

Monograph

# Influencia de la Manipulación de la Marcha sobre la Economía de Carrera en Corredoras de Distancia

Wayland Tseh<sup>1</sup>, Jennifer L Caputo<sup>2</sup> y Don W Morgan<sup>2</sup><sup>1</sup>Department of Health and Applied Human Sciences, University of North Carolina Wilmington, USA.<sup>2</sup>Department of Health and Human Performance, Middle Tennessee State University, Murfreesboro, USA.

## RESUMEN

El propósito de esta investigación fue determinar si la manipulación de la marcha influencia la economía de carrera. Luego de 30 minutos de adaptación a una velocidad de carrera en cinta de 3.35 m/s y de la determinación del  $\text{VO}_2$  máx, nueve corredoras de distancia (edad =  $23.3 \pm 4.2$  años; masa corporal =  $57.5 \pm 5.2$  kg; tall =  $1.64 \pm 0.10$  m; grasa corporal =  $11.4 \pm 2.4$  %;  $\text{VO}_2$  pico =  $54.9 \pm 4.1$  ml/kg/min) completaron dos sesiones de carrera en cinta ergométrica. En cada sesión, se midió el  $\text{VO}_2$  de reposo con los sujetos de pie, luego de lo cual corrieron durante 6 minutos a una velocidad de 3.35 m/s en las siguientes cuatro condiciones experimentales aleatorias: (a) carrera normal (NL), (b) con las manos en la espalda (BK), (c) con las manos sobre la cabeza (HD) y (d) exagerando la oscilación vertical (VOSC). Durante los últimos 2 minutos de cada carrera se recolectaron muestras de aire espirado que fueron analizadas para determinar el consumo de oxígeno ( $\text{VO}_2$ ). Los datos obtenidos promediando los valores del  $\text{VO}_2$  entre las sesiones indicaron que las condiciones experimentales VOSC ( $51.0 \pm 2.5$  mL/kg/min) y HD ( $46.1 \pm 2.0$  mL/kg/min) resultaron en valores del  $\text{VO}_2$  significativamente mayores ( $p < 0.05$ ) en comparación con las condiciones experimentales BK ( $43.9 \pm 2.4$  mL/kg/min) y NL ( $43.4 \pm 2.6$  mL/kg/min). El  $\text{VO}_2$  medido durante la condición experimental VOSC también fue mayor que el medido durante la condición experimental HD. En conjunto, estos resultados sugieren que la manipulación específica de la marcha puede provocar marcadas reducciones en la economía de carrera entre corredoras de distancia.

**Palabras Clave:** biomecánica, consumo de oxígeno, carreras de distancia, corredoras

## INTRODUCCION

La economía de carrera se define como un estado estable aeróbico ( $\text{VO}_2$ ) para una velocidad de carrera o caminada dada (Daniels, 1985; Klein et al., 1997; Morgan et al., 1989; 1990; Saunders et al., 2004). Para mejorar la economía de carrera, los entrenadores pueden intentar manipular ciertos aspectos del movimiento de la carrera de un atleta (Slocum and Bowerman, 1962). Si bien ciertas investigaciones han mostrado una asociación entre la economía de carrera y diversos parámetros cinemáticos y cinéticos (Cavanagh et al., 1977; Cavanagh and Williams, 1982; Frederick, 1985; Kyrolainen et al., 2001; Lake and Cavanagh, 1996; Williams and Cavanagh, 1987; Williams et al., 1987), existen pocas investigaciones que describan los cambios en la economía de carrera que resultan de la manipulación directa de la mecánica de la marcha. En 1952, Högberg evaluó a un único sujeto bien entrenado y observó que a medida que se acortaba o alargaba sistemáticamente la longitud del paso (SL), en comparación con una longitud del paso seleccionada libremente (FCSL), el  $\text{VO}_2$  se incrementaba en forma curvilínea. Hallazgos más recientes también han revelado incrementos en el  $\text{VO}_2$  del 7.1% y

4.7% cuando se alargó y acortó la SL en un +8.0% y -8.0%, respectivamente, de la longitud de la pierna (LL) a partir de la FC SL.

