PubliCE, (PubliCE) 2003

Research

Determinantes Cinemáticos de la Aceleración Temprana en Atletas que Practican Deportes de Campo

Aron J Murphy[1], Robert G Lockie[1] y Aaron J Coutts[1]

[1]*Human Performance Laboratory, School of Leisure, Sport and Tourism, University of Technology, Sydney, Australia.*

RESUMEN

La aceleración es importante para aquellos atletas que practican deportes de campo y que requieren un alto nivel de habilidad para repetir carreras de velocidad. Aunque se realizan una amplia variedad de entrenamientos para mejorar la aceleración, hay poca evidencia acerca de cuales son los factores cinemáticos que diferencias entre una buena aceleración y una mala aceleración. El propósito de este estudio fue investigar las diferencias cinemáticas entre individuos con aceleración rápida e individuos con aceleración lenta. Se evaluó la capacidad de esprint en los primeros tres pasos de un sprint de 15 metros en veinte atletas de deportes de campo. Los sujetos fueron filmados a alta velocidad para determinar un rango de mediciones de la cinemática del tren inferior. Para el análisis de los datos, los sujetos fueron divididos en grupos de sujetos relativamente rápidos (n=10) y relativamente lentos (n=10), en base a su velocidad de esprint. Los resultados mostraron que el grupo de sujetos relativamente rápidos tenía tiempos de contacto en el pie izquierdo y derecho significativamente más bajos (~11-13%) ($p<0.05$), y una mayor frecuencia de zancada (~ 9%) en comparación con el grupo de sujetos relativamente lentos. Asimismo la extensión de la rodilla fue significativamente diferente entre los grupos ($p<0.05$). No se observaron diferencias significativas en la longitud de la zancada. Se concluyó que aquellos sujetos que son relativamente más rápidos en la aceleración temprana alcanzan esto por medio de la reducción en el tiempo de contacto contra el suelo lo que resulta en una mayor frecuencia de zancada. El entrenamiento para mejorar la aceleración debería incluir instrucciones y ejercitaciones que entrenen específicamente dichos movimientos.

Palabras Clave: rendimiento de sprint, rapidez en los primeros pasos, velocidad de carrera

INTRODUCCION

La máxima velocidad de carrera y la aceleración son componentes esenciales en muchos deportes de campo incluyendo el rugby de unión, el rugby de liga, el fútbol, el fútbol australiano y el hockey sobre césped (Bangsbo et al., 1991; Deutsch et al., 1998; Meir et al., 2001). Sin embargo, si bien la velocidad máxima es importante para el rendimiento en deportes de campo, en general se acepta que la aceleración tiene mayor importancia, ya que los jugadores raramente cubren distancias largas en los esprints que realizan durante el juego como para alcanzar la velocidad máxima (Reilly y Borrie, 1992; Reilly, 1997; Douge, 1988). La aceleración se define en física como la tasa de cambio de la velocidad. Sin embargo, en un sentido práctico, particularmente entre los científicos de las ciencias aplicadas al deporte y entre los entrenadores, la capacidad de aceleración comúnmente hace referencia al rendimiento de velocidad sobre distancias pequeñas tales como 5 y 10 metros, y se la llama tiempo de esprint o velocidad. Es en este contexto que la aceleración es utilizada en el presente estudio. Si bien los estudios cinemáticos han establecido que esta actividad de alta intensidad ocurre con una frecuencia

relativamente baja durante una competición (Reilly y Borrie, 1992; Meir et al., 2001), estos arranques de esfuerzo máximo tienden a concentrarse en las acciones cruciales del juego tales como cuando un jugador se escapa de un oponente o durante un tackle (Reilly, 1996; Rienzi et al., 2000; Meir et al., 2001). En particular, la rapidez de los primeros pasos de un sprint es vista como algo de importancia vital durante un juego (Penfold and Jenkins, 1996). Si bien la cinemática de la aceleración temprana ha sido analizada en atletas de pista utilizando los tacos de partida (Merni et al, 1992), existen pocas investigaciones que examinen las modalidades más efectivas de entrenamiento para la aceleración durante un esprint, particularmente para la aceleración temprana. Además, muchos de los métodos de entrenamiento para mejorar la aceleración en deportistas tienen poco respaldo empírico (Brown et al., 2000; Delecluse, 1997). Por ejemplo, se ha sugerido que el entrenamiento de la velocidad utilizando una resistencia es un método efectivo para mejorar la aceleración en los esprints (Delecluse, 1997).

