PubliCE, (PubliCE) 2008

Monograph

Características Antropométricas, de la Zancada y de la Fuerza en Corredores Keniatas de Fondo

Pui W Kong[1] y Hendrik de Heer[2]

[1]*Department of Kinesiology.*
[2]*Department of Psychology, University of Texas at El Paso, Texas, USA.*

RESUMEN

En el presente estudio se adoptó un método biomecánico para comprender el éxito de los corredores de distancia keniatas. Para esto, se analizaron las características antropométricas, de la zancada y de la fuerza en seis corredores de distancia de elite keniatas. Se midieron la frecuencia de zancada, la longitud relativa de zancada y el tiempo de contacto con el suelo a cinco velocidades de carrera (3.5 – 5.4 $m \cdot s^{-1}$) utilizando un sistema de captura de movimiento. Se midió el torque isométrico producido durante la extensión y flexión de la rodilla a seis ángulos y se determinó el índice isquiotibiales-cuádriceps (H:Q) a tres velocidades angulares utilizando un dinamómetro isocinético. Estos corredores se caracterizaron por un bajo índice de masa corporal (20.1 ± 1.8 kg·m-2), un bajo porcentaje de grasa corporal (5.1 ± 1.6%) y una circunferencia de pantorrilla pequeña (34.5 ± 2.3 cm). En todas las velocidades de carrera, el tiempo de toma de contacto con el suelo del pie derecho fue más breve ($p < 0.05$) (170 – 212 ms) en comparación con el pie izquierdo (177 – 220 ms). No se observaron diferencias bilaterales en las otras variables de movimiento o de fuerza. La fuerza isométrica máxima fue más baja que la de registrada en otros corredores (extensión de rodilla: 1.4 - 2.6 $Nm \cdot kg^{-1}$, flexión de rodilla: 1.0 – 1.4 $Nm \cdot kg^{-1}$) pero sus índices H:Q fueron más elevados que los registrados en atletas de otros deportes (1.03 ± 0.51 a 60°/s, 1.44 ± 0.46 a 120°/s, 1.59 ± 0.66 a 180°/s). Las delgadas extremidades de los corredores de distancia keniatas pueden contribuir de manera positiva al rendimiento por tener un bajo momento de inercia y así requerir menos esfuerzo muscular durante el balanceo de la pierna. El breve tiempo de toma de contacto con el suelo observado puede estar relacionado con la buena economía de carrera, pues hay menos tiempo para que la fuerza de frenado desacelere el movimiento del cuerpo hacia adelante. Estos corredores mostraron una asimetría de movimiento de poca importancia, aunque la diferencia puede ser muy pequeña para ser significativa en la práctica. Es necesario que se realicen más investigaciones a fin de confirmar si la simetría bilateral en la fuerza y los altos índices H:Q están relacionados con la genética, el entrenamiento o la ausencia de lesiones en estos corredores.

Palabras Clave: longitud de zancada, frecuencia de zancada, tiempo de toma de contacto con el suelo, torque isométrico, índice isquiotibiales-cuádriceps, asimetría

INTRODUCCION

Los corredores keniatas son muy reconocidos por su éxito en las pruebas de fondo (Manners, 1997; Onywera, et al., 2006). Hasta ahora, los corredores masculinos keniatas (y de África del Este) se encuentran en la cima de las listas mundiales de la Asociación Internacional de Federaciones de Atletismo (IAAF) en todos los eventos desde los 800 m. hasta la maratón

(Tabla 1). Alrededor de tres cuartos de los corredores keniatas más importantes provienen de la tribu Kalenjin (Manners, 1997), lo que representa alrededor del 12% de la población de Kenia (CIA World Factbook, 2008) y aproximadamente 1/2,000 de la población mundial. Aun así han ganado alrededor de tres octavos de las pruebas de fondo de nivel internacional en la rama masculina y tres veces más medallas Olímpicas en carrera de distancia que cualquier otra nación entera (Manners, 1997). Estos rendimientos se han descrito como "la mayor concentración geográfica de logros en los anales del deporte (Manners, 1997)."

Distancia	Porcentaje de corredores keniatas
800 m	30 %
1500 m	42 %
Carrera de obstáculos de 3 km.	64 %
5 km.	44 %
Pista de 10 km.	54 %
Calle de 10 km.	66 %
Media maratón	58 %
Maratón	58 %
Campo a través*	60%

Tabla 1. *Porcentaje de corredores keniatas masculinos entre los mejores 50 de la lista mundial de la IAAF del 2007. *Datos en base a las 10 mejores carreras del Campeonato Masculino de Cross Country de 12 km de la IAAF.*

