

Actividad eléctrica muscular en la marcha a distintas velocidades y en la carrera

S. NERÍN BALLABRIGA, A. VILLARROYA APARICIO, C. MARCO SANZ, T. MOROS GARCÍA
Departamento de Fisiatría y Enfermería. Universidad de Zaragoza

Resumen

En este estudio se analiza la actividad electromiográfica de los principales músculos de la extremidad inferior derecha: Glúteos Mayor y Medio, Recto Anterior y Vasto Interno del Cuádriceps, Isquiotibioperoneos, Gemelos y Tibial Anterior, al caminar en un tapiz rodante a distintas velocidades y en una carrera suave. Para dividir el ciclo de la marcha y la carrera en fases se utilizó un sistema de análisis tridimensional con dos cámaras de vídeo. La señal electromiográfica de cada una de estas fases se integró y se expresó en porcentaje de la actividad máxima isométrica de su músculo correspondiente.

Los resultados obtenidos muestran que la participación muscular en la marcha lenta y normal es muy similar; sin embargo, en la marcha rápida aparecen aumentos importantes conservando el mismo patrón de actuación. En la carrera, no sólo existen actividades del triple de las halladas en la marcha a velocidad cómoda, sino que se modifica el patrón de actuación, presentando todos los músculos sus picos de actividad durante la fase de apoyo, momento en el que el centro de gravedad se lleva hacia delante sobre el miembro inferior.

Palabras clave: músculos, electromiografía, marcha, carrera.

Introducción

La marcha es una de las principales actividades motoras humanas y su importancia queda manifiesta al comprobar el interés mostrado en su estudio y la abundante bibliografía aportada. Pero esta actividad se modifica dependiendo de muchos factores, algunos de los cuales también han sido investigados, como son: la edad¹⁻³; el tipo de terreno (terreno llano, escaleras⁴⁻⁸, rampa^{9,10}, tapiz rodante^{11,12...}), el tipo de calzado^{1,13} o la velocidad a la que se camina^{1,3,14,15}. Este último factor puede llevarnos a realizar una marcha de características muy similares, al principio, para pasar después, al ir aumentando la velocidad, a una marcha rápida y finalmente a la carrera, forma de locomoción claramente diferente, ya que en la marcha tienen lugar una alternancia de apoyos bipodales y monopodales, mientras que en la carrera no hay periodo de doble apoyo, siendo

una sucesión de apoyos alternantes de cada miembro inferior con una fase de vuelo entre ellos. Esto se debe a que, al ir aumentando la velocidad, las fases de apoyo bipodal se acortan en la marcha rápida para desaparecer en la carrera.

El aumento de velocidad en la marcha induce un mayor gasto energético y un aumento del trabajo muscular, sobre todo en el momento propulsor y en el amortiguador¹⁶.

Conocida la participación muscular en la marcha normal, pues ha sido objeto de numerosos estudios, nos pareció interesante realizar un trabajo para cuantificar electromiográficamente la actividad de los principales músculos de la extremidad inferior y las variaciones que en ellos ocurren al ir aumentando la velocidad desde una marcha lenta hasta una carrera suave.

Material y métodos

Participaron en este estudio 15 sujetos sanos de edades comprendidas entre 18 y 23 años. A todos ellos se les realizó una prueba que consistía en filmar con dos cámaras mientras caminaban a diferentes velocidades, a la vez que se registraba la actividad electromiográfica de los principales músculos de la extremidad inferior derecha.

Correspondencia:

S. Nerin Ballabriga.
Departamento de Fisiatría y Enfermería.
Universidad de Zaragoza. F. de Medicina
(Aulario B) c/ Domingo Miral s/n.
(5009) zaragoza