Los resultados de este estudio mostraron una respuesta en forma de U para el  $\text{VO}_2$  entre corredores competitivos que realizaron carreras con longitudes de la SL a diversos porcentajes de la LL a partir de su FC SL (Morgan and Martin, 1986). En otro estudio de bioretroalimentación (auditiva y visual), Morgan et al (1994b) mostraron que el  $\text{VO}_2$  se incrementaba en un 5.4%, 9.8% y 12.6% a medida que la SL se alargaba en un +4.2%, +9.5% y 12.2%, respectivamente, a partir de la FC SL de cada participante. Sin embargo, respecto del acortamiento, el  $\text{VO}_2$  se incrementó en un 3.2% cuando la SL se acortó en un -19.8% a partir de la FC SL de cada participante (Morgan et al., 1994b). En conjunto, estos y otros estudios (e.g. Hreljac and Martin, 1993; Kaneko et al., 1987) demuestran que las demandas energéticas se incrementan en forma de U cuando la SL se alarga o acorta a partir de la SL preferida por cada individuo.

Si bien las variaciones en la SL pueden alterar la economía de carrera, sorprendentemente poco se sabe respecto de los efectos de otras manipulaciones biomecánicas sobre el  $\text{VO}_2$ . En un estudio publicado en forma de *abstract*, Egbounu et al (1990) reportaron que el  $\text{VO}_2$  se incrementó cuando corredoras de distancia entrenadas efectuaron carreras con sus manos en la espalda o cuando corrieron con una oscilación vertical exagerada (i.e., un mayor movimiento de rebote). Sin embargo, estos autores señalaron que el incremento en el  $\text{VO}_2$  (rango = 4.0% a 4.6%) con cada alteración en el estilo de carrera fue de una magnitud relativamente pequeña. En base a estos datos, se sugirió que la relación directa entre la mecánica de la carrera y el  $\text{VO}_2$  puede no ser particularmente fuerte (Egbounu et al., 1990).

En contra de estos antecedentes, el propósito del presente estudio fue comprender en mayor medida la cuestión de si las alteraciones en el estilo de carrera producen cambios en la economía de carrera entre corredoras de distancia entrenadas. Al realizar esta investigación, pensamos en extender los resultados de Egbounu et al (1990) controlando cuidadosamente el ambiente de evaluación, examinando el impacto energético de otras manipulaciones biomecánicas que no han sido estudiadas previamente y permitiendo que los sujetos tuvieran una amplia exposición a la carrera normal en cinta y con cada manipulación de la marcha.

## METODOS

### Sujetos

Nueve corredoras de distancia recreacionales (edad =  $23.3 \pm 4.2$  años; masa corporal =  $57.5 \pm 5.2$  kg; tall =  $1.64 \pm 0.10$  m; grasa corporal =  $11.4 \pm 2.4$  %;  $\text{VO}_{2\text{pico}}$  =  $54.9 \pm 4.1$  ml/kg/min) sin limitaciones ortopédicas o cardiovasculares para realizar ejercicios, fueron voluntarias para participar en el presente estudio. Previamente a la inclusión y a la evaluación, se obtuvo el consentimiento informado por escrito de cada participante, y la aprobación del Comité de Revisión Institucional de la Universidad. Luego de la medición de la talla y la masa corporal, se midió el espesor de los pliegues cutáneos en siete sitios (pectoral, tricipital, axilar, subescapular, suprailíaco, abdominal y muslo medio) utilizando un calibre para pliegues cutáneos Harpenden (Baty International, England). Se obtuvo un mínimo de dos mediciones de cada pliegue cutáneo de acuerdo con las normas establecidas por el Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM, 2007). Si las mediciones de los pliegues cutáneos en cada sitio diferían en más de 1.0 mm, se realizaba una tercera medición y se promediaban las dos mediciones que tuvieran una diferencia menor a 1.0 mm. Los valores medios de los pliegues cutáneos fueron sumados y se utilizaron en una ecuación específica del sexo para estimar la densidad corporal (ACSM, 2007). El porcentaje de grasa corporal fue obtenido sustituyendo el valor de la densidad en las ecuaciones de Siri y Brozek (ACSM, 2007). Los porcentajes relativos de grasa corporal fueron derivados de las dos ecuaciones y promediados para obtener un único valor del porcentaje de grasa corporal para cada participante.

El protocolo del estudio implicó que cada participante completara cuatro sesiones de evaluación en un período de 2 a 3 semanas. En un esfuerzo por minimizar variaciones en el  $\text{VO}_2$ , se les pidió a los participantes que utilizaran el mismo calzado y la misma vestimenta para cada sesión. También se minimizaron las variaciones circadianas haciendo que los participantes realizaran las evaluaciones a la misma hora del día. Además, se les pidió a los participantes que evitaran consumir alimentos o bebidas que contuvieran cafeína en las tres horas previas a las sesiones de evaluación. Los detalles de cada sesión de evaluación se presentan en la siguiente sección.