Los investigadores han intentado obtener información valiosa de los factores contribuyentes detrás del notable rendimiento de estos atletas keniatas. Se ha planteado la hipótesis de que su éxito está relacionado con el hecho de que en general los keniatas viven y entrenan a gran altura (alrededor de 2000 m. por encima del nivel del mar) influenciando su capacidad de oxígeno. No obstante, la investigación no ha respaldado esta hipótesis, pues no se han hallado diferencias en el consumo máximo de oxígeno (VO_2máx) entre corredores de elite keniatas y escandinavos (Saltin et al., 1995b) o entre adolescentes sin entrenamiento keniatas y daneses (Andersen et al., 1987). Otra hipótesis sostiene que la nutrición de los atletas puede haber contribuido al éxito en la carrera. Mientras que la dieta de los corredores keniatas se ajusta a las recomendaciones de la Organización de Alimentos y Agricultura/ Organización Mundial de la Salud/ Universidad de las Naciones Unidas (FAO/WHO/UNU) para atletas de resistencia respecto del consumo de macro nutrientes (Christensen et al., 2002; Onywera et al., 2004), está lejos del consumo adecuado de vitaminas y minerales (Christensen, 2005). Durante los períodos de entrenamiento intenso previos a la competencia, los corredores keniatas se encuentran con un equilibrio negativo de energía (Fudge et al., 2007; Onywera et al., 2004) que lleva a una reducción de masa corporal (Onywera et al., 2004), lo que puede contribuir de manera potencial al éxito a corto plazo mediante la reducción del costo de energía de la carrera. Sin embargo, no se halló ninguna asociación entre la nutrición y el rendimiento en la maratón en los corredores africanos (Peters y Goetzsche, 1997).

El rendimiento de resistencia durante la carrera está relacionado de manera positiva a las fibras tipo I de los músculos esqueléticos (Coyle, 1999) pero esto no explica el éxito de los corredores keniatas, pues el tamaño y la composición de las fibras musculares son similares entre los corredores de elite keniatas y escandinavos (Saltin et al., 1995a). Una investigación reciente ha evaluado la expresión genética de los corredores keniatas pero no se ha confirmado ninguna asociación entre su composición genética y la resistencia (Scott et al., 2005). Otra presunción popular es que los niños keniatas corren largas distancias hasta llegar a la escuela. En comparación con la población general keniana, los corredores de elite keniatas recorrían un trayecto más largo hasta llegar a la escuela, y en su mayoría lo hacían corriendo (Onywera et al., 2006). Si bien no se hallaron diferencias asociadas con la entrenabilidad aeróbica entre los niños keniatas nacidos en las villas y los nacidos en la ciudad (Larsen et al., 2005), se ha especulado con que la actividad física durante la niñez, combinada con un entrenamiento intenso en la adolescencia, estaban relacionados con la alta capacidad aeróbica de los corredores keniatas (Saltin et al., 1995b). Otros factores que pueden asociarse de manera positiva al éxito de los corredores de distancia africanos incluyen su esbelta figura corporal (Larsen et al., 2004; Saltin et al., 1995a), una buena economía de carrera (Saltin et al., 1995b; Weston et al., 2000) y una mayor utilización fraccional del VO_2máx (Weston et al., 2000).

En la carrera, los factores biomecánicos pueden contribuir al rendimiento en términos de mejorar la economía de carrera y la prevención de lesiones (Williams, 2007). Se ha demostrado que la economía de carrera guarda relación con ciertas características de movimiento tales como la longitud de zancada (Morgan et al.,1994), el tiempo de toma de contacto con el suelo (Nummela et al., 2007), la oscilación vertical y los ángulos de las extremidades inferiores (Williams y Cavanagh,

1987). Las lesiones de las extremidades inferiores están relacionadas con la alteración de la mecánica de carrera (Willems et al., 2005) y los desequilibrios en la fuerza muscular (Orchard et al., 1997). Es posible que los corredores keniatas corran de una manera que contribuya de modo positivo a su rendimiento superior y esto derive en una menor prevalencia de lesiones. Para nuestro conocimiento, el único estudio biomecánico sobre corredores keniatas disponible en idioma inglés es un resumen de Enomoto y Ae (2005). Este estudio reportó diferencias cinemáticas entre corredores de elite keniatas y japoneses, y concluyó que los corredores keniatas podían balancear sus piernas hacia adelante con más rapidez y en un rango mayor. Aunque en este resumen se presentó información limitada, sus hallazgos resaltan que los factores biomecánicos pueden tener un papel significativo en el éxito de los corredores de distancia keniatas.

El presente estudio ha apuntado a adoptar un método biomecánico que contribuya a comprender el éxito de los corredores keniatas. Se analizaron las características antropométricas, de movimiento y fuerza de seis corredores de distancia de elite keniatas.

METODOS

Todos los procedimientos fueron aprobados por el Comité de Revisión Institucional, y se obtuvo el consentimiento por escrito antes de la recopilación de la información. Los participantes fueron seis corredores keniatas masculinos universitarios de elite, que al momento de realizarse el estudio competían para una universidad en los EUA en la 1° División de la Asociación Nacional de Deporte Universitario (NCAA). Todos los corredores nacieron en el Valle Rift, en Kenia, y pertenecían a la tribu Kalenjin; cinco de ellos pertenecían a los Nandi, la sub-tribu Kalenjin de la que provienen la mayoría de los corredores de elite keniatas (Onywera et al., 2006). Con excepción del participante 2, todos los corredores ganaron al menos un título *All-American*. La Tabla 2 presenta sus antecedentes demográficos y de carrera, y la Tabla 3 describe sus características físicas. Cada año, los participantes compiten aproximadamente desde septiembre hasta noviembre en carreras de cross country y desde enero hasta junio en pista. Durante el transcurso del año, la cantidad de sesiones de entrenamiento varía en alrededor de 11 sesiones y 170 km en las fases de máximo desarrollo hasta alrededor de 7 sesiones y 80 km hacia mediados del período competitivo.