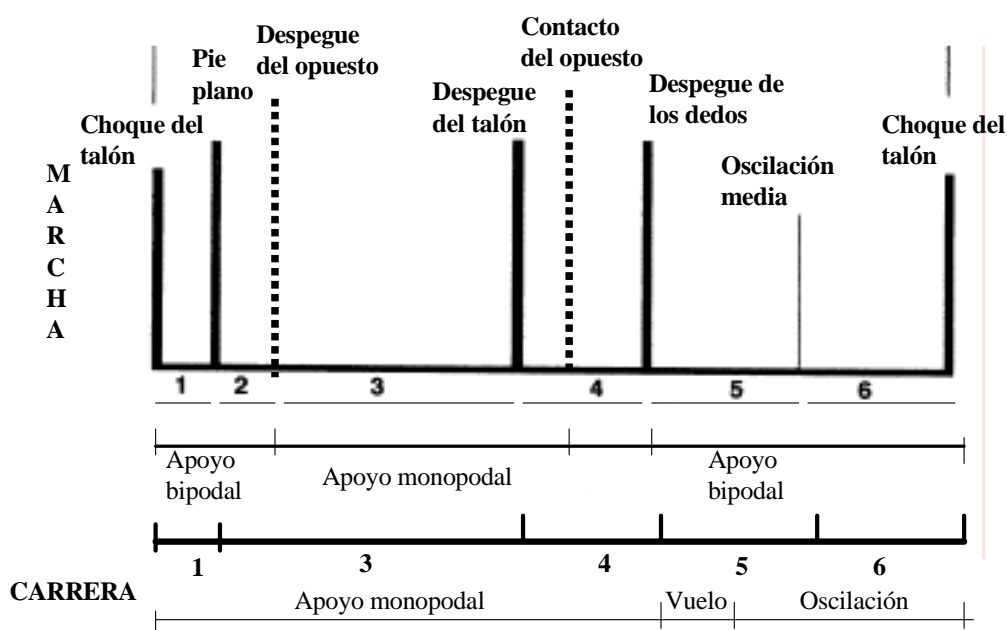
La prueba se realizó en un tapiz rodante, ya que permite seleccionar la velocidad, y las marchas escogidas fueron: marcha lenta: 2,5Km/h; marcha normal a velocidad cómoda: 3,5Km/h; marcha rápida: 6Km/h; y carrera: 9Km/h.

Para dividir el ciclo de marcha se utilizó el sistema de análisis tridimensional Orthobío¹⁷, de forma que, tras la filmación de las pruebas, se capturaban las imágenes en el ordenador y por visualización directa de la filmación se escogían unos puntos concretos del paso que servían para dividirlo en fases. Estos puntos correspondían a la primera imagen de los siguientes momentos (gráfica 1): contacto de talón derecho; pie plano derecho; despegue de antepié izquierdo; despegue de talón derecho; despegue de antepié derecho; avance del miembro inferior al oscilar (se escogía el momento en el que el pie derecho pasaba por delante del miembro inferior izquierdo en apoyo, momento que correspondía aproximadamente a la mitad de la oscilación), y por último, nuevo contacto de talón derecho. Entre estos momentos quedaron delimitadas las fases en las que se dividió el ciclo de marcha y que se nombraron numéricamente (fases 1, 2, 3, 4, 5 y 6). En el caso de la carrera, al no existir apoyo bipodal, no existe la fase 2, es decir, la fase comprendida entre el apoyo plano del pie que se considera (derecho) y el despegue del opuesto, por lo que delimitaremos las fases 1, 3, 4, 5 y 6. Estas fases corresponden: 1, 3, y 4 al apoyo monopodal derecho (1, contacto de talón a pie plano, 3, apoyo

medio, con todo el pie apoyado en el suelo y 4 desde que despegamos el talón, es decir, la fase de impulso) y las fases 5 y 6 a la oscilación del mismo miembro inferior. Realmente, en la carrera, la fase 1 es muy corta, porque el contacto con el suelo se realiza casi con el pie plano, por lo que el tiempo entre el contacto de talón y el de todo el pie es mínimo. En ocasiones, cuando la velocidad es mayor, incluso el contacto inicial puede producirse con el antepié¹⁶.

Paralelamente a la filmación de los movimientos y de forma sincronizada con ella, se registró la actividad electromiográfica de los principales músculos de la extremidad inferior derecha: Glúteo Mayor, Glúteo Medio, Recto Anterior y Vasto Interno del Cuádriceps, Isquiotibiales internos, Bíceps Femoral, Gemelo externo y Tibial Anterior. El registro se llevó a cabo mediante un sistema telemétrico. Se usaron electrodos de superficie que se colocaron, con la piel rasurada y desgrasada, para eliminar resistencias, sobre la parte central del vientre muscular, como indica Clarys¹⁸, en línea con las fibras musculares.