El propósito del presente estudio fue determinar que factores biomecánicos separan a los deportistas de campo con buena aceleración de aquellos con mala aceleración temprana. Se hipotetizó que aquellos atletas con mejor aceleración mostrarían diferencias en las variables claves de la cinemática del tren inferior, tal como la longitud de zancada, la frecuencia de zancada y el tiempo de contacto contra el suelo, cuando se los comparara con los atletas que tienen una pobre aceleración. Dichos datos serán útiles para el desarrollo de programas razonables y efectivos para el entrenamiento de la capacidad de esrpint, proveerán de una retroalimentación efectiva para el entrenador y le darán un claro enfoque a las investigaciones futuras.

METODOS

Sujetos

Veinte hombres saludables (edad=23.1±3.7 años, masa=82.6±13.1 kg, talla=1.79±0.06 m) se ofrecieron voluntariamente para participar en este estudio. Todos los sujetos participaban activamente en varios deportes de campo, incluyendo rugby, fútbol australiano y fútbol. Los procedimientos utilizados en este estudio fueron aprobados por el Comité de Etica Humana de la Universidad, y se obtuvo el consentimiento por escrito de los participantes antes de las evaluaciones.

Procedimientos de Evaluación

Todas las evaluaciones fueron llevadas a cabo en el gimnasio cubierto de la Universidad Tecnológica de Sydney. Se requirió que los sujetos acudieran solo a una sesión de evaluación. Antes de las evaluaciones, y para asegurar la consistencia de los resultados, cada sujeto realizó una rutina de entrada en calor idéntica, la cual duraba aproximadamente 15 minutos e incluía actividades tales como trotar, estiramientos estáticos y dinámicos, y carreras de velocidad de intensidad creciente. Para facilitar el análisis bidimensional durante los esprints, se colocaron marcadores retroreflectivos sobre el lado derecho del tren inferior antes de realizar las evaluaciones. Los lugares específicos donde se colocaron los marcadores fueron: la espina suprailíaca anterior (hip_1), el trocánter mayor del fémur (hip_2), el epicóndilo lateral del fémur (rodilla), el maleolo lateral del peroné (tobillo), y al quinto metatarsiano (pie).

Luego de la entrada en calor, los sujetos completaron dos esprints sobre la distancia de evaluación de 15 metros. Se consideró que se habían realizado con éxito dos pruebas cuando los tiempos en los 15 metros estaban dentro de los 2.5% uno del otro y estos datos fueron promediados para producir un valor medio. Para los test de esprint se utilizó la partida de pie, ya que se consideró que esta era la posición de salida más específica para estos individuos. Los sujetos se colocaron de manera tal que la pierna derecha fuera la pierna que estuviera adelantada y la que soportara el peso corporal. Se requirió que los sujetos realizaran una ligera flexión de las articulaciones de la cadera y la rodilla. El pie izquierdo fue colocado 30 cm detrás del talón del pie derecho, manteniendo extendidas las articulaciones de la cadera y de la rodilla izquierda. El brazo derecho se mantuvo detrás del torso por medio de una extensión de la articulación del hombro y el codo se mantuvo flexionado a 90º. El brazo izquierdo se mantuvo extendido en el frente del torso también con el codo flexionado a 90º. Se les permitió a los sujetos que partieran cuando estuvieran listos, y se realizaron períodos de 1.5 minutos de pausa entre las pruebas. Se les instruyó a los sujetos que, desde la posición de parados, realizaran un sprint máximo hasta la marca de los 15 metros. En este estudio se utilizó una distancia de 15 metros para los análisis debido a que estabamos interesados específicamente en la cinemática de la aceleración temprana, es decir los primeros tres pasos del sprint (dos despegues del pie derecho), y quisimos asegurarnos de que los sujetos realizaran el máximo esfuerzo a lo largo de esta porción del sprint. En el presente estudio, el paso se definió como la diferencia en la posición del pie de despegue en el momento en que los dedos dejaban el suelo y el contacto con el suelo del pie contralateral. Una zancada se definió como dos pasos concurrentes.