Mediciones Antropométricas

Se midieron la altura, la masa, la longitud de la pierna (trocánter mayor hasta el maléolo lateral), la circunferencia de la pantorrilla (circunferencia máxima entre la rodilla y el tobillo) y la circunferencia del tobillo (circunferencia mínima justo por encima del maléolo lateral) de cada sujeto. Puesto que no se halló ninguna diferencia bilateral, se calculó un valor promedio de ambos lados, izquierdo y derecho, para cada parámetro de longitud y circunferencia. Para calcular el porcentaje de grasa corporal se realizaron mediciones de pliegues cutáneos en tres sitios (pecho, abdomen y muslo) y se utilizaron las ecuaciones de Jackson y Pollock (1978).

Sujeto	Sub-tribu Kalenjin	Historia familiar de carrera*	Medio de viaje hasta la escuela (edad 6-14 a.)	Entrenamiento organizado (años)	Mejores tiempos personales† y Eventos
1	Nandi	Sí	Caminata/ carrera A diario 6-13 km.	3.5	800 m.: 1:47 1500 m.: 3:44 10 km Cross Country: 29:36
2	Nandi	Sí	Caminata/ carrera A diario 6-13 km.	1.5	1500 m.: 3:46 5000 m.: 14:05 10 km Cross Country: 29:19
3	Keiyo	No	Caminata/ carrera A diario 6-13 km.	6	800 m.: 1:46
4	Nandi	Sí	Caminata/ carrera A diario 5-10 km.	5	5000 m.: 13:48 10,000 m.: 28:07
5	Nandi	Sí	Caminata/ carrera A diario 5-10 km.	4	5000 m.: 14:04 10,000 m.: 28:24
6	Nandi	Sí	Caminata/ carrera A diario 13 km.	5	5000 m.: 14:02 3000 m. Carrera de obstáculos: 8:31 10 km Cross Country: 28:39

Tabla 2. *Información demográfica, experiencia en entrenamiento y récord personal de seis corredores keniatas. *Al menos un*

miembro de la familia fue corredor competitivo. † El tiempo está expresado en minutos y segundos.

Variable	Presente estudio	Saltin et al. (1995b)*	Fudge et al. (2007)
Edad (años)	22.0 (1.8)	23 (2.1)	21.0 (2.0)
Masa (kg)	63.0 (7.3)	56.1 (1.2)	56.0 (3.4)
Altura (m)	1.77 (0.06)	1.71 (0.00)	1.74 (0.03)
Índice de masa corporal ($kg.m^{-2}$)	20.1 (1.8)	19.2†	18.3 (1.3)
Longitud de la pierna (m)	0.92 (0.06)		
Circunferencia de la pantorilla (cm)	34.5 (2.3)		
Circunferencia del tobillo (cm)	20.5 (1.5)		
Suma de los tres pliegues cutáneos (mm)	22.3 (5.8)		
Grasa corporal (%)	5.3 (1.6)		7.1 (2.5)

Tabla 3. *Mediciones antropométricas y composición corporal de seis corredores keniatas. Los datos son medias (± DE). *Datos de seis corredores de fondo keniatas medidos al nivel del mar. † Índice de masa corporal del mejor corredor keniata evaluado al nivel del mar.*

Características de la Zancada

Se colocaron marcadores reflectantes en el tobillo, en la cabeza del segundo metatarsiano y en el maléolo lateral de ambos pies (por encima del calzado) de cada sujeto. Cada participante corrió sobre una cinta ergométrica a cinco velocidades (3.5 $m{\cdot}s^{-1}$, 4.0 $m{\cdot}s^{-1}$, 4.5 $m{\cdot}s^{-1}$, 5.0 $m{\cdot}s^{-1}$ y 5.4 $m{\cdot}s^{-1}$) en un orden sistemático mientras se recopilaban los datos cinemáticos a 240 Hz mediante la utilización de un sistema de detector de movimiento de ocho cámaras (Vicon, Centennial, CO, EUA). Idealmente se quisiera utilizar el rango de velocidad que los corredores utilizarían en una carrera (5.6 $m{\cdot}s^{-1}$ hasta 7.5 $m{\cdot}s^{-1}$). Sin embargo, la velocidad máxima de la cinta ergométrica en el laboratorio era de 5.4 $m{\cdot}s^{-1}$. Se incluyeron algunas velocidades más lentas por dos razones: 1) a menudo los corredores utilizan velocidades más lentas para el entrenamiento, y 2) estudios previos han utilizado estas velocidades para evaluar a los corredores de distancia y por lo tanto se puede realizar una comparación entre los estudios. En cada velocidad, se les dio a los participantes el tiempo que necesitaran para familiarizarse con la misma. Ni bien el participante indicaba que se encontraba cómodo con la velocidad, se registraban 30 segundos de los datos cinemáticos. Se seleccionaron para analizar seis ciclos de zancada representativos consecutivos cerca del final del período de 30 segundos registrado. Los instantes de toma de contacto con el suelo y el despegue de los dedos del pie se identificaron de manera visual en base al desplazamiento de los marcadores de pie. Luego se calcularon adecuadamente el tiempo de contacto con el suelo, la frecuencia de zancada y la longitud relativa de zancada a fin de determinar las características de la zancada. Se definió a la toma de contacto con el suelo como la duración desde el contacto hasta el despegue de los dedos del mismo pie. La frecuencia de zancada midió la cantidad de contactos del pie por segundo. Se definió a la longitud de zancada como la distancia desde el punto de contacto de uno de los pies hasta el punto de contacto del pie opuesto. Se utilizó el análisis de varianza ANOVA para medidas repetidas (pierna x velocidad) para detectar las diferencias en cada parámetro de movimiento. El nivel de significancia estadística se estableció en 0.05.