Las señales electromiográficas obtenidas se cuantificaron realizando una integración de las mismas, en intervalos de 0,025 segundos. Para ello, previamente, se rectificaron las señales convirtiendo los valores negativos en positivos (onda por encima de cero en la gráfica) y se filtraron las frecuencias inferiores a 10Hz ya que, sin perder prácticamente potenciales de unidad motora, se elimi-



Gráfica 1. Fases de la marcha y la carrera

nan ruidos^{19,20}.

Se utilizó como valor normalizador el pico máximo de la actividad recogida durante una contracción máxima isométrica (AMI) de cada uno de los músculos estudiados.

El trazado electromiográfico se dividió en los segmentos correspondientes a las distintas fases de la marcha y la carrera antes comentadas y se calculó qué porcentaje suponían los valores de cada una de ellas respecto al valor normalizador (% AMI).

Para el tratamiento de los datos se utilizó el pro-

grama estadístico SPSS. Se realizó la estadística descriptiva y para comparar la actividad muscular al caminar a distintas velocidades se aplicó el test de Wilcoxon, o prueba de rangos y pares iguales, para series apareadas, por no ser normal la distribución de los datos.

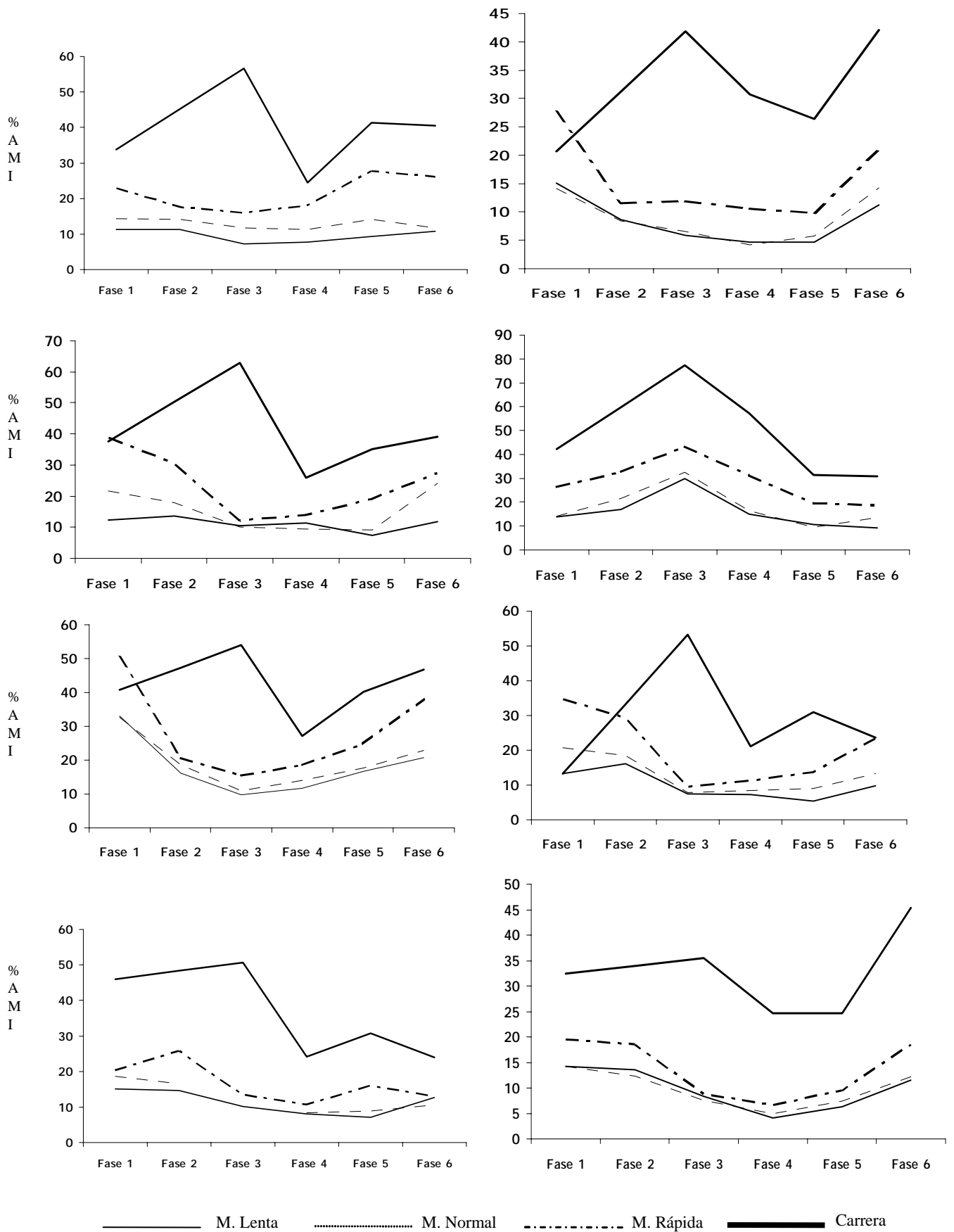
Resultados

Los resultados obtenidos al analizar la actividad electromiográfica de los diferentes músculos se muestran en las tablas de la 1 a la 8 y su repre-

Tabla 1. Valores medios de la actividad del Glúteo Mayor en la marcha a distintas velocidades y en la carrera

FASES		MARCHA LENTA	MARCHA NORMAL	MARCHA RÁPIDA	CARRERA
1	Media DS	11.22 8.13 N-NS R** C**	14.33 9.37 R* C**	22.86 13.88 C- NS	33.70 26