### Sesión 1: Adaptación al Ejercicio en Cinta Ergométrica

El objetivo principal de esta sesión fue establecer la presencia de una respuesta metabólica estable a la velocidad de evaluación (3.35 m/s) y determinar la oscilación vertical de cada sujeto a esta velocidad. Para llevar a cabo esto, cada participante realizó una carrera en cinta de 6 minutos de duración sin inclinación en la cinta ergométrica (gradiente del

0%). Se determinó que esta velocidad de carrera era un ritmo confortable que podía ser utilizado rutinariamente por los participantes durante su entrenamiento (76.5% del  $\text{VO}_{2\text{pico}}$ ). Cada prueba de carrera estuvo separada por un periodo de recuperación de 5 a 10 minutos.

Antes de la realización de las carreras, se le colocó a cada sujeto un marcador reflector en el borde superior del trocánter mayor de la pierna izquierda (Cavanagh and Williams, 1982). En todas las pruebas, los participantes respiraron a través de una boquilla conectada a una válvula de baja resistencia. La velocidad de la cinta fue verificada utilizando una célula fotoeléctrica montada en la cinta y que registró el tiempo necesario para que la cinta realizara ocho revoluciones. Este valor fue utilizado, conjuntamente con la longitud de la cinta, para determinar la velocidad del ergómetro en los primeros minutos del test. El aire espirado fue recolectado en un globo meteorológico durante los dos últimos minutos de cada prueba y analizado para determinar el  $\text{VO}_2$ . Las muestras de aire espirado se hicieron pasar por un tubo de secado y se analizaron utilizando un analizador de oxígeno (Applied Electrochemistry Ametek S-3A/I) y un analizador de dióxido de carbono (AEI Technologies, Pittsburgh, PA, USA) que fueron calibrados previamente utilizando gases estándar de concentración conocida (16.00%  $\text{O}_2$  y 4.00%  $\text{CO}_2$ ). Se utilizó un gasómetro Rayfield (Rayfield Equipment Ltd., Waitsfield, VT, USA) calibrado con un dispositivo Collins 120-L Tissot (Warren E. Collins, Braintree, MA, USA) para cuantificar los volúmenes de gases espirados. Durante los últimos 60 segundos de cada prueba, se filmó la marcha de cada sujeto con una videocámara ubicada aproximadamente a 11 metros de la cinta ergométrica y posicionada perpendicularmente al plano de movimiento. La oscilación vertical del marcador colocado en la cadera de cada corredor fue digitalizada en un rango de 20 a 25 zancadas sucesivas utilizando un dispositivo Peak Motus Measurement System (Revere Parkway, CO, USA). Estos valores fueron promediados para determinar un valor medio y su desviación estándar (DE) de oscilación vertical en cada prueba. Los datos de la oscilación vertical fueron obtenidos a partir de cinco carreras y fueron subsiguientemente promediados para calcular la oscilación vertical normal (media  $\pm$  DE) de cada sujeto.

## **Sesión 2: Determinación de la Potencia Aeróbica Pico ( $\text{VO}_{2\text{pico}}$ )**

El objetivo de la segunda sesión de evaluación fue determinar el  $\text{VO}_{2\text{pico}}$  de cada corredor. Luego de una entrada en calor individualizada, los participantes comenzaron a correr a una velocidad de 3.35 m/s con una inclinación de 0%. Luego de los primeros dos minutos de carrera, la velocidad de la cinta se incrementó a 3.57 m/s, y se mantuvo constante hasta la finalización del test. A intervalos de 2 minutos se incrementó la inclinación de la cinta en un 2.5% hasta que los sujetos llegaran al agotamiento. Durante el test, se monitoreó la frecuencia cardíaca utilizando el trazado electrocardiográfico. En la parte final del test, se recolectaron muestras de aire espirado en globos meteorológicos a intervalos de 1 min. En el momento en que los participantes indicaban, a través de una señal, que estaban a menos de un minuto de finalizar el test, se realizó una última recolección de aire de 30-60 segundos. El  $\text{VO}_{2\text{pico}}$  se definió como el mayor valor de  $\text{VO}_2$  obtenido durante el curso del test.