Características de Fuerza

La fuerza de ambas piernas de todos los participantes se evaluó utilizando un dinamómetro isocinético (System 3 Pro, Sistema Médico de Biodex, NY, EUA) luego de la familiarización con el protocolo de esfuerzo sub-máximo. Se utilizó el torque isométrico como medida de la fuerza de la pierna, así como también el índice de torque isocinético para evaluar el equilibrio muscular agonista/antagonista. El torque isométrico pico del cuadriceps y los músculos isquiotibiales se midieron en seis ángulos: 40°, 50°, 60°, 70°, 80° y 90° de flexión de rodilla. Los participantes realizaron una prueba de 3 segundos para cada uno de los ángulos mencionados anteriormente con 60 s de recuperación entre las pruebas. El torque concéntrico y excéntrico pico de ambos grupos musculares se midió a tres velocidades angulares: 60°/s, 120°/s y 180°/s. Se llevaron a cabo seis repeticiones en cada velocidad angular y el valor pico se utilizó para la evaluación. Aunque los movimientos dinámicos pueden exceder los 180°/s., no se midió la fuerza a velocidades mayores porque no es probable que se alcancen dichas velocidades durante una prueba en un dinamómetro (Kong, 2007). A partir de los datos del torque isocinético pico, se calcularon los índices funcionales de músculos isquiotibiales-cuadriceps (H:Q) para cada velocidad angular mediante la división de la torsión excéntrica de los músculos isquiotibiales por la torsión concéntrica del cuadriceps. Este índice funcional H:Q ha demostrado que es más apropiado para la evaluación de la fuerza que el índice

convencional utilizando el torque concéntrico de ambos grupos musculares (Aagaard et al., 1998). No se pudo disponer de la información isocinética del participante 4 porque este sujeto no realizó esta parte del protocolo debido a que estaba cerca de una competencia importante y deseaba evitar cualquier dolor muscular o fatiga que pudiera provocarle la participación. Por lo tanto, se analizó el índice H:Q de sólo cinco sujetos. Dado que la prueba *t* para datos apareados no reveló ninguna diferencia en ninguno de los parámetros de fuerza entre las dos piernas, se utilizó un valor promedio de ambos lados. Se evaluaron por separado las diferencias del torque isométrico entre los seis ángulos de la rodilla, así como también el índice H:Q entre las tres velocidades angulares, utilizando el análisis de varianza ANOVA de una vía para medidas repetidas.

RESULTADOS

Los datos se presentan como medias (desviación estándar). La Tabla 3 compara las mediciones antropométricas de los seis corredores keniatas que participaron en el presente estudio con las de corredores de elite keniatas adultos disponibles en la literatura.

En términos generales el tiempo de contacto con el suelo durante la zancada de la pierna izquierda fue significativamente más prolongado ($p < 0.05$) que el de la pierna derecha (Tabla 4). No se observó ninguna diferencia bilateral en la frecuencia de zancada y la longitud relativa de zancada y por lo tanto en la Tabla 4 se presenta el valor promedio de ambos lados. A medida que se incrementó la velocidad, se redujo el tiempo de apoyo mientras que la frecuencia de zancada y la longitud relativa de zancada aumentaron (todos $p < 0.01$).

El torque isométrico del cuádriceps y los músculos isquiotibiales cambió con el ángulo de la rodilla ($p<0.05$, Figura 1).

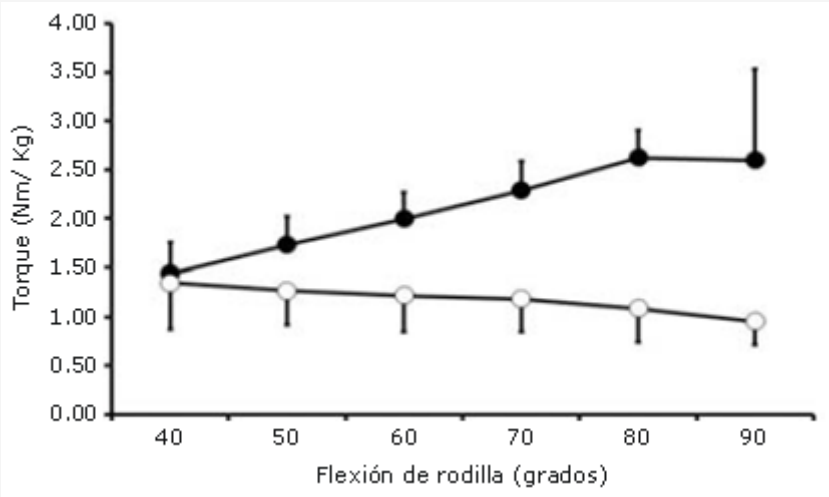

Figura 1. *Cambio en el torque isométrico del cuádriceps (círculos negros) y de los músculos isquiotibiales (círculos blancos) a través de los ángulos de la rodilla.*

Velocidad (m·s⁻¹)	Tiempo de contacto con el suelo (ms)		Frecuencia de zancada (Hz)	Longitud relativa de zancada
	Izquierda	Derecha		
3.5	220 (25)	212 (24)	2.92 (0.17)	0.68 (0.02)
4.0	208 (25)	199 (22)	3.02 (0.18)	0.76 (0.03)
4.5	201 (21)	193 (20)	3.09 (0.17)	0.82 (0.03)
5.0	183 (27)	180 (22)	3.19 (0.18)	0.89 (0.03)
5.4	177 (26)	170 (22)	3.26 (0.20)	0.93 (0.03)

Tabla 4. *Características de la zancada de los seis corredores keniatas en cinco velocidades de carrera. Los datos son medias (DE). Efecto principal significativo de la pierna para el tiempo de toma de contacto con el suelo ($p < 0.05$). Efecto principal significativo de*

la velocidad para todos los parámetros de la zancada ($p < 0.05$).