Análisis Cinemáticos

Las variables para la valoración cinemática fueron determinadas utilizando análisis de registros tanto digitales como videográficos a 100 Hz. Ambos sistemas analizaron los tres primeros pasos del sprint donde el primer paso fue definido como el paso inicial (despegue de los dedos del pie derecho), tomado desde la posición de partida, resultando en un contacto con el suelo del pie izquierdo. El segundo paso ocurrió entre el despegue de los dedos del pie izquierdo y el contacto con el suelo del pie derecho (contacto con el talón) y lo mismo para el tercer paso. Los datos crudos de ambos sistemas fueron filtrados utilizando un filtro Butterworth con paso bajo de 4to orden y con una frecuencia de corte de 12 Hz.

La cinemática de las articulaciones y la velocidad horizontal de esprint fueron determinadas utilizando el sistema Q-trac ® (Qualysis, Sävedalen, Suecia) el cual provee una galería digital de imágenes de los marcadores, obtenidas por medio de cámaras infrarrojas separadas cada 5 metros y alejadas 8 metros en forma perpendicular al plano de movimiento. Este sistema utiliza cámaras duales para el análisis cinemático dimensional. El campo visual fue ajustado de manera que todos los marcadores fueran registrados claramente por ambas cámaras infrarrojas durante los primeros tres pasos. El marcador colocado en la espina ilíaca anterior y superior (hip_1) fue utilizado para medir la velocidad horizontal de la cadera, y esta velocidad fue utilizada para valorar la velocidad horizontal de carrera, ya que se ha mostrado que una alta velocidad horizontal de la cadera tiene una buena correlación con un buen rendimiento en el esprint (Mann y Herman). Para los propósitos de este estudio, la velocidad lineal de la cadera fue medida en el momento del despegue de los dedos del pie al comienzo del tercer paso. Este punto fue elegido ya que representa la velocidad culminante (o rendimiento de aceleración) de los dos primeros pasos.

Además, para cada paso se realizaron varias mediciones de los ángulos articulares de la cadera y la rodilla (Figura 1). Los valores angulares para la extensión de la cadera y la rodilla fueron calculados en el momento del despegue de los dedos del píe en el primer y tercer paso (despegue de los dedos del pie derecho). Se calcularon los ángulos articulares de movimiento (ROM) para la cadera y la rodilla utilizando la diferencia entre los mayores y los menores valores de la extensión durante un paso (pasos 1 y 3). Las velocidades angulares promedio de la cadera y la rodilla fueron calculados dividiendo el ROM por el tiempo que se tardaba en alcanzar ese ROM (paso 1 y 3).

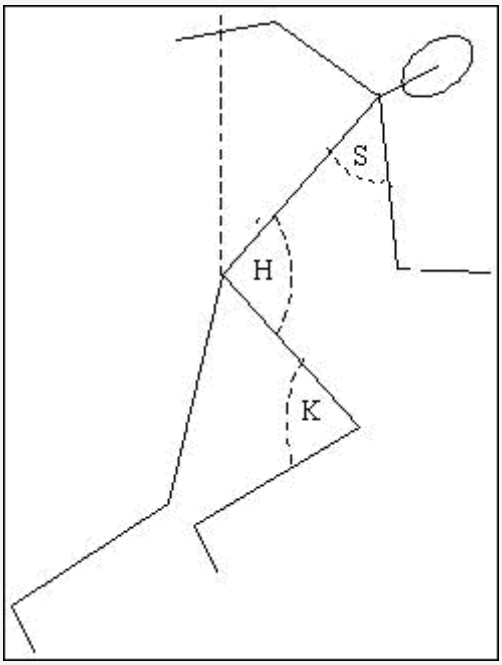


Figura 1. *Convenciones para los ángulos articulares – solo para el lado derecho del cuerpo (H=Cadera, K=rodilla, S=hombro).*