## **Sesiones 3 y 4: Manipulación de la Marcha**

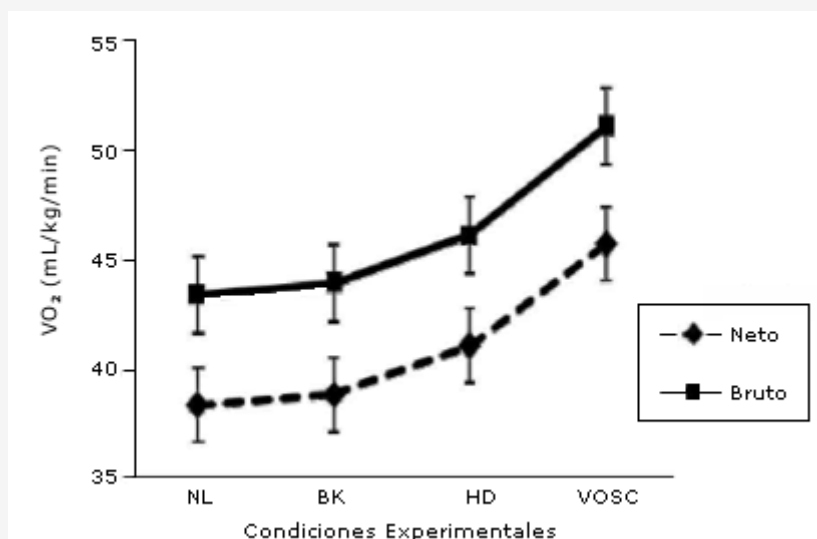
El objetivo de la tercera y cuarta sesión de evaluación fue perturbar directamente la técnica de carrera de cada participante y medir cualquier cambio en el  $\text{VO}_2$ . Se realizaron dos sesiones de evaluación para cada sesión experimental, separadas por aproximadamente 1 semana, para determinar la confiabilidad de las mediciones del  $\text{VO}_2$  con las manipulaciones biomecánicas específicas.

Al comienzo de cada sesión, los participantes se mantuvieron de pie sobre la cinta ergométrica durante 10 minutos y se recolectó una muestra de aire espirado entre los minutos 5 y 10 para medir el  $\text{VO}_2$  de reposo. Una vez determinado el  $\text{VO}_2$  de reposo en posición de pie, cada participante corrió durante 6 minutos a 3.35 m/s y con una inclinación del 0% bajo cuatro condiciones experimentales asignadas aleatoriamente. En la primera condición los sujetos corrieron normalmente (NL). En la segunda condición los participantes corrieron tomándose las manos por detrás de su cuerpo, a la altura de la columna lumbar (BK). En la tercera condición, los participantes corrieron tomándose las por encima de la cabeza (HD). En la cuarta condición, los sujetos corrieron con un movimiento de oscilación vertical exagerado (VOSC), para lo cual debían tocar, ligeramente con la parte superior de la cabeza, una almohadilla ubicada por encima de la cabeza. Para cada corredor, esta almohadilla fue colocada a una distancia equivalente al valor normal de oscilación vertical medido en la Sesión 1 más cuatro desviaciones estándar.

En la prueba VOSC, así como también en las otras condiciones experimentales (NL, BK y HD), la oscilación vertical fue determinada mediante la digitalización de la oscilación vertical del marcador ubicado en la cadera durante el último minuto de la prueba. En cada condición experimental, se recolectaron muestras de aire espirado, utilizando globos meteorológicos, en los dos últimos minutos de la prueba; los cuales fueron analizados para determinar el valor bruto del  $\text{VO}_2$ .

