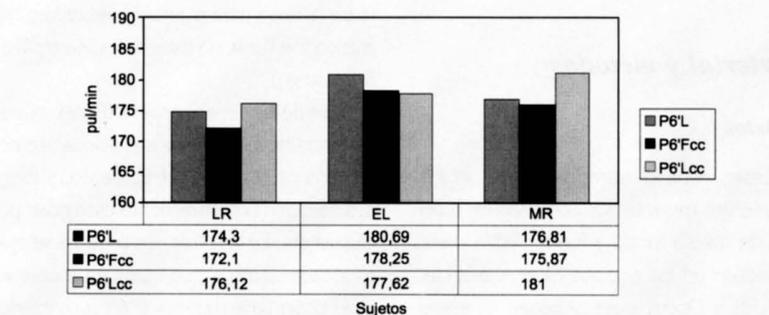


Gráfico 4. Datos correspondientes a la FC en las pruebas de esfuerzo de 6 minutos de duración.

un metrónomo. El orden de estas pruebas (P6'Fcc y P6'Lcc) fue aleatorio.

Todas las pruebas se han realizado en el laboratorio de Valoración Funcional del INEFC-Lleida.

Fcc y Lcc

La Fcc fue registrada a los 30 segundos de cada palier y se calculó según el tiempo tardado en realizar 5 ciclos completos (seis apoyos del mismo pie), según la fórmula:

$$Fcc = (n.º \text{ ciclos/tiempo en realizar el } n.º \text{ de ciclos}) \cdot 60$$

El resultado se expresa en ciclos/minuto. Se consideran las medias obtenidas durante los 6 minutos de las pruebas. En base al conocimiento de la velocidad de desplazamiento y de la Fcc, calculamos la Lcc, según la siguiente fórmula:

$$Lcc = V/Fcc$$

El resultado se expresa en metros por ciclos.

Análisis estadístico

Los datos han sido tratados mediante procedimientos de estadística descriptiva y analítica utilizando el programa informático SPSSPC+.

Para los parámetros VO₂, FC en las pruebas cuadrangulares se han considerado los valores medios ± SD obtenidos entre los minutos 3 y 6 de la prueba descartando los primeros minutos en los cuales aún no se ha alcanzado el estado estable. Para la Fcc se han considerado los valores medios ± SD obtenidos durante toda la prueba. Para el lactato hemático se ha considerado el pico máximo observado durante la recuperación.

La comparación entre las medias se ha realizado de forma individual para cada atleta mediante Oneway, con un nivel de significación de p<0,05.

Resultados

Presentamos en los gráficos 1 y 2 los datos correspondientes a la prueba de esfuerzo inicial, y en el gráfico 3 los que hacen referencia al 90% de la VMA.

A continuación se presentan en los gráficos 4 a 8 los datos obtenidos en las pruebas continuas de 6 minutos.

En la prueba inicial incremental, se observa que los sujetos presentan una misma VMA (gráfico 1), coincidiendo por tanto el valor de la velocidad al 90% de dicha VMA, que supera en todos los casos la velocidad obtenida para el umbral ventilatorio 2 (VT2). Sin embargo se observa como los demás valores (FC, Fcc y Lcc) varían de un sujeto a otro.

Según el valor obtenido de $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ (gráfico 2), se puede afirmar que los sujetos presentan una buena disposición para el entrenamiento aeróbico de resistencia.

En las pruebas de esfuerzo de 6 minutos de duración, se puede observar como los valores obtenidos de FC media son similares, no presentando diferencias estadísticamente significativas en la comparación entre las tres pruebas de cada sujeto.

Referente al $\dot{V}O_2$ medio alcanzado en las pruebas de 6 minutos, se observa una dinámica similar a la de la FC, siendo igualmente las diferencias estadísticamente no significativas. A excepción de una prueba de un sujeto (EL), el $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ es superior en todas las pruebas realizadas (P6') que el máximo obtenido por cada sujeto durante la prueba progresiva.

El pico de lactato en sangre post-esfuerzo de cada una de las tres pruebas de 6 minutos presenta un perfil individual y diferente para cada uno de los sujetos, destacando en dos de ellas el pico más elevado en la P6'Lcc, mientras que en la tercera lo consigue en la P6'Fcc. En cualquier caso, para los tres sujetos se han encontrado los valores mínimos de lactato en la P6'L.