Además del sistema infrarrojo, una vídeo cámara JVC-DV 9800 (JVC, Tokyo, Japón) de alta velocidad proveyó datos videográficos con una frecuencia de muestreo de 100 Hz. Esta cámara fue colocada a 8 m en forma perpendicular al plano de movimiento y a 2.5 m hacia adentro desde la posición de partida. Los datos recolectados por esta cámara fueron utilizados para evaluar la longitud de la zancada, la frecuencia de zancada, los tiempos de vuelo y los tiempos de contacto. Los tiempos de vuelo y de contacto fueron calculados para ambos pies (pasos 2 y 3). La longitud de zancada fue calculada como la distancia entre el punto de despegue de los dedos del pie derecho en la línea de salida hasta el punto de contacto

del talón del pie derecho.

Análisis de los Datos

Se llevaron a cabo análisis de estadística descriptiva para todas las variables dependientes. Luego de las pruebas de esprint, los sujetos fueron divididos en relativamente rápidos (n=10) y lentos (n=10) para el análisis comparativo en base a la velocidad horizontal de la cadera. Se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) para determinar si había diferencias significativas en las variables dependientes entre los grupos rápido y lento. Aunque las clasificaciones utilizadas (rápidos vs. lentos) fueron definidas arbitrariamente, estas se utilizaron para clasificar grupos de sujetos cuyas velocidades horizontales eran significativamente diferentes una de otra. De este modo, estas diferencias sirvieron para el propósito de distribuir a los sujetos en dos categorías distintas en relación al rendimiento de esprint. El error tipo 1 fue controlado utilizando la corrección de Boferroni sobre las dos comparaciones principales. Se utilizaron dos variables (longitud de zancada y frecuencia de zancada) ya que el ajuste de Bonferroni sería muy conservativo si se utilizaran múltiples variables dependientes. Para todas las comparaciones se estableció un nivel de significancia corregido a 0.05/2 = 0.025. Todos los valores P presentados no están corregidos. Todos los análisis estadísticos fueron computados utilizando el Paquete Estadístico para Ciencias Sociales (Versión 10.0).

RESULTADOS

No se observaron diferencias entre los grupos de sujetos relativamente rápidos y lentos en términos de talla, masa corporal e índice de masa corporal (Tabla 1).

Variable	Grupo Rápido (n=10)	Grupo Lento (n=10)	p
Índice de Masa Corporal ($kg \cdot m^{-2}$)	25.1	25.4	0.82
Velocidad Horizontal de la Cadera ($m \cdot s^{-1}$)	5.98 (0.15)	5.39 (0.23)	0.00*
Longitud de Zancada (m)	2.09 (0.15)	2.05 (0.13)	0.73
Frecuencia de Zancada (Hz)	1.82 (0.12)	1.67 (0.24)	0.01*
Tiempo de Contacto del Pie Izquierdo (s)	0.20 (0.02)	0.23 (0.03)	0.01*
Tiempo de Contacto del Pie Derecho (s)	0.17 (0.01)	0.19 (0.02)	0.01*
Tiempo de Vuelo del Pie Izquierdo (s)	0.05 (0.01)	0.05 (0.03)	0.57
Tiempo de Vuelo del Pie Derecho (s)	0.06 (0.01)	0.06 (0.02)	0.52

Tabla 1. *Comparación de las variables cinemáticas para la aceleración temprana en esprinters rápidos y lentos. Los datos son presentados como medias (DE). * Diferencia significativa entre los grupos.*

Velocidad Horizontal de la Cadera

Los resultados mostraron que el grupo de sujetos relativamente rápidos tenía una velocidad horizontal de la cadera significativamente mayor ($p<0.01$) (5.98±.15 $m.s^{-1}$) en comparación con el grupo de sujetos relativamente lentos (5.39±.23 $m.s^{-1}$) (Tabla 1). Esto era de esperarse, ya que se utilizaron velocidades lineales de la cadera significativamente diferentes para diferenciar entre buenos y malos rendimientos de aceleración en los primeros tres pasos. Así, tuvimos la certeza de que cada grupo estuvo compuesto por sujetos que poseían niveles significativamente diferentes de aceleración temprana.