2	Media DS	11.20 9.57 N-NS R-NS	14.10 9.40 R-NS	17.51 7.64	
3	Media DS	7.30 4.13 N-NS R* C**	11.80 12.92 R-NS C**	15.94 8.98 C**	56.70 19.73
4	Media DS	7.72 3.64 N-NS R** C**	11.39 10.21 R* C**	18.06 15.38 C*	24.46 20.30
5	Media DS	9.40 8.22 N.NS R* C*	14.20 11.40 R* C**	27.64 24.44 C*	41.35 21.92
6	Media DS	10.70 7.96 N-NS R* C**	11.72 9.71 R* C**	26.02 13.61 C**	40.56 25.96

NS: No significación / *<0.05 / **<0.01 / ***<0.001
N: marcha normal / R: marcha rápida / L: marcha lenta
C: carrera



Gráfica 2. Actividad electromiográfica de los músculos estudiados. (AMI) Actividad máxima isométrica

sentación en la gráfica 2. Se aprecian escasas variaciones entre las marchas a velocidad lenta y la normal o cómoda para cada sujeto, sin embargo, a partir de esta última, la actividad muscular aumenta de forma significativa con la velocidad.

Discusión

La marcha y la carrera se realizaron en un tapiz rodante, puesto que ello permite seleccionar la velocidad y disponer de muchos pasos en un espacio

reducido; además, existen trabajos que ponen de manifiesto que las diferencias entre la marcha en suelo y tapiz rodante son pequeñas^{11,12,21} y tienden a desaparecer tras un periodo de habituación al mismo que varía según los trabajos consultados de 7 a 10 minutos^{11,12}. En nuestro caso, el tiempo de habituación medio fue de 10 minutos.

La velocidad a la que se realizó la prueba considerada como marcha normal, fue aquella en la que la mayoría de los sujetos se encontraban más cómodos y se determinó en 3,5Km/h; esta velocidad

Tabla 2. Valores medios de la actividad del Glúteo Medio en la marcha a distintas velocidades y en la carrera