Estos datos evidencian una respuesta al esfuerzo específica e individual de cada sujeto, en función de su estado de preparación específica para el evento.

En las pruebas de esfuerzo de 6' con Fcc libre (P6'L) (gráfico 7) se observa como la

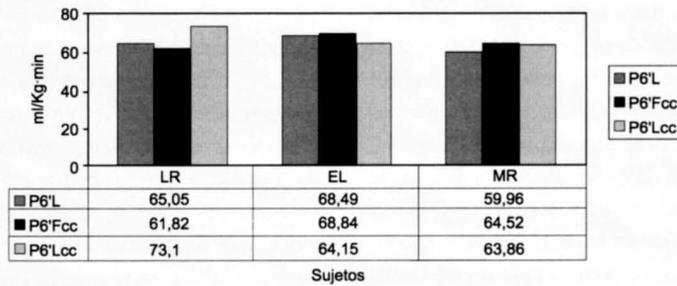


Gráfico 5. Datos correspondientes al $\dot{V}O_2$ obtenido en las pruebas de esfuerzo de 6 minutos de duración.

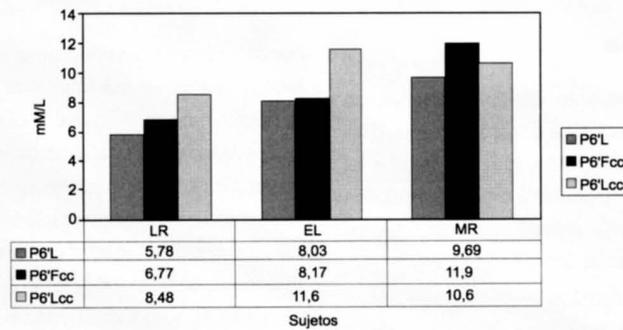


Gráfico 6. Datos correspondientes al pico máximo de lactato post-esfuerzo producido en las pruebas de 6 minutos de duración.

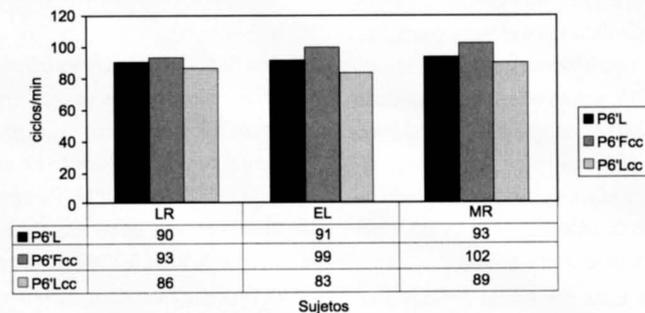


Gráfico 7. Datos correspondientes a la Fcc media mantenida durante las pruebas de 6 minutos de duración.

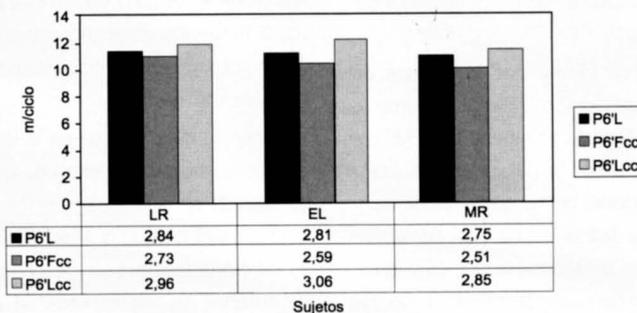


Gráfico 8. Datos correspondientes a la Lcc media mantenida durante las pruebas de 6 minutos de duración.

Fcc obtenida es algo mayor a la esperada, según los datos extrapolados de la prueba incremental inicial (gráfico 3). En las otras dos pruebas (P6'Fcc y P6'Lcc) los valores obtenidos de Fcc y Lcc no sufren grandes modificaciones con respecto a los obtenidos en la P6'L, no llegando a alcanzar el 10% previsto para todos los casos, lo que puede influir en la valoración de la aportación de cada una de las variables estudiadas con respecto a los datos obtenidos.

Discusión

En el rendimiento deportivo intervienen una combinación de distintos factores, diferentes en cada sujeto, lo cual hace que las variaciones introducidas en las pruebas con Fcc modificada provoquen respuestas diversas para cada uno de ellos.