El torque de los cuádriceps aumentó con la longitud muscular, alcanzando el pico alrededor de los 80° a 90° de flexión de la rodilla. El torque de los músculos isquiotibiales alcanzó el pico en la posición de mayor estiramiento y disminuyó cuando los músculos se acortaban. Aunque el índice funcional H:Q se incrementó con el incremento de la velocidad angular (1.03 ± 0.51 a 60°/s, 1.44 ± 0.46 a 120°/s, 1.59 ± 0.66 a 180°/s), la diferencia no alcanzó una significancia estadística.

DISCUSION

El presente estudio es el primero en describir características de la zancada y la fuerza de fondistas keniatas de elite. A pesar de las limitaciones de un pequeño tamaño de muestra y del hecho de que no se dispuso de un grupo de control de corredores keniatas que no fueran de elite, los autores sienten que este estudio da el primer paso en llenar el vacío en la literatura para explicar de manera potencial el éxito de los keniatas en las pruebas de fondo desde una perspectiva biomecánica.

Los mejores tiempos personales de los corredores keniatas del presente estudio están cerca de los 100 mejores del mundo, y cinco de los seis participantes han terminado entre los mejores 8 individuales de los Campeonatos de la 1º División de la NCAA, al menos en una ocasión durante el año previo a la medición. Estos corredores corresponden principalmente con la descripción de corredores keniatas de elite reportada con anterioridad en cuanto al tipo de cuerpo esbelto, el bajo índice de masa corporal y las extremidades delgadas (Fudge et al., 2007; Saltin et al., 1995b). Al igual que otros corredores keniatas de elite, de niños estos corredores iban a la escuela caminando o corriendo (Onywera et al., 2006). Su porcentaje de grasa corporal era apenas más bajo que aquellos que reportaron Fudge et al (2007), probablemente debido a las diferentes técnicas de medición. La circunferencia de la pantorrilla se compara con las de los niños Nandi (Larsen et al., 2004) y sus piernas delgadas pueden contribuir de manera positiva a una buena economía de carrera. Con un bajo momento de inercia de la pierna cerca de la cadera, se requerirá menos esfuerzo muscular durante el balanceo de la pierna. Esto también concuerda con los hallazgos de Enomoto y Ae (2005) quienes reportaron que los corredores keniatas son eficaces en el balanceo de la pierna, se caracterizan por un movimiento hacia adelante más rápido y por cubrir un rango horizontal mayor en comparación con los corredores japoneses. Una investigación futura con una muestra mayor deberá determinar si el tipo de cuerpo es sistemáticamente diferente entre los corredores de elite y los que no lo son.

Como se esperaba, con el incremento de la velocidad se produjo un incremento en la frecuencia de zancada y la longitud relativa de zancada, pues estos parámetros de movimiento a menudo aumentan de manera lineal hasta velocidades de hasta 7 $m \cdot s^{-1}$ (Williams, 1985). Si bien Enomoto y Ae (2005) reportaron diferencias en la longitud relativa de zancada entre los corredores japoneses y keniatas, no presentaron datos numéricos disponibles que permitieran hacer una comparación con el presente estudio. Se observaron diferencias bilaterales en los tiempos de toma de contacto con el suelo, pero no en la frecuencia de zancada ni en la longitud de zancada, sugiriendo cierto grado de asimetría de movimiento en estos corredores keniatas. No obstante, es discutible si la asimetría de movimiento está relacionada con las lesiones (Zifchock et al., 2006). Debido a su éxito, se cree que esa asimetría de poca importancia no ejerce una influencia negativa sobre el rendimiento de la carrera de distancia. Además, el tiempo de toma de contacto del pie derecho fue en promedio sólo 7 ms más corto que el tiempo de toma de contacto del pie izquierdo. Esta diferencia, aunque es estadísticamente significativa, puede ser muy pequeña como para tener una importancia en la práctica.

Nummela et al (2007) demostraron que la excelente economía de carrera en parte se puede explicar debido al breve tiempo de toma de contacto con el suelo, aunque los datos dentro del rango de velocidad utilizados en el presente estudio no fueron reportados en su estudio. A 4.5 $m \cdot s^{-1}$, el tiempo de toma de contacto con el suelo de los corredores keniatas del presente estudio pareció ser más breve (promedio 197 ms) que el que midieron Clarke et al (1983) en 10 corredores masculinos (promedio 225 ms). A 5.0 $m \cdot s^{-1}$, los corredores keniatas del presente estudio también mostraron un tiempo de toma de contacto con el suelo más breve (promedio 192 ms) en comparación con los valores que informaron Cavanagh et al (1997) para 8 corredores de distancia entrenados y 14 de corredores de elite (promedio 201 - 205 ms). En un estudio reciente llevado a cabo con 18 corredores de distancia finlandeses bien entrenados, el tiempo de toma de contacto con el suelo aumentó de 207 ms, al comienzo de una prueba contrarreloj de 5 km, hasta 220 ms al final; observándose una reducción en la velocidad de 5.2 $m \cdot s^{-1}$ a 4.7 $m \cdot s^{-1}$ (Nummela et al., 2008). El tiempo de toma de contacto con el suelo que se observó a velocidades similares en estos corredores keniatas (197, 182 y 174 ms para 4.5, 5.0 y 5.4 $m \cdot s^{-1}$) fueron, una vez más, mucho más breves que el de los corredores finlandeses. El breve tiempo de toma de contacto con el suelo puede estar relacionado con la buena economía de carrera de los corredores keniatas, pues hay menos tiempo para que la fuerza de