FASES		MARCHA LENTA	MARCHA NORMAL	MARCHA RÁPIDA	CARRERA
1	Media DS	15.15 10.9 N-NS R** C**	18.58 16.48 R-NS C**	20.34 24.15 C*	46.02 30.94
2	Media DS	14.56 15.10 N-NS R-NS	16.55 14.12 R*	25.66 15.92	
3	Media DS	10.15 10.12 N-NS R-NS C**	11,3 5.71 R-NS C***	13.33 10.33 C**	50.74 25.91
4	Media DS	7.97 5.42 N-NS R-NS C**	8.32 7.21 R* C**	10.61 8.17 C**	24.11 17.22
5	Media DS	7 5.28 N* R* C***	8.82 6.23 R-NS C**	15.86 12.51 C*	30.74 22.40
6	Media DS	12.70 23.64 N-NS R-NS C*	10.58 15.32 R-NS C*	12.83 8.45 C**	23.93 9.94

NS: No significación / *<0.05 / **<0.01 / ***<0.001
N: marcha normal / R: marcha rápida / L: marcha lenta
C: carrera

es menor que la citada como normal para la marcha en suelo, que está alrededor de 4Km/h, pero hay que tener en cuenta, como dicen Murray y cols.²¹, que la velocidad cómoda disminuye en el tapiz respecto al suelo al tratarse de un terreno en movimiento. Considerando pues como normal la velocidad de marcha anterior, se escogió una menor, 2,5km/h, para la marcha lenta, una mayor, 6Km/h, para la rápida y, por último, para la carrera suave una velocidad de 9Km/h.

Las fases en las que se dividió la carrera no co-

inciden completamente con las realizadas por otros autores, pero la razón de utilizar éstas fue que nos permitía la comparación con las mismas fases de la marcha a velocidades menores.

Respecto a la cuantificación de la actividad muscular, debemos señalar que los resultados que se obtienen varían mucho según el valor utilizado para normalizar los registros y, por tanto, a veces resulta difícil compararlos con los de otros autores que utilizan otras referencias. En los estudios sobre la marcha, hay autores que, como nosotros,

Tabla 3. Valores medios de la actividad del Recto Anterior en la marcha a distintas velocidades y en la carrera

FASES		MARCHA LENTA	MARCHA NORMAL	MARCHA RÁPIDA	CARRERA
1	Media DS	13.30 7.56 N-NS R** C**	20.75 18.74 R** C-NS	34.70 25.01 C-NS	13.30 7.54
2	Media DS	16.21 13.85 N-NS R-NS	18.42 20.24 R-NS	29.34 27.64	
3	Media DS	7.48 3.79 N-NS R-NS C**	7.8 6.86 R-NS C**	9.50 6.39 C*	53.31 22.76
4	Media DS	7.40 5.98 N-NS R* C**	8.40 5.68 R-NS C**	11.27 6.03 C**	21.13 13.23
5	Media DS	5.35 2.35 N* R** C**	9.02 6.37 R* C**	13.76 8.29 C**	31.02 17.20
6	Media DS	9.8 5.36 N-NS R** C**	13.29 13.21 R** C**	23.21 15.98 C-NS	23.69 15.96

NS: No significación / *<0.05 / **<0.01 / ***<0.001
N: marcha normal / R: marcha rápida / L: marcha lenta
C: carrera

normalizan con el pico máximo de la integrada de la actividad máxima isométrica^{5,15}.

En el estudio realizado, existe un aumento de actividad muscular al ir aumentando la velocidad de marcha y, lógicamente, durante la carrera es cuando aparecen los valores máximos.

Aunque se ha descrito que la marcha a velocidad lenta necesita una actividad muscular mayor que cuando se camina a velocidad cómoda^{1,3}, en nuestro estudio, no hemos encontrado diferencias significativas, probablemente por la escasa diferen-

cia en las velocidades utilizadas. Sin embargo, las diferencias de las marchas lenta y normal con la rápida sí son significativas, presentando, en algunas fases, incrementos importantes, aunque las mayores diferencias se producen, lógicamente, con la carrera, con picos de actividad muscular en esta última de alrededor del triple de los encontrados en la marcha normal.