Variables Descriptivas de la Zancada

No se observaron diferencias significativas entre los grupos en la longitud de zancada o en los tiempos de vuelo (Tabla 1). Sin embargo, se registraron diferencias significativas ($p<0.01$) entre los grupos para los tiempos de contacto de los pies izquierdo y derecho. El grupo de sujetos relativamente rápidos tuvo tiempos de contacto en ambos pies significativamente menores (contacto del pie izquierdo =0.20 0.02 s, contacto del pie derecho =0.17±0.02 s) en comparación con el grupo de sujetos relativamente lentos (contacto del pie izquierdo =0.23±0.3 s, contacto del pie derecho =0.19±0.02 s) (Tabla 1). Además, la frecuencia de zancada fue significativamente mayor (1.82±0.12 Hz) en el grupo de sujetos relativamente

rápidos y en comparación con el grupo de sujetos relativamente lentos (1.67±0.09 Hz).

Variables Cinemáticas Articulares

No se hallaron diferencias significativas entre los grupos para ninguna de las variables cinemáticas articulares durante el primer paso (Tabla 2), aunque la extensión de la rodilla derecha en el momento del despegue de los dedos del pie derecho se aproximó a la significancia (p= 0.07), registrando el grupo de sujetos relativamente rápidos una extensión de la rodilla ~5% menor (147.8±9.8° vs. 156.1±9.5°). La extensión de la rodilla en el momento del despegue de los dedos del pie en el tercer paso (pierna derecha) fue significativamente (p<0.05) menor para el grupo de sujetos relativamente rápidos (142.3±10.9°) en comparación con el grupo de sujetos relativamente lentos (153.7±6.9°).

Variable Articular	Grupo Rápido (n = 10)	Grupo Lento (n = 10)	p
1er Paso (Pierna Derecha)			
Extensión de la Cadera (°)	141.1 (7.9)	143.1 (7.0)	0.56
Extensión de la Rodilla (°)	147.8 (9.8)	156.1 (9.5)	0.07
ROM de la Cadera (°)	52.5 (8.7)	56.0 (7.9)	0.36
ROM de la Rodilla (°)	81.0 (8.9)	86.7 (18.1)	0.38
Ang. Vel de la Cadera (°·s^{-1})	224.8 (36.6)	240.8 (37.4)	0.35
Ang. Vel de la Rodilla (°·s^{-1})	464.7 (31.9)	473.6 (77.2)	0.74
3er Paso (Pierna Derecha)			
Extensión de la Cadera (°)	144.4 (6.3)	144.5 (5.3)	0.99
Extensión de la Rodilla (°)	142.3 (10.9)	153.7 (6.9)	0.01*
ROM de la Cadera (°)	47.8 (7.0)	48.0 (7.0)	0.95
ROM de la Rodilla (°)	82.7 (10.4)	90.4 (14.2)	0.18
Ang. Vel de la Cadera (°·s^{-1})	232.7 (55.6)	238.6 (53.7)	0.81
Ang. Vel de la Rodilla (°·s^{-1})	491.8 (70.5)	538.2 (79.8)	0.19

Tabla 2. *Variables cinemáticas articulares para la aceleración temprana. Los datos son presentados como medias (DE). Abreviaturas: ROM=Recorrido de Movimiento, Ang.=Angulo, Vel.=Velocidad. * Diferencia significativa entre los grupos.*

DISCUSION

El propósito del presente estudio fue determinar si los factores cinemáticos específicos separaban a deportistas de deportes de campo con buena y mala capacidad de aceleración. Dicha información podría proveer una clara dirección para entrenadores y deportistas en el desarrollo de programas de entrenamiento y de una retroalimentación apropiada cuando están entrenando para mejorar la aceleración. Los resultados de este estudio claramente muestran que diferentes variables cinemáticas diferenciaron a los individuos que eran diferentes en términos de su capacidad para la aceleración temprana.