## **Análisis Estadísticos**

Se utilizó estadística descriptiva (media  $\pm$  DE) para describir la muestra de sujetos. La estabilidad de las medidas del  $\text{VO}_2$  obtenidas en la Sesión 1 fue valorada mediante el análisis de varianza ANOVA para medidas repetidas y calculando el coeficiente de variación (CV) y el coeficiente de correlación interclase a través de los 6 minutos de la carrera de adaptación a la cinta. Para las sesiones 3 y 4, se obtuvieron los valores brutos del  $\text{VO}_2$  en cada condición experimental, los cuales fueron comparados utilizando la prueba t de Student para medidas apareadas. Para cada condición experimental, se determinó la confiabilidad de los datos brutos del  $\text{VO}_2$  obtenidos a intensidad submáxima entre las Sesiones 3 y 4, calculando el CV y el coeficiente de correlación interclase. Los resultados de las pruebas t para medidas apareadas revelaron que no hubo diferencias entre las sesiones respecto del valor bruto de  $\text{VO}_2$  para cada condición experimental. Los valores promedios del CV inter-sesión estuvieron en el rango de 0.4% a 2.9% en cada condición experimental, mientras que el valor del coeficiente de correlación interclase para el valor bruto del  $\text{VO}_2$  fue 0.88. El valor neto del  $\text{VO}_2$  fue calculado sustrayendo el valor del  $\text{VO}_2$  obtenido en reposo con los sujetos en posición de pie, del valor bruto del  $\text{VO}_2$  (ejercicio). La razón para calcular el valor neto del  $\text{VO}_2$  fue cuantificar la demanda aeróbica de la carrera luego de determinar la demanda energética producida simplemente por mantenerse de pie. Las pruebas t para datos apareados revelaron que no hubo diferencias entre las sesiones respecto del valor neto de  $\text{VO}_2$  en cada condición experimental. Los valores promedios del CV inter-sesión para el  $\text{VO}_2$  estuvieron en el rango del 1.3% al 2.4% para cada condición experimental, mientras que el coeficiente de correlación interclase para el  $\text{VO}_2$  neto fue de 0.83. Además, como se muestra en la Figura 1, la respuesta media del  $\text{VO}_2$  neto a través de las cuatro condiciones biomecánicas fue similar a la observada para el  $\text{VO}_2$  bruto. Dada la similitud en la estabilidad y en las respuestas del  $\text{VO}_2$  bruto y neto con cada condición experimental, los análisis fueron realizados utilizando los valores brutos del  $\text{VO}_2$  para cada condición experimental.



**Figura 1.** Valores promedios del  $\text{VO}_2$  bruto y neto para las cuatro condiciones de carrera. NL = Normal; BK = Manos Detrás del Cuerpo; HD = Manos sobre la Cabeza; VOSC = Oscilación Vertical Exagerada

Las diferencias globales en los valores brutos medios del  $\text{VO}_2$  para las cuatro condiciones experimentales fueron analizadas utilizando el análisis de varianza ANOVA para medidas repetidas. Se utilizó el test post hoc de diferencia honesta significativa (HSD) de Tukey para ubicar las diferencias entre las condiciones experimentales. Para todos los análisis, la significancia estadística fue establecida a  $p \leq 0.05$ .

## RESULTADOS

Los análisis de los datos recolectados durante la Sesión 1 revelaron que los participantes tuvieron una respuesta metabólica estable antes de la manipulación de la marcha. Esto fue confirmado por la ausencia de diferencias en el valor bruto del  $\text{VO}_2$  entre las pruebas de carrera (Prueba 1  $\text{VO}_2 = 43.1 \pm 1.8$  ml/kg/min; Prueba 2  $\text{VO}_2 = 42.3 \pm 1.9$  ml/kg/min; Prueba 3  $\text{VO}_2 = 42.8 \pm 1.5$  ml/kg/min; Prueba 4  $\text{VO}_2 = 42.8 \pm 1.9$  ml/kg/min; Prueba 5  $\text{VO}_2 = 43.3 \pm 1.8$  ml/kg/min) y por la presencia de un valor del CV y del coeficiente de correlación interclase para el  $\text{VO}_2$  bruto de 4.6% y de 0.99,

respectivamente.

Los resultados del análisis de varianza ANOVA para medidas repetidas y del test de Tukey HSD indicaron que los valores brutos del  $\text{VO}_2$  para la condición VOSC ( $51.0 \pm 2.5$  ml/kg/min) y para la condición HD ( $46.1 \pm 2.0$  ml/kg/min) fueron significativamente mayores que los observados durante las pruebas BK ( $43.9 \pm 2.4$  ml/kg/min) y NL ( $43.4 \pm 2.6$  ml/kg/min). Además, el valor bruto de  $\text{VO}_2$  medido durante la prueba VOSC fue mayor que el observado durante la prueba HD. No se hallaron diferencias significativas en el valor bruto del  $\text{VO}_2$  entre las condiciones BK y NL.