Comentaremos los resultados obtenidos en cada uno de los músculos estudiados, primero en los tres tipos de marcha, lenta, normal y rápida y después analizare-

Tabla 4. Valores medios de la actividad del Vasto Interno en la marcha a distintas velocidades y en la carrera

FASES		MARCHA LENTA	MARCHA NORMAL	MARCHA RÁPIDA	CARRERA
1	Media DS	12.44 6.69 N* R*** C**	21.74 20.5 R** C-NS	38.65 20.86 C-NS	37.69 24.17
2	Media DS	13.64 11.91 N-NS R**	17.90 17.21 R**	30.45 20.37	
3	Media DS	10.62 9.18 N-NS R-NS C***	10.12 13.62 R* C**	12.10 8.61 C**	62.93 24.02
4	Media DS	9.63 11.37 N-NS R-NS C***	9.40 9.98 R* C***	13.81 13.95 C**	25.95 21.36
5	Media DS	7.43 6.56 N-NS R** C***	9.26 8.70 R-NS C***	19.10 22.95 C-NS	35.24 24.8
6	Media DS	11.88 8.81 N-NS R* C**	24.20 11.26 R-NS C***	27.28 12.56 C**	39.16 21.97

NS: No significación / *<0.05 / **<0.01 / ***<0.001
N: marcha normal / R: marcha rápida / L: marcha lenta
C: carrera

mos la carrera, comparándola con las anteriores.

El Glúteo Mayor (tabla 1, gráfica 2) presenta al caminar un aumento progresivo de actividad en la mayoría de las fases en los tres tipos de marcha, lenta, normal y rápida. Su pico de máxima actuación coincide con lo descrito en la literatura y ocurre en el apoyo inicial, para colaborar en la extensión de cadera tras el choque de talón^{3,22}, aunque también trabaja durante la oscilación, como ya describieron Wooten y cols.²³, frenando la flexión de cadera que ocurre en ese momento. La actividad

presentada en esta última fase es importante en la marcha rápida, ya que la mayor velocidad hace que el miembro inferior se traslade hacia delante con una mayor energía cinética y es necesario un esfuerzo muscular mayor para poder frenarlo. Para Montgomery y cols.¹⁵ el Glúteo Mayor sólo presenta actividad durante la oscilación, colaborando con los Isquiotibioperoneos en el control de la cadera en las marchas rápidas y, por supuesto, en la carrera, en la que, como podemos ver (gráfica 2), también aparece una importante actividad, aunque

Tabla 5. Valores medios de la actividad de los Isquiotibiales internos en la marcha a distintas velocidades y en la carrera

FASES		MARCHA LENTA	MARCHA NORMAL	MARCHA RÁPIDA	CARRERA
1	Media DS	14.37 14.75 N-NS R* C-NS	14.30 11.7 R-NS C-NS	19.58 16.06 C-NS	32.58 26.01
2	Media DS	13.55 12.27 N-NS R-NS	12.33 8.29 R-NS	18.55 16.49	
3	Media DS	8.42 8.72 N-NS R-NS C**	7.54 5.54 R-NS C**	8.70 6.64 C**	35.53 22.87
4	Media DS	4.15 2.55 N-NS R-NS C**	5 3.67 R-NS C**	6.60 5.92 C**	24.63 20.42
5	Media DS	6.37 4.45 N-NS R-NS C**	7.41 5.61 R-NS C**	9.47 10.15 C*	24.75 24.77
6	Media DS	11.52 12.14 N-NS R* C**	12.21 9.72 R** C**	18.53 8.75 C**	45.33 27.53

NS: No significación / *<0.05 / **<0.01 / ***<0.001
N: marcha normal / R: marcha rápida / L: marcha lenta
C: carrera

su pico de máxima actuación (56,7% frente al 14,3% de la marcha normal) ocurre en nuestro estudio en la fase que hemos denominado 3, es decir, durante el apoyo medio, con todo el pie en contacto con el suelo, estabilizando la cadera en el plano anteroposterior. En el trabajo citado de Montgomery y cols.¹⁵, únicos autores que han estudiado este músculo en la carrera, según la bibliografía consultada, el pico de mayor actuación ocurre muy temprano en la fase de apoyo. En nuestro estudio, como acabamos de decir, aparece en la fase 3; esto se debe

a que es en esta fase en la que ocurre realmente la recepción de la carga, ya que la fase 1, sólo comprende desde el apoyo de talón hasta que apoya toda la planta del pie y es muy corta en la carrera.