frenado desacelere el movimiento del cuerpo hacia adelante. En base al modelo de carrera *mass-spring* (Arampatzis et al., 1999), una mayor rigidez de la pierna dará como resultado un tiempo de toma de contacto con el suelo más breve. Los corredores menos económicos demuestran poseer un estilo de carrera más conservador en relación con la toma de contacto con el suelo, y esto se refleja en la baja rigidez vertical (Heise y Martin, 1998). Por lo tanto, estos corredores keniatas pueden ser eficaces en controlar su activación muscular a fin de mantener una elevada rigidez de la pierna.

Es importante señalar como una limitación potencial que las características de movimiento que se observaron con los sujetos corriendo en la cinta ergométrica pueden diferir de aquellas registradas durante la carrera en pista tal como se ha mostrado en estudios anteriores (Nelson et al., 1972; Nigg et al., 1995). Asimismo puede haber alguna influencia debido a la falta de familiarización con la carrera en cinta ergométrica (Lavcanska et al., 2005; Schieb, 1986), pues ninguno de los corredores keniatas del presente estudio entrenan de manera regular sobre una cinta ergométrica. Para reducir esta influencia, los investigadores les dieron a los participantes el tiempo que necesitaron para familiarizarse con la carrera en cada velocidad. Los datos se recopilaron sólo después de que cada participante indicara que se encontraba cómodo corriendo a cada velocidad específica.

No es de sorprender que no se hallara una diferencia bilateral en ninguno de los parámetros de fuerza, porque es probable que la naturaleza de los movimientos de la carrera requiera de un nivel similar de tensión en ambas piernas. Al mismo tiempo; sin embargo, estos participantes mostraron una pequeña asimetría en las características de movimiento. Esto puede sugerir que una pequeña diferencia en el patrón de movimientos no es a causa de, ni lleva a una asimetría en la fuerza. Esta relación torque isométrico-ángulo tanto para los cuádriceps y como para los isquiotibiales se corresponde bien con la clásica relación fuerza-longitud y los datos publicados previamente respecto de la forma de la curva y el ángulo óptimo de la articulación de la rodilla para la producción de la fuerza (Ullrich y Brueggemann, 2008; Savelberg y Meijer, 2003; Yoon et al., 1991). La fuerza isométrica del cuadriceps de los corredores keniatas (1.4 - 2.6 $Nm \cdot kg^{-1}$) fue menor a la de los corredores de resistencia de elite (varió aproximadamente entre 1.5 y 3.8 $Nm \cdot kg^{-1}$) de Alemania (Ullrich y Brueggemann, 2008) y los corredores entrenados (promedio 2.7 $Nm \cdot kg^{-1}$) de los Países Bajos (Savelberg y Meijer, 2003). Esto sugiere que la fuerza de la pierna probablemente no sea un factor determinante para el éxito en las pruebas de fondo. Sin embargo, los diferentes equipos y protocolos utilizados para medir la fuerza entre los estudios también pueden explicar los diferentes hallazgos.

El índice funcional H:Q, aunque no es estadísticamente significativo, mostró una tendencia a aumentar al incrementarse la velocidad angular. Esto concuerda con la literatura (Aagaard et al., 1998; Holcomb et al., 2007), pues el torque excéntrico de los músculos isquiotibiales permanece relativamente constante mientras que torque concéntrico de los cuádriceps disminuye cuando la velocidad angular aumenta, según la relación clásica fuerza-velocidad. Se ha propuesto un índice funcional H:Q de 1.0 o mayor como objetivo de entrenamiento, aunque más específicamente para reducir al mínimo las lesiones del ligamento cruzado anterior (Aagaard et al., 1998; Holcomb et al., 2007) que son relativamente poco frecuentes en los corredores. El entrenamiento con sobrecarga con énfasis en los músculos isquiotibiales ha mostrado ser efectivo en mejorar el índice funcional H:Q de 0.96 ± 0.09 a 1.08 ± 0.11 en jugadores de fútbol (Holcomb et al., 2007). Los índices H:Q medidos en los corredores keniatas en el presente estudio fueron mayores a 1.0 en todas las velocidades angulares. Debería tenerse en cuenta que estos corredores no participan de un entrenamiento con sobrecarga sistemático, sin embargo los índices H:Q fueron más elevados que los de los atletas de otros deportes (Aagaard et al., 1998; Holcomb et al., 2007). Si bien es posible que sólo la rutina de entrenamiento de carrera haya llevado a estos corredores keniatas a un buen índice H:Q, también puede haber un factor genético que no fue posible abordar en el presente estudio. Será necesario realizar estudios futuros comparando los índices H:Q de los corredores de diferentes antecedentes étnicos y entre los corredores keniatas y la población sedentaria keniata a fin de confirmar estas especulaciones. Además, no queda claro si el índice H:Q elevado contribuye de manera positiva a la carencia de lesiones en los cinco corredores que se han medido.