Se ha sugerido que en deportes de campo y eventos de pista, la aceleración del atleta es un determinante importante de su rendimiento (Mann y Herman, 1985; Penfold y Jenkins, 1996). En el presente estudio. La velocidad horizontal de la cadera en el grupo de sujetos relativamente rápidos (5.98±.15 m.s^{-1}) fue significativamente mayor que la velocidad registrada para el grupo de sujetos relativamente lentos (5.39±.23 m.s^{-1}). Los valores para ambos grupos son similares a las velocidades horizontales instantáneas de la primera zancada reportadas en la literatura ((Merni et al., 1992) [4.36±.49 m.s^{-1}]; (Mero, 1988) [4.65 m.s^{-1}]; (Schot y Knutzen, 1992) [4.87 m.s^{-1}-5.61 m.s^{-1}]), aunque la magnitud de la velocidad en el presente estudio es ligeramente mayor debido a que se calculó en el momento del despegue de los dedos del pie en el tercer paso.

La velocidad de carrera es el producto de la longitud y de la frecuencia de la zancada. En el presente estudio no se observaron diferencias en la longitud de zancada entre los grupos (2.08±.15 m) a pesar de que estos tenían diferente capacidad de aceleración. De este modo, se esperaba que el factor determinante de la diferencia en la velocidad horizontal de la cadera fuera una disparidad en la frecuencia de zancada. En efecto, los resultados mostraron que aquellos individuos con mayor capacidad de aceleración tenían una frecuencia de zancada 9% mayor en comparación con el grupo de sujetos relativamente lentos (Tabla 1). Lo observado con respecto al tiempo de vuelo y al tiempo de contacto también respalda

estos hallazgos. En el presente estudio, el primer contacto con el suelo (pie izquierdo) para el grupo rápido duró 0.20±0.02 s, mientras que el segundo tiempo de contacto (pie derecho) fue de 0.17±0.02 s (Tabla 1). Estos dos valores fueron significativamente menores (15% y 12% para los tiempos de contacto del pie izquierdo y del pie derecho respectivamente) que los correspondientes valores producidos por el grupo de sujetos relativamente lentos (Tabla 1). Dado que no hubo diferencias en el tiempo de vuelo (Tabla 1), la variación en los tiempos de contacto entre los grupos explica adecuadamente las discrepancias en las frecuencias de zancada.

Algunos autores han enfatizado que una alta frecuencia de zancada es importante para una rápida aceleración en carreras de pista y en muchos deportes de campo (Schroter, 1998; Brown et al., 2000). Nuestros datos proveen respaldo empírico a esta sugerencia. En particular, los presentes datos muestran que aquellos atletas que son capaces de generar altas velocidades de carrera en distancias cortas lo hacen debido a una mayor frecuencia de zancada y esto probablemente se deba a una reducción en los tiempos de contacto. De este modo, nosotros creemos que una consideración clave para cualquier programa de entrenamiento de la aceleración es enfocarse en la reducción de los tiempos de contacto contra el suelo.

Evidencia reciente indica que un incremento en la rigidez o stiffness músculotendinoso de las extremidades inferiores puede permitir que los atletas alcancen tiempos de contacto más cortos durante las carreras y los esprints. Spurrs et al. (2003) reportaron una mejora del 2.7% en el tiempo de una carrera de 3 km y un incremento del 7.8% en el rendimiento durante rebotes luego de 6 semanas de entrenamiento pliométrico con corredores de distancia entrenados. Los autores también reportaron cambios en la rigidez del tobillo (11-15%) como resultado del entrenamiento, y especularon que el incremento en la rigidez podría haber producido cambios en la cinemática de la zancada resultando en una mejora de la economía de carrera y del rendimiento en el rebote. Similares resultados fueron reportados por Cornu et al. (1997) luego de 7 semanas de entrenamiento pliométrico. Además, recientes datos han mostrado similares relaciones significativas entre las mediciones de la rigidez de las extremidades inferiores y la máxima velocidad de esprint (Chelly y Denis, 2001) (r=0.68) y la aceleración (Bret et al., 2002) (r=0.59). Por lo tanto es posible sugerir que en el presente estudio, aquellos sujetos pertenecientes al grupo de relativamente rápidos puedan haber exhibido una incrementada rigidez de las extremidades inferiores durante la aceleración temprana, lo que derivó en diferencias en los tiempos de contacto y en las frecuencias de zancada en comparación con los sujetos del grupo relativamente lento. Sin embargo, dicho mecanismo es puramente especulativo en esta etapa, ya que la rigidez no fue valorada en el presente estudio. Se requieren de investigaciones adicionales para estudiar específicamente la relación entre la rigidez músculotendinosa, la capacidad de aceleración y la cinemática.