El Glúteo Medio (tabla 2, gráfica 2) muestra una actividad en los tres tipos de marcha con pocas variaciones, siendo algo mayor conforme aumenta la velocidad en todas las fases; sin embargo, en el inicio de la oscilación, en la marcha rápida, aparecen valores que son el doble de los hallados en la marcha lenta; esto puede deberse a que en la marcha

Tabla 6. Valores medios de la actividad del Bíceps Femoral en la marcha a distintas velocidades y en la carrera

FASES		MARCHA LENTA	MARCHA NORMAL	MARCHA RÁPIDA	CARRERA
1	Media	15.12	14.27	27.60	20.27
	DS	15.6	14.38	29.8	17.93
		N-NS	R-NS	C-NS	
		R*	C-NS		
		C-NS			
2	Media	8.70	8.40	11.60	
	DS	6.68	10.98	11.58	
		N-NS	R-NS		
		R-NS			
3	Media	5.99	6.58	11.93	41.85
	DS	4.44	4.22	10.24	21.41
		N-NS	R*	C**	
		R*	C**		
		C**			
4	Media	4.78	4.25	10.62	30.77
	DS	2.71	2.02	11.88	19.63
		N-NS	R*	C**	
		R*	C**		
		C**			
5	Media	4.79	5.70	9.84	26.44
	DS	2.77	5.75	13.29	18.70
		N-NS	R*	C**	
		R-NS	C**		
		C**			
6	Media	11.28	14.39	20.88	42.16
	DS	11.73	13.23	23.56	22.97
		N-NS	R*	C**	
		R**	C**		
		C**			

NS: No significación / *<0.05 / **<0.01 / ***<0.001
 N: marcha normal / R: marcha rápida / L: marcha lenta
 C: carrera

rápida el inicio de la oscilación precisa de un mayor control simultáneo de músculos aductores¹⁵ y abductores que dirijan el miembro inferior hacia delante. Las máximas actividades se presentan, en los tres tipos de marcha, en las fases 1 y 2, es decir, en la recepción de la carga, y algo menor durante el apoyo, hasta que se empieza a elevar el talón del suelo (fase 3), ya que es en estos momentos cuando este músculo debe contribuir al mantenimiento del equilibrio transversal de la pelvis^{1,24}. El pico máximo en la carrera, con actividades del triple de las halladas en la marcha normal, ocurre también

en la fase de apoyo medio y con la misma finalidad, estabilizar la pelvis, aunque también se presenta una actuación destacada en la primera parte de la oscilación, al igual que en la marcha rápida, para dirigir el miembro inferior en su avance.

En nuestro estudio, *el Recto Anterior* y *el Vasto Interno* del cuádriceps (tablas 3 y 4, gráfica 2) muestran, en todas las fases, una actividad creciente al aumentar la velocidad. Su patrón en la marcha lenta, normal y rápida es el esperado, con una mayor acción en el contacto de talón y durante el apoyo, donde trabajan para estabilizar la rodilla^{3,14,22}. En la

Tabla 7. Valores medios de la actividad del Gemelo Externo en la marcha a distintas velocidades y en la carrera

FASES		MARCHA LENTA	MARCHA NORMAL	MARCHA RÁPIDA	CARRERA
1	Media DS	13.8 10.88 N-NS R* C**	14 8.48 R** C**	26.58 21.48 C*	42.42 22.79
2	Media DS	17.13 9.98 N-NS R-NS	21.55 17.79 R-NS	32.70 28.20	
3	Media DS	29.93 19.80 N-NS R* C**	32.57 18.84 R* C**	43.40 27 C**	77.37 32.02
4	Media DS	15.03 10.26 N-NS R** C***	16.58 10.91 R** C***	31.42 14.11 C-NS	57.10 28.57
5	Media DS	10.56 7.90 N-NS R* C***	9.57 5.54 R-NS C***	19.66 18.86 C*	31.34 22.69
6	Media DS	9.20 5.64 N-NS R** C***	13.63 18.99 R-NS C**	19.08 16.07 C*	30.75 18.61

NS: No significación / *<0.05 / **<0.01 / ***<0.001
N: marcha normal / R: marcha rápida / L: marcha lenta
C: carrera

oscilación, en los tres tipos de marcha, ambos músculos presentan un aumento de actividad al final de la misma para preparar el nuevo contacto con el suelo.