Entre estos factores se encuentran principalmente los mecánicos (Fcc, Lcc, valores óptimos individuales para cada velocidad, fuerza máxima manifestada y tiempo en que se manifiesta, VMA, velocidad Maxlass, velocidad en el Umbral Anaeróbico ventilatorio según la distancia y el tiempo empleados) y los metabólicos ($\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$, lactato en sangre a VMA, lactato en sangre a velocidad de UA, lactato en sangre a velocidad Maxlass, tipos de fibras musculares predominantes y utilizadas), y como no, el grado de condición física específica (adaptación específica a la modalidad practicada).

Además de estas diferencias debidas a las diversas características individuales de cada sujeto, se debe tener en cuenta el tipo de entrenamiento realizado así como las velocidades y distancias habituales utilizadas por cada sujeto.

No podemos olvidar que los sujetos del presente estudio son mujeres, y como ya apuntaron Williams y Krahenbuhl (1997), el ciclo menstrual de la mujer puede afectar a diversos factores del rendimiento de resistencia. Este factor no ha sido tenido en cuenta en el presente estudio, cuya duración ha sido de cuatro semanas, por lo que las fases del ciclo menstrual pueden haber influido en los resultados obtenidos.

Dentro de los factores mecánicos estudiados, lo primero que se observa es que la Fcc obtenida en la P6'L es, en los tres sujetos, superior (3 ciclos/minuto) a la correspondiente al 90% de la VMA extraída de la prueba incremental realizada previamente. Esta variación puede ser debida al tiempo empleado por palier en la prueba incremental, que fue de tan solo un minuto, mientras que en la prueba a velocidad constante se utilizó una duración de seis minutos, por lo que los sujetos disponen de mayor tiempo para escoger su Fcc individual.

Por otra parte se observa como la Fcc utilizada en la P6'L es prácticamente la misma (1 ciclo/minuto menor) que la obtenida en la prueba incremental al alcanzar la VMA, lo que implica en los tres sujetos que el recurso utilizado para incrementar la velocidad a estos niveles de intensidad (entre el umbral anaeróbico ventilatorio y el $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$) es la búsqueda de una zancada más amplia (Lcc).

En las pruebas P6'Fcc los tres sujetos mantienen una Fcc media superior a la conseguida en la prueba incremental a nivel de la VMA, aunque en diferente proporción cada uno.

El otro factor mecánico estudiado fue la Lcc, que muestra unos valores en la P6'L inferiores a los obtenidos en la prueba incremental para una velocidad de desplazamiento del 90% de la VMA. Parece ser que los sujetos estudiados se adaptan a una velocidad del 90% de la VMA mediante la disminución de la zancada e incremento de la frecuencia para una duración de seis minutos de esfuerzo constante, o lo que es lo mismo, que en duraciones menores de tiempo de esfuerzo, y siendo éste progresivo, la tendencia de adaptación a la nueva velocidad parece ser mediante la utilización inicial de Lcc mayores.

También se observa que en la P6'Lcc tan sólo un sujeto alcanza una Lcc similar a la conseguida en la prueba incremental al alcanzar la VMA. Esto implicará que los niveles de esfuerzo mostrados en cada una de las pruebas de seis minutos de duración con variación de los patrones mecánicos individuales, serán probablemente diferentes

de un sujeto a otro, haciendo difícil su interpretación.

Referente a los parámetros fisiológicos estudiados, se observa cómo las variaciones en la FC obtenida en las distintas pruebas, tanto continuas como la incremental, son mínimas y no significativas. En cualquier caso los valores obtenidos en cada prueba continua varían entre sujetos, consiguiendo uno el máximo valor en la P6'L, mientras que los otros dos lo consiguen en la P6'Lcc. El pico de $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ conseguido durante las pruebas cuadrangulares de seis minutos de duración fue, a excepción de una prueba para un sujeto, superior al conseguido en la prueba incremental.

Este hecho ya ha sido constatado anteriormente (Hill y cols., 1997), lo cual hace recapacitar en la validez de los tests incrementales a la hora de obtener el $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$, así como la VMA. Parece lógico pensar que durante la ejecución del test incremental, en el que se produce el paso en la predominancia de una vía de obtención de energía a otra (de aeróbica a anaeróbica), se producen interferencias de un metabolismo en otro (Villanueva, 1994), especialmente con protocolos que utilicen palieres de corta duración, lo que puede suponer una mayor dificultad para el máximo aprovechamiento de la capacidad de captación y utilización de oxígeno por parte de la musculatura utilizada, debido a la falta de tiempo de adaptación. Esto no ocurre durante una prueba rectangular, en la que las condiciones "relativamente estables" pueden permitir al sujeto aprovechar en mayor medida su capacidad para captar y consumir oxígeno, dependiendo igualmente del nivel de intensidad exigido y de la duración de esta.