## DISCUSION

---

Como se describió previamente, el valor medio del  $\text{VO}_{2\text{pico}}$  ( $54.9 \pm 4.1$  mL/kg/min) de nuestros participantes reflejó un buen nivel de aptitud aeróbica. El rango de variabilidad diaria en el valor bruto del  $\text{VO}_2$  observada a través de las cuatro condiciones experimentales es comparable a los valores del CV para el  $\text{VO}_2$  (1% al 3%) reportadas para corredores adultos entrenados que realizaron carreras en cinta ergométrica de intensidad baja a moderada (Morgan et al., 1991; 1994a; 1995; Pereira and Freedson, 1997; Saunders et al., 2004; Williams et al., 1991). Además, el coeficiente de correlación interclase promedio para el  $\text{VO}_2$  bruto, calculado a partir de los tests repetidos para cada condición experimental (0.88), confirmaron que los sujetos exhibieron respuestas diarias del  $\text{VO}_2$  relativamente consistentes. En conjunto, estos datos indican un aceptable nivel de estabilidad día a día, en el  $\text{VO}_2$  bruto alcanzado con las condiciones experimentales y respaldan nuestra decisión de promediar los valores brutos del  $\text{VO}_2$  obtenidos para cada condición experimental (manipulación de la marcha).

Los datos del presente estudio sugieren que la economía de carrera puede verse significativamente empeorada en mujeres corredoras de distancia, si estas adoptan un estilo de marcha que se desvíe substancialmente de su patrón normal de carrera. En relación a la condición NL, se observó un pequeño y no significativo incremento (1.3%) en el valor bruto del  $\text{VO}_2$  cuando los participantes corrieron con sus manos en la espalda. En contraste, el valor promedio del  $\text{VO}_2$  bruto se incrementó en un 7% y un 19% con las condiciones experimentales HD y VOSC, respectivamente. Estos resultados difieren de los obtenidos por Egbuonu et al (1990), quienes reportaron incrementos en el  $\text{VO}_2$  del 4.0 y 4.6% respectivamente, cuando mujeres corredoras de distancia corrieron con sus manos detrás de su cuerpo o con un movimiento de rebote exagerado. El mayor incremento en el valor bruto del  $\text{VO}_2$  durante la condición VOSC puede estar relacionado con la oscilación vertical ligeramente mayor empleada en el presente estudio (VOSC + 4 DE), en comparación con la utilizada en el estudio de Egbuonu et al (1990) (VOSC + 3 DE). Todos los corredores mostraron un mayor grado de sensibilidad a la prueba VOSC y se observó un amplio espectro de respuestas individuales (rango de incremento en el  $\text{VO}_2 = 8.5\% - 35.6\%$ ). Interesantemente, el menor incremento relativo individual en el valor bruto del  $\text{VO}_2$  detectado en la condición VOSC (8.5%) fue de casi el doble del observado en el estudio de Egbuonu et al (1990) (4.6%) para la misma manipulación de la marcha.

En la presente investigación, casi no se observaron cambios en el valor bruto del  $\text{VO}_2$  cuando los participantes corrieron con ambas manos detrás del cuerpo. Con respecto a este hallazgo, la oscilación vertical durante la carrera en la condición BK (8.7 cm) fue casi idéntica a la observada durante la condición NL (8.9 cm). Esta similitud en los valores de oscilación vertical puede explicar parcialmente la falta de diferencias significativas en los valores brutos del  $\text{VO}_2$  entre estas dos condiciones. Respecto de la condición HD, la oscilación vertical (9.5 cm) fue un 7% mayor que la observada durante la condición NL. Este mayor incremento en la oscilación vertical pudo haber contribuido al incremento en el  $\text{VO}_2$  observado durante la condición HD. Además, debido a que la ubicación de las manos por encima de la cabeza eleva también la ubicación del centro de masa, probablemente se requirió de una mayor actividad muscular para mantener y estabilizar el cuerpo durante la carrera, lo cual pudo derivar en el incremento del  $\text{VO}_2$ .

Como se señalara previamente, existen pocas investigaciones para respaldar o invalidar directamente la asociación entre la mecánica de carrera y la economía de carrera. En uno de los pocos estudios comprehensivos que investigaron esta cuestión, Williams y Cavanagh (1987) determinaron que hay diversas variables biomecánicas (e.g., potencia positiva neta, la ubicación de las piernas y del tronco, el ángulo máximo de flexión plantar, la flexión máxima de la rodilla durante la fase de apoyo, la velocidad mínima de la rodilla, la oscilación de los brazos y la oscilación vertical) diferenciaron a los corredores con valores altos, medios y bajos de  $\text{VO}_2$ . Desde una perspectiva mecanística, la adopción de un patrón de marcha particular puede influenciar el  $\text{VO}_2$  al alterar la cinemática de aproximación previa al contacto con el suelo, incrementando la actividad muscular de las extremidades inferiores y los niveles de co-activación muscular, produciendo mayores niveles de potencia mecánica interna y externa, cambiando los patrones de reclutamiento o interrumpiendo la frecuencia de resonancia normal de oscilación de las extremidades inferiores (Holt et al., 1990; Kaneko et al., 1987; Martin and Morgan, 1992; Williams, 1990; Williams and Cavanagh, 1987).