En la carrera, los mayores picos aparecen tras la recepción de la carga (fase 3), es decir, un momento después del contacto del talón. En este momento, como también indican otros autores^{5,15}, la actividad máxima ha sido mayor en el Vasto Interno que en el Recto Anterior (62,9% y 53,3% respectivamente), ya que la función estabilizadora de la rodilla en el apoyo, muy importante por la ligera flexión que existe y la velocidad de progresión del movimiento en este momento, corre más a cargo de los Vastos que del Recto Anterior, debido al alargamiento funcional de este último músculo por la flexión en que se encuentra la articulación de la cadera. Al inicio de la oscilación, aparece una importante actividad del Recto Anterior (31%), descrita también por otros autores^{5,15,27}, colaborando con el resto de los flexores de cadera para acelerar el miembro inferior hacia delante.

En el Vasto Interno, durante la carrera, hemos encontrado una actividad similar a lo largo de toda la oscilación a diferencia de lo indicado por otros autores^{5,15} que describen su actuación sólo en la fase final de la misma. Montgomery y cols.¹⁵ encuentran una acción importante durante la primera fase de la oscilación en el Crural, músculo no estudiado en el presente trabajo puesto que con electrodos de superficie es imposible acceder a él, atribuyéndole una función estabilizadora de la rótula en flexión, e indican que los Vastos se reclutan sobre todo en la segunda fase de la oscilación para extender la rodilla. La actuación, en nuestro caso, más uniforme del Vasto Interno durante toda la oscilación podría deberse a que la velocidad de la carrera era mayor que la del estudio de Montgomery y cols.¹⁵, y, al ser mayor la velocidad, aumenta la flexión de rodilla en la primera fase de la oscilación y disminuye la extensión en la segunda, abordándose el contacto con la rodilla más flexionada¹⁶ y no siendo necesaria por tanto, tanta acción extensora de los Vastos en esta segunda fase. De hecho, el comportamiento de los Vastos que describen estos autores es similar al que hemos obtenido nosotros en la marcha rápida, ya que su velocidad de carrera (6,8 Km/h) está muy próxima a la de nuestra marcha rápida.

Los músculos *Isquiotibiales internos* y *el Bíceps Femoral* presentan una actividad muy similar en la marcha lenta y normal, y valores superiores en la marcha rápida (tablas 5 y 6, gráfica 2). Su patrón

de actividad coincide con el descrito por otros autores^{1,22,26}, con una mayor actuación en el contacto de talón para extender de cadera y a la vez estabilizar la rodilla, junto con el Cuádriceps, en el apoyo. Al final de la oscilación, vuelven a trabajar, controlando la flexión de cadera y frenando el lanzamiento inercial de la pierna para controlar el nuevo contacto con el suelo. En la marcha rápida, los aumentos de actividad en esta primera fase han sido más importantes para el Bíceps Femoral que para los Isquiotibiales internos (27,6% frente a 19,58%); esta mayor actuación del Bíceps femoral ha sido también reseñada por Montgomery y cols.¹⁵ quienes atribuyen a la porción larga de este músculo la acción del inicio de la extensión de cadera tras el contacto de talón, mientras que la porción corta se reclutaría más tarde para actuar estabilizando la rodilla.

En la carrera, en nuestro trabajo, las actividades halladas en estos músculos son altas a lo largo de todo el ciclo y presentan sus mayores picos en la fase final de la oscilación y durante el apoyo hasta que empieza a elevar el talón, fases 1 y 3, con actividades muy similares en los primeros en las fases 1 y 3 y mayores en la fase 3 que en la 1 en el Bíceps Femoral. Estos hallazgos coinciden con los de otros autores^{5,15} que describen en este último músculo una actuación más tardía en el apoyo y de mayor intensidad, cuya función sería la de extender la cadera llevando el cuerpo hacia delante y colaborar en la estabilización de la rodilla, sobre todo con la porción corta. Su actuación durante la oscilación es, en la primera