Esta situación es reflejada perfectamente por Neumann y Gohlitz (1998), con su propuesta sobre la determinación de los umbrales en base a pruebas progresivas en las que la distancia a realizar en cada palier depende de la prueba del atleta.

Sin embargo, atendiendo al $\dot{V}O_2$ medio obtenido entre los minutos 3 y 6 de las pruebas cuadrangulares, se observa una respuesta diferente para cada sujeto. En uno de ellos, los valores medios obtenidos son



superiores en las tres pruebas de seis minutos de duración que el máximo conseguido en la prueba incremental. En otro, se da el caso contrario; los valores son inferiores en las pruebas continuas que el máximo de la prueba incremental. En el tercero, el valor es inferior para la P6'L, y superior para las otras dos pruebas.

De todas formas parece necesario el estudio de otras variables fisiológicas para complementar el estudio de los requerimientos energéticos a estos niveles de intensidad. Por ello se ha incorporado el estudio del pico máximo de lactato en sangre post-esfuerzo, que viene a ser un indicativo del grado de activación del metabolismo anaeróbico.

Se observa la menor concentración de lactato en sangre después de la P6'L en los tres sujetos, mientras que la máxima concentración se encuentra después de la P6'Lcc para dos sujetos, y en la P6'Fcc para un sujeto.

De nuevo se pueden observar diferencias en la respuesta fisiológica para cada sujeto, que se pueden relacionar con la utilización de las variables mecánicas estudiadas.

Para ello, se parte del supuesto en el que cada sujeto utiliza la combinación de Fcc y Lcc más eficiente durante la P6'L, pero tal y como ya apuntaron otros investigadores (Fairweather y cols., 1996; Brisswalter y cols., 1996; Verchoshanskij, 1997), no siempre tiene por qué ser así.

Es posible que durante la carrera a la misma velocidad pero con mayor Fcc se incrementa el $\dot{V}O_2$ debido a la mayor implicación del metabolismo aeróbico (por supuesto siempre y cuando los requerimientos energéticos estén situados por debajo del nivel determinado por el $\dot{V}O_{2máx}$, y el ritmo de obtención de energía sea asequible por las posibilidades del atleta). Debemos tener en cuenta que, para la misma velocidad de desplazamiento, la utilización de una menor Fcc supone una Lcc aumentada, a costa de una mayor aplicación de fuerza, es decir, una mayor implicación de la resistencia específica local (Verchoshanskij, 1996 y 1997). Una mayor implicación muscular (mayor tensión aplicada) puede suponer una mayor oclusión de los vasos sanguí-

neos que aportan el oxígeno, y todo ello convierte a la carrera con mayor Lcc en "más anaeróbica" que la carrera con Fcc incrementada, ya que en este caso suponemos que al ser menor la aplicación de fuerza específica, pero más continua, se incrementan las necesidades de aporte de sangre y con ella de oxígeno.

Por otra parte no se deben olvidar los patrones de activación de las fibras musculares, así como las características de estas en cada sujeto. Mientras que en esfuerzos más cortos podrán utilizarse en mayor medida las fibras más rápidas y menos resistentes, en los más duraderos se tenderá a utilizar las menos rápidas y más resistentes, aunque dependiendo de la fatiga que se produzca en ellas, también podrán utilizarse las primeras. De esta forma se llega a observar un cierto paralelismo entre los conceptos de "potencia" y "capacidad" utilizados referentes a las vías energéticas, con los tipos de fibras utilizadas en cada nivel de esfuerzo. Además, y al igual que se realiza con la velocidad, y por lo tanto con los factores que la componen (Fcc y Lcc), se debe tener presente los patrones de activación que se dan para cada sujeto en cada nivel de intensidad, dependiendo entre otros factores ya comentados, de la preparación específica para cada modalidad.

Powers y cols. (1982) al igual que otros investigadores que referencian, encontraron en sus estudios que la carrera con Fcc aumentada, incrementaba la ventilación del sujeto (comparada con la carrera con menor Fcc), lo que puede ser uno de los factores para que se vea incrementado el $\dot{V}O_2$, por lo que se puede suponer que la carrera con mayor Fcc es más exigente a nivel cardiovascular que con menor Fcc, que lo será a su vez a nivel neuromuscular.