Es razonable cuestionar la aplicación práctica de nuestros hallazgos debido a que es improbable que los corredores

adopten patrones de marcha antinaturales en circunstancias normales. No obstante, la magnitud del incremento en los valores brutos del  $\text{VO}_2$  reportados para las condiciones VOSC y HD hacen surgir la posibilidad de que se puedan lograr mejoras significativas en la economía de carrera mediante la manipulación de la marcha en corredores de distancia que exhiben aspectos específicos del estilo de la carrera que se desvían marcadamente de los valores característicos. En relación a este punto, algunos corredores de elite muestran valores de  $\text{VO}_2$  que igualan o exceden a aquellos medidos en sujetos desentrenados (Morgan et al., 1995). Por lo tanto, es concebible que los corredores que tienen una pobre economía de carrera, puedan beneficiarse de programas de entrenamientos dirigidos a la modificación de aspectos específicos de la mecánica de carrera. Si bien, en general, los resultados de los estudios en donde se ha llevado a cabo una retroalimentación biomecánica o entrenamientos de la resistencia no han sido positivos (Lake and Cavanagh, 1996; Messier and Cirillo, 1989; Miller et al., 1990; Petray and Krahenbuhl, 1985), Morgan et al (1994b) reportaron que un período de 3 semanas de entrenamiento mediante retroalimentación audiovisual provocó el cambio en la longitud de la zancada seleccionada libremente (FCSL) hacia una ubicación más óptima en la curva SL- $\text{VO}_2$  y redujo el  $\text{VO}_2$  en casi un 4% en corredores de distancia recreacionales con patrones antieconómicos de FCSL. Aunque esta reducción relativamente pequeña en las demandas aeróbicas submáximas puede ser vista como trivial, se ha estimado que una mejora del 4% en la economía de carrera puede trasladarse a una mejora de más de 3 minutos en el rendimiento durante una maratón (Morgan et al., 1994b). Para corredores entrenados o de elite, este nivel de mejora en el rendimiento puede alterar marcadamente su orden de llegada en una carrera de larga distancia.

## CONCLUSIONES

---

En conclusión, los resultados de la presente investigación muestran que la manipulación específica de la marcha puede producir un cambio substancial en el consumo de oxígeno ( $\text{VO}_2$ ) durante la realización de carreras de intensidad submáxima en corredoras de distancia. Si bien es una especulación, la magnitud de los cambios observados en la economía de carrera en algunas condiciones experimentales sugiere que la modificación de características biomecánicas en corredores que muestran patrones de marcha antieconómicos puede potencialmente derivar en la mejora de la economía de carrera y del rendimiento de carrera.

### Puntos Clave

- Esta investigación demuestra que la manipulación de variables biomecánicas específicas puede producir un incremento substancial en el costo de oxígeno ( $\text{VO}_2$ ) de la carrera submáxima en corredoras de distancia.
- La magnitud del incremento en el  $\text{VO}_2$  reportada en este estudio, hace surgir la posibilidad de que se puedan lograr mejoras significativas en la economía de carrera mediante la manipulación de la marcha en corredores de distancia que exhiben aspectos específicos del estilo de la carrera que se desvían marcadamente de los valores óptimos.