Los datos cinemáticos articulares presentados en la Tabla 2 pueden ofrecer una explicación alternativa a la hipótesis de la rigidez, explicando las diferencias en la capacidad de aceleración entre los grupos. En el presente estudio los valores de la extensión de la rodilla en el momento del despegue de los dedos del pie en el primer paso fueron casi significativos, siendo el valor del grupo más rápido un 6% menor (p=0.07). Para el tercer paso, los sujetos del grupo rápido tuvieron un valor de la extensión de la rodilla significativamente menor (8%) que los sujetos del grupo lento (Tabla 2). Si bien en el presente estudio no se observaron diferencias en los valores de la extensión de la cadera, estos hallazgos son opuestos a las sugerencias de ciertos autores que afirman que la pierna debería estar completamente extendida durante la aceleración (Adelaar, 1986; van Ingen Schenau et al., 1994). Además, las investigaciones acerca de la cinemática de la velocidad máxima han reportado que la extensión de la rodilla disminuye en el momento del despegue, lo cual es indicativo de una reducción en la extensión articular (Mann y Hagy, 1980; Mann y Herman, 1985; Mann, 1986). Los resultados del presente estudio sugieren que para reducir el tiempo de contacto, los sujetos del grupo rápido han acortado su extensión de la rodilla durante el despegue. Este recorrido de movimiento reducido potencialmente permite una recuperación más rápida de las extremidades inferiores durante la aceleración, lo cual puede derivar en mejor rendimiento en el esprint. Si la reducción de la extensión de la rodilla en el momento del despegue de los dedos del pie fue consecuencia de una incrementada rigidez de las extremidades inferiores en el grupo de sujetos relativamente rápidos o se debió a una activación temprana de los flexores de la cadera, es algo que en este momento desconocemos. La dilucidación del mecanismo y de los potenciales beneficios de acortar la extensión de la cadera durante la aceleración deberían ser el foco de futuras investigaciones.

Conclusión

El hallazgo más significativo de este estudio fue que los deportistas que practican deportes de campo con buena aceleración temprana exhiben mayores frecuencias de zancada, probablemente como resultado de menores tiempos de contacto contra el suelo. Los datos también mostraron que los individuos con una mejor capacidad de aceleración también tienden a tener una menor extensión de la rodilla derecha en el momento del despegue de los dedos del pie en el primer y tercer paso, lo cual contribuye a disminuir los tiempos de contacto. De este modo nosotros creemos que una consideración importante para el desarrollo de programas de entrenamiento para la mejora de la aceleración debería enfocarse en la reducción de los tiempos de contacto. Se ha sugerido que el incremento en la rigidez o stiffness músculotendinoso de los miembros inferiores podría ser una forma mediante la cual se pueden reducir los tiempos de contacto durante una carrera

de velocidad. Además, dentro de una sesión, la minimización de los tiempos de contacto contra el suelo puede estimularse a través de instrucciones y retroalimentaciones específicas. Nosotros sugerimos que se realicen investigaciones adicionales para clarificar algunos de los puntos principales que surgieron en este estudio, particularmente el rol de la rigidez músculotendinosa en la aceleración temprana.