Otro de los factores a tener en cuenta es el potencial máximo de frecuencia que posee cada sujeto. Al ser este un factor individual y predeterminado, según el grado de entrenamiento en cada momento, el sujeto tendrá un mayor margen para movilizar su potencial de frecuencia, siendo por tanto más o menos económico en la ejecución del movimiento.

No debemos olvidar que, como anteriormente se ha comentado, la velocidad de desplazamiento es producto de la Fcc y Lcc, pero a su vez, la Lcc depende tanto de la fuerza aplicada como del tiempo durante la que se aplica. Esto indica que las características del aporte energético para mantener un esfuerzo determinado dependen directamente de la cantidad de energía necesaria y del tiempo que se necesita para obtenerla (figura 1).

Además, parece ser que como diversos autores han demostrado o comentado (Wilson y cols., 1996; Verchoshanskij, 1996; Barstow y cols., 1996; Brisswalter y cols., 1996; Voss y Kreuse, 1997; Verchoshanskij, 1997), existe una frecuencia óptima individual, tanto a nivel de estructuras (tendino-musculares) como a nivel de la organización del movimiento en el tiempo (frecuencia de ciclo), lo cual hace que la relación de dependencia entre velocidad de desplazamiento y los requerimientos energéticos sea complicada de interpretar. Entonces, para observar la eficiencia en la utilización de cada Fcc, se requiere atender tanto al consumo de oxígeno (como indicador del grado de activación de la vía aeróbica) como al lactato producido (como indicador del grado de activación de la vía anaeróbica).

Una Fcc eficiente para una velocidad de desplazamiento determinada (90% de la VMA) implicará unos valores de $\dot{V}O_2$ y lacta-

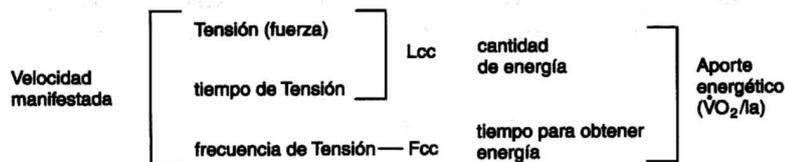


Figura 1. Dependencia de la relación entre la velocidad manifestada y las necesidades energéticas.

to inferiores, mientras que un $\dot{V}O_2$ estable o incluso inferior a los obtenidos con otra Fcc, pero con una mayor producción de lactato, implicará una menor eficiencia en la carrera, posiblemente provocada por una mayor exigencia a nivel local.

Para el sujeto LR, la Fcc y Lcc media mantenida durante la P6'Lcc es la menos eficiente, pudiendo encontrarse entre los valores obtenidos en las otras dos pruebas cuadrangulares su Fcc y Lcc más eficientes.

Sin embargo, el sujeto EL parece que consigue su Fcc y Lcc más eficiente en la P6'L, consiguiendo los valores más bajos de $\dot{V}O_2$ y lactato. En su caso, parece que los parámetros mecánicos mantenidos durante la P6'Lcc son muy exigentes, produciendo una mayor fatiga local, evidenciada por unos valores de lactato muy elevados, y un $\dot{V}O_2$ menor (posiblemente por la interferencia de una vía energética con otra).

Por último, el sujeto MR parece que utiliza también su Fcc y Lcc óptimas en la P6'L, siendo por el contrario más ineficiente y produciendo mayor fatiga local los parámetros mecánicos utilizados en la P6'Fcc.

Conclusiones

Como conclusión, parece evidente que para la carrera en tapiz rodante al 90% de la VMA y durante 6', las pequeñas variaciones (10%) de los parámetros mecánicos modifican las necesidades de $\dot{V}O_2$, producción de lactato y FC de cada sujeto.

Por ello es posible que, utilizando estas variaciones en el entrenamiento diario, se puedan conseguir adaptaciones específicas más profundas que las obtenidas tan sólo mediante el trabajo basado en la velocidad de desplazamiento.

Aunque la dependencia de los parámetros mecánicos con los metabólicos estudiados parece evidente, es necesario profundizar más en los niveles de relación de unos con

otros, atendiendo a las características individuales de cada sujeto.