Debido a una limitación geográfica, no se dispuso de ningún grupo de control al momento de realizar el presente estudio. Aunque los corredores recreacionales caucásicos pueden servir potencialmente como controles, los autores creen que no hubiera sido apropiado porque es probable que el efecto del entrenamiento lo supere debido a las diferencias relacionadas con la genética y/o la ubicación geográfica. Estudios futuros con un grupo de control de corredores de elite que no sean keniatas pueden proporcionar más datos valiosos sobre las diferencias genéticas y/o geográficas respecto de la mecánica de los corredores. Al mismo tiempo, comparar diferentes niveles (de elite/ sub-elite/ no corredores) dentro de la población keniata también será valioso para determinar si existe alguna diferencia que no se ha observado y esté relacionada con la carrera y/o el entrenamiento.

CONCLUSION

Este estudio es el primero en presentar las características de movimiento y fuerza de los corredores de distancia de elite keniatas con el objetivo de comprender su éxito en la práctica desde una perspectiva biomecánica. Los corredores de distancia de elite keniatas se caracterizan por tener un bajo índice de masa corporal, un bajo porcentaje de grasa corporal y extremidades delgadas. En términos generales, en estos corredores se observó un tiempo breve de toma de contacto con el suelo, con tiempos más breves en los contactos con el pie derecho. Por ultimo, la fuerza de sus piernas fue relativamente baja en comparación con otros corredores, no obstante ellos tuvieron índices H:Q elevados en comparación con atletas de otros deportes.

Puntos Clave

- Este es el primer estudio en la literatura en analizar las características biomecánicas de los corredores de distancia de elite keniatas, proporcionando de manera potencial datos valiosos sobre su éxito en las pruebas de fondo.
- Sus delgadas extremidades pueden contribuir de manera positiva al rendimiento por tener un bajo momento de inercia, y por lo tanto requerir menos esfuerzo muscular en el balanceo de la pierna.
- En términos generales, se observó un tiempo más breve de toma de contacto con el suelo con la pierna derecha que con la pierna izquierda. Esto puede estar relacionado con la buena economía de carrera, pues hay menos tiempo para que la fuerza de frenado desacelere el movimiento del cuerpo hacia adelante.
- Estos corredores mostraron simetría en la fuerza entre las piernas izquierda y derecha y tuvieron índices isquiotibiales-cuadriceps elevados en comparación con atletas de otros deportes.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Jason van Haselen por su colaboración en el análisis de los datos de movimiento, al Dr. Stephen Burns y la Dr. Darla Smith por revisar el original, y a Frans de Heer y Frank Remkes por su papel en el desarrollo del proyecto.

REFERENCIAS

1. Aagaard, P., Simonsen, E.B., Magnusson, S.P., Larsson, B. and Dyhre-Poulsen, P (1998). A new concept for isokinetic hamstring: quadriceps muscle strength ratio. *American Journal of Sports Medicine 226(2), 231-237*
2. Andersen, L.B., Henckel, P. and Saltin, B (1987). Maximal oxygen uptake in Danish adolescents 16-19 years of age. *European Journal of Applied Physiology 556, 74-82*
3. Cavanagh, P.R., Pollock, M.L. and Landa, J (1997). A biomechanical comparison of elite and good distance runners. *Annals of the New York Academy of Sciences 301, 328-345*
4. Central Intelligence Agency. (CIA) The World Factbook (2008). Published Online. Retrieved October 5th. *From: https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/ke.html*
5. Christensen, D.L (2005). Vitamin and mineral intake of twelve adolescent male Kalenjin runners in western Kenya. *East African Medical Journal 82(12), 637-642*
6. Christensen, D.L., van Hall, G. and Hambraeus, L (2002). Food and macronutrient intake of male adolescent Kalenjin runners in Kenya. *British Journal of Nutrition 88, 711-717*
7. Clarke, T.E., Frederick, E.C. and Cooper, L.B (1983). Effects of shoe cushioning upon ground reaction forces in running. *International Journal of Sports Medicine 4, 247-251*
8. Coyle, E.F (1999). Physiological determinants of endurance exercise performance. *Journal of Science and Medicine in Sport 2(3), 181-189*
9. Enomoto, Y. and Ae, M (2005). A biomechanical comparison of Kenyan and Japanese elite long distance runners techniques. In: Book of Abstract, XXth Congress of the International Society of Biomechanics (abstract no. 852). *Cleveland, OH: International Society of Biomechanics*
10. Fudge, B.W., Westerterp, K.R., Kiplamai, F.K., Onywera, V.O., Boit, M.K., Kayser, B. and Pitsiladis, Y.P (2007). Evidence of negative energy balance using doubly labelled water in elite Kenyan endurance runners prior to competition. *British Journal of Nutrition 95, 59-66*
11. Heise, G.D. and Martin, P.E (1998). "Leg spring" characteristics and the aerobic demand of running. *Medicine and Science in Sports and Exercise 30(5), 750-754*
12. Holcomb, W.R., Rubley, M.D., Lee, H.J. and Guadagnoli, M.A (2007). Effect of hamstring-emphasized resistance training on hamstring:quadriceps strength ratios. *Journal of Strength and Conditioning Research 21(1), 41-47*
13. Kong, P.W (2007). Challenges in the determination of strength parame-ters for simulation models of human movements. *International Journal of Modelling, Identification Control 22(3), 180-187*