## REFERENCIAS

---

1. American College of Sports Medicine (2007). ACSMs guidelines for exercise testing and prescription. 7th edition. *Lippincott Williams and Wilkins, Philadelphia*
2. Cavanagh, P., Pollock, M. and Landa, J (1977). A biomechanical comparison of elite and good distance runner. *Annals of the New York Academy of Sciences* 3301, 328-345
3. Cavanagh, P. and Williams, K (1982). The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 114, 30-35
4. Daniels, J (1985). A physiologists view on running economy. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 117, 332-338
5. Egbunu, M., Cavanagh, P. and Miller, T (1990). Degradation of running economy through changes in running mechanics. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 222, S17
6. Frederick, E (1985). Synthesis, experimentation, and biomechanics of economical movement. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 117, 44-47
7. Holt, K., Hamill, J. and Andres, R (1990). The force-driven harmonic oscillator as a model for human locomotion. *Human Movement Science* 99, 55-68
8. Hreljac, A. and Martin, P (1993). The relationship between smoothness and economy during walking. *Biological Cybernetics* 669, 213-218
9. Kaneko, M., Matsumoto, M., Ito, A. and Fuchimoto, T (1987). Optimum step frequency in constant speed running. *Biomechanics X-B. Ed: Jonsson, B. Champaign, Illinois: Human Kinetics.* 803-807
10. Kyrolainen, H., Belli, A. and Komi, P (2001). Biomechanical factors affecting running economy. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33, 1000-1005

11. Klein, R., Potteiger, J. and Zebas, C (1997). Metabolic and biomechanical variable of two incline conditions during distance running. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 29, 1625-1630
12. Lake, M. and Cavanagh, P (1996). Six weeks of training does not change running mechanics or improve running economy. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 28, 860-869
13. Martin, P. and Morgan, D (1992). Biomechanical considerations for economical walking and running. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 24, 467-474
14. Messier, S. and Cirillo, K (1989). Effects of a verbal and visual feedback system on running technique, perceived exertion, and running economy in female novice runners. *Journal of Sports Science* 7, 113-126
15. Miller, T., Milliron, M. and Cavanagh, P (1990). The effects of running mechanics feedback training on running economy. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 22, S17
16. Morgan, D., Bransford, D., Costill, D., Daniels, J., Howley, E. and Krahenbuhl, G (1996). Variation in the aerobic demand of running among trained and untrained subjects. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 28, 404-409
17. Morgan, D. and Martin, P (1986). Effects of stride length alteration on racewalking economy. *Canadian Journal of Applied Sport Science* 11, 211-217
18. Morgan, D., Craib, M., Krahenbuhl, G., Woodall, K., Jordan, S., Filarski, K., Burleson C. and Williams, T (1994). Daily variation in running economy among well-trained distance runners. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 65, 72-77
19. Morgan, D., Martin, P., Baldini, F. and Krahenbuhl, G (1990). Effects of a prolonged maximal run on running economy and running mechanics. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 22, 834-840
20. Morgan, D., Martin, P., Craib, M., Caruso, C. and Hopewell, R (1994). Effect of step length optimization on the aerobic demand of running. *Journal of Applied Physiology* 77, 245-251
21. Morgan, D., Martin, P. and Krahenbuhl, G (1989). Factors affecting running economy. *Sports Medicine* 7, 310-330
22. Morgan, D., Martin, P., Krahenbuhl, G. and Baldini, F (1991). Variability in running economy and mechanics among trained male runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 23, 378-383
23. Pereira, M. and Freedson, P (1997). Intraindividual variation of running economy in highly trained and moderately trained males. *International Journal of Sports Medicine* 18, 118-124
24. Petray, C. and Krahenbuhl, G (1985). Running training, instruction on running technique, and running economy in 10-year old males. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 56, 251-255
25. Saunders, P., Pyne, D., Telford, R. and Hawley, J (2004). Reliability and validity of running economy in elite distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 36, 1972-1976
26. Slocum, D. and Bowerman, W (1962). The biomechanics of running. *Clinical orthopaedics*. Eds: Slocum, D. and Larson, R. Philadelphia, Pennsylvania: J.B. Lippincott. 39-45
27. Williams, K (1990). Relationship between distance running biomechanics and running economy. *Biomechanics of Distance Running*. Ed: Cavanagh, P. Champaign, Illinois: Human Kinetics
28. Williams, K. and Cavanagh, P (1987). Relationship between distance running mechanics, running economy, and performance. *Journal of Applied Physiology* 63, 1236-1245
29. Williams, K., Cavanagh, P. and Ziff, J (1987). Biomechanical studies of elite female distance runners. *International Journal of Sports Medicine* 8, 107-118
30. Williams, T., Krahenbuhl, G. and Morgan, D (1991). Daily variation in running economy of moderately trained male runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 23, 944-948

## Cita Original

Wayland Tseh, Jennifer L. Caputo and Don W. Morgan. Influence Of Gait Manipulation On Running Economy In Female Distance Runners. *Journal of Sports Science and Medicine* (2008) 7, 91 - 95