REFERENCIAS

1. Adelaar, R. S (1986). The practical biomechanics of running. *American Journal of Sports Medicine 14, 497-500*
2. Bret, C., Rahmani, A., Dufour, A. B., Messonnier, L. and Lacour, J. R (2003). Leg strength and stiffness as ability factors in 100 m sprint running. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness 42, 274-281*
3. Brown, L., Ferrigno, V. and Santana, J (2000). Training for Speed, Agility and Quickness. *Human Kinetics, Champaign, Illinois*
4. Chelly, S. M. and Denis, C (2001). Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise 33, 326-333*
5. Cornu, C., Almeida Silveira, M. I. and Goubel, F (1997). Influence of plyometric training on the mechanical impedance of the human ankle joint. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology 76, 282-288*
6. Delecluse, C (1997). Influence of strength training on sprint running performance: Current findings and implications for training. *Sports Medicine 24, 147-156*
7. Deutsch, M. U., Maw, G. D., Jenkins, D. J. and Reaburn, P. R. J (1998). Heart rate, blood lactate and kinematic data of elite colts (under-19) rugby union players during competition. *Journal of Sports Sciences 16, 561-570*
8. Douge, B (1988). Football: the common threads between the games. In: Science and Football. *Eds: Reilly, T., Lees, A., Davids, K. and Murphy, W. J. E & FN Spon, London, 3-19*
9. Mann, R (1986). The biomechanical analysis of sprinters. *Track Technique 3000-3003*
10. Mann, R. and Herman, J (1985). Kinematic analysis of Olympic sprint performance: men s 200 meters. *International Journal of Sport Biomechanics 1, 151-162*
11. Mann, R. A. and Hagy, J (1980). Biomechanics of walking, running, and sprinting. *American Journal of Sports Medicine 8, 345-350*
12. Meir, R., Colla, P. and Milligan, C (2001). Impact of the 10-metre rule change on professional rugby league: implications for training. *Strength and Conditioning Journal 23, 42-46*
13. Merni, F., Cicchella, A., Bombardi, F., Ciacci, S., Magenti, L., Olmucci, S. and Coppini, L (1992). Kinematic and dynamic analysis of sprint start. In: ISBS Proceedings of the 10th Symposium of the International Society of Biomechanics in Sports. *Ed: Rodano, R. Edi-Ermes, Milan, 120-123*
14. Mero, A (1988). Force-time characteristics and running velocity of male sprinters during the acceleration phase of sprinting. *Research Quarterly for Exercise and Sport 59, 94-98*
15. Penfold, L. and Jenkins, D. G (1996). Training for speed. In: Training for Speed and Endurance. *Eds: Reaburn, P. R. J. and Jenkins, D. G. Allen & Unwin, Sydney, 24-41*
16. Reilly, T (1996). Motion analysis and physiological demands. In: Science and Soccer. *Ed: Reilly, T. E & F.N. Spon, London, 65-81*
17. Reilly, T (1997). Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue. *Journal of Sports Sciences 15, 257-263*
18. Reilly, T. and Borrie, A (1992). Physiology applied to field hockey. *Sports Medicine 14, 10-26*
19. Rienzi, E., Drust, B., Reilly, T., Carter, J. E. L. and Martin, A (2000). Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness 40, 162-169*
20. Schot, P. K. and Knutzen, K. M (1992). A biomechanical analysis of four sprint start positions. *Research Quarterly for Exercise and Sport 63, 137-147*
21. Schroter, G (1998). Basics of the sprint start. *Modern Athlete and Coach 36, 23-26*
22. Spurrs, R. W., Murphy, A. J. and Watsford, M. L (2003). The effect of plyometric training on distance running performance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology 89, 1-7*
23. van Ingen Schenau, G. J., de Koning, J. J. and de Groot, G (1994). Optimisation of sprinting performance in running, cycling and speed skating. *Sports Medicine 17, 259-275*

Cita Original

Aron J. Murphy, Robert G. Lockie y Aaron J. Coutts. Determinantes Cinemáticos de la Aceleración Temprana en Atletas que Practican Deportes de Campo. Journal of Sports Science and Medicine; 2, 144-150. 2003.