14. Jackson, A.S. and Pollock, M.L (1978). Generalized equations for predicting body density of men. *British Journal of Nutrition 440, 497-504*
15. Larsen, H.B (2003). Kenyan dominance in distance running. Comparative Biochemistry and Physiology. *Part A, Molecular and Integrative Physiology 1136(1), 161-170*
16. Lavcanska, V., Taylor, N.F. and Schache, A.G (2005). Familiarization to treadmill running in young unimpaired adults. *Human Movement Science 224, 544-557*
17. Manners, J (1997). Kenyas running tribe. *The Sports Historian 117(2), 14-27*
18. Morgan, D., Martin, P., Craib, M., Caruso, C., Clifton, R. and Hopewell, R (1994). Effect of step length optimization on the aerobic demand of running. *Journal of Applied Physiology 77, 245-251*
19. Nelson, R. C., Dillmann, C. J., Lagasse, P. and Bickett, P (1972). Biomechanics of overground versus treadmill running. *Medicine and Science in Sports 44, 233-240*
20. Nigg, B. M., De Boer, R. W. and Fisher, V (1995). A kinematic comparison of overground and treadmill running. *Medicine and Science in Sports and Exercise 227, 98-105*
21. Nummela, A., Keranen, T. and Mikkelsson, L.O (2007). Factors related to top running speed and economy. *International Journal of Sports Medicine 228, 655-661*
22. Nummela A.T., Heath, K.A., Paavolainen, L.M., Lambert, M.I., St Clair Gibson, A. and Noakes, T.D (2008). Fatigue during a 5-km running time trial. *International Journal of Sports Medicine 29, 738-745*
23. Onywera, V.O., Kiplamai, F.K, Boit, M.K. and Pitsiladis, Y.P (2004). Food and macronutrient intake of elite Kenyan distance runners. *International Journal of Sport Nutrition & Exercise Metabolism 14(6), 709-720*
24. Onywera, V.O., Scott, R.A., Boit, M.K. and Pitsiladis, Y.P (2006). Demographic characteristics of elite Kenyan endurance runners. *Journal of Sports Science 24(4), 415-423*
25. Orchard, J., Marsden, J., Lord, S. and Garlick, D (1997). Preseason hamstring muscle weakness associated with hamstring muscle injury in Australian Footballers. *American Journal of Sports Medicine 225, 81-85*
26. Peters, E.M. and Goetzsche, J.M (1997). Dietary practices of South African ultradistance runners. *International Journal of Sport Nutrition 7(2), 80-103*
27. Saltin, B., Kim, C.K., Terrados, N., Larsen, H., Svedenhag, J. and Rolf, C.J (1995). Morphology, enzyme activities and buffer capacity in leg muscles of Kenyan and Scandinavian runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports 5, 222-230*
28. Saltin, B., Larsen, H., Terrados, N., Bangsbo, J., Bak, T., Kim, C.K., Svedenhag, J. and Rolf, C.J (1995). Aerobic exercise capacity at sea level and at altitude in Kenyan boys, junior and senior runners compared with Scandinavian runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports 5, 209-221*
29. Savelberg, H.H.C.M. and Meijer, K (2003). Contribution of mono- and biarticular muscles to extending knee joint moments in runners and cyclists. *Journal of Applied Physiology 994, 2241-2248*
30. Schieb, D (1986). Kinematic accommodation of novice treadmill runners. *Research Quarterly for Exercise and Spor, 557, 1-7*
31. Scott, R.A., Moran, C., Wilson, R.H., Onywera, V., Boit, M.K., Goodwin, W.H., Gohlke, P., Payne, J., Montgomery, H. and Pitsiladis, Y.P (2005). No association between Angiotensin Converting Enzyme (ACE) gene variation and endurance athlete status in Kenyans. Comparative Biochemistry and Physiology. *Part A, Molecular and Integrative Physiology 1141(2), 169-175*
32. Ullrich, B. and Brueggemann, G.P (2008). Moment-knee angle relation in well trained athletes. *International Journal of Sports Medicine 229(8), 639-645*
33. Weston, A.R., Mbambo, Z. and Myburgh, K.H (2000). Running economy of African and Caucasian distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise 332(6), 1130-1134*
34. Willems, T.M., Witvrouw, E., Delbaere, K., Mahieu, N., De Bourdeaudhuij, I. and De Clercq, D (2005). Intrinsic risk factors for inversion ankle sprains in male subjects: a prospective study. *American Journal of Sports Medicine 33, 415-423*
35. Williams, K.R (1985). Biomechanics of Running. *Exercise and Sport Science Review 13, 389-441*
36. Williams, K.R (2007). Biomechanical factors contributing to marathon race success. *Sports Medicine 37(4-5), 420-423*
37. Williams, K.R. and Cavanagh, P.R (1987). Relationship between distance running mechanics, running economy, and performance. *Journal of Applied Physiology 63(3), 1236-1245*
38. Yoon, T.S., Park, D.S., Kang, S.W., Chun, S.I. and Shin, J.S (1991). Isometric and isokinetic torque curves at the knee joint. *Yonsei Medical Journal 332(1), 33-43*
39. Zifchock, R.A., Davis, I. and Hamill, J (2006). Kinetic asymmetry in female runners with and without retrospective tibial stress fractures. *Journal of Biomechanics 39, 2792-2797*

Cita Original

Pui W. Kong and Hendrik de Heer. Anthropometric, Gait and Strength Characteristics of Kenyan Distance Runners. Journal of Sports Science and Medicine (2008) 7, 499 - 504.