Se sugiere la posibilidad de realizar nuevos estudios variando las velocidades de desplazamiento, así como la duración de los esfuerzos, atendiendo a la evolución de los parámetros estudiados a lo largo de cada prueba.

Se considera indispensable para poder extrapolar conclusiones el poder realizar los estudios con mayor cantidad de sujetos de estudio, con diversos niveles de rendimiento y distinto sexo.

Bibliografía

- BARSTOW, T. J. y cols. (1996), "Influence of muscle fiber type and pedal frequency on oxygen uptake kinetics of heavy exercise". *Journal of Applied Physiology*. Vol. 84, n.º 4, pp. 1642-1650.
- BRISWALTER, J. y cols. (1996), "Running economy, preferred step length correlated to body dimensions in elite middle distance runners". *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. Vol. 36, n.º 1, pp. 7-15.
- CAVANAGH, P. R.; WILLIAMS, K. R. (1982), "The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running". *Medicine and Science in Sport and Exercise*. Vol. 14, n.º 1, pp. 30-35.
- COLLI, R. y cols. (1994), "Entrenamiento del piragüista". *Comunicaciones técnicas* n.º 10, E.N.E.P. Federación española de piragüismo, pp. 118-144.
- FAIRWEATHER, M. M. y cols. (1996), "An interdisciplinary analysis of stride length perturbations during treadmill running". *RQES*. (Abstract) March Supplement.
- GARCÍA-VERDUGO, M. y LEIBAR, X. (1997), *Entrenamiento de la resistencia de los corredores de medio fondo y fondo*. Gymnos. Madrid.
- GRANA y cols. (1989), *Advances in Sports Medicine and Fitness*. Vol. 2. Year Book Medical Publishers, Inc. Chicago-London-Boca Raton.
- HEINERT, L. D. y cols. (1988), "Effect of stride length variation on oxygen uptake during level and positive grade treadmill running". *Research Quarterly for Exercise and Sport*. Vol. 59, n.º 2, pp. 127-130.
- HILL, D. W. y cols. (1997), "Responses to exercise at 92% and 100% of the velocity associated with $\dot{V}O_{2max}$ ". *International Journal of Sports Medicine*. Vol. 18, pp. 325-329.
- JONES, N. L., MCCARTNEY, N., GRAHAM, T. y cols. (1985), "Muscle performance and metabolism in maximal isokinetic cycling at slow and fast speeds". *J. Appl. Physiol.* 59: 132-136.
- KLEIN, R. M. y cols. (1997), "Metabolic and biomechanical variables of two incline conditions during distance running". *Medicine and Science in Sport and Exercise*. Vol. 29, n.º 12, pp. 1625-1630.
- LEHMANN, F. (1997), *La rapidità nell'allenamento giovanile dello sprint*. Sds. n.º 25, pp. 47-53.
- NEUMANN, G. y GOHLITZ, D. (1998), *Il controllo dell'allenamento nelle corse dell'atletica leggera*. Sds. n.º 40, pp. 44-50.
- PLYLEY, M. J. y cols. (1985), "The effect of stride frequency variation on oxygen uptake during downhill running". (Abstract). *Canadian Journal of Applied Sport Sciences*. Vol. 10, n.º 24, pp. 25.
- POWERS, S.K. y cols. (1982), "Oxygen uptake and ventilatory responses to various stride lengths in trained women". *American Corrective Therapy Journal*. n.º 36, pp. 5-8.
- VERCHOSHANSKI, J.V. (1996), *Quickness and velocity in sports movements*. NSA. Vol. 11, n.º 2-3, pp. 29-37.
- (1997), *Un nuovo sistema di allenamento negli sport ciclici*. Sds. n.º 27, pp. 33-45.
- VILLANUEVA, L. (1994), "El control del entrenamiento". *Comunicaciones técnicas*. n.º 6, pp. 7-27.
- VOSS, G. y KREUSE, T. (1997), *Programmi elementari di movimento e presupposti neuromuscolari di base*. Sds. n.º 25, pp. 42-46.
- WILSON, G. J. y cols. (1996), *Stretch shorten cycle performance: detrimental effects of not equating the natural and movement frequencies*. *RQES*. Vol. 67, n.º 4, pp. 373-379.
- WILLIAMS, T. J. y KRAHENBUHL, G. S. (1997), "Menstrual cycle phase and running economy". *Medicine Science and Sports Exercise*. Vol. 29, n.º 12, pp. 1609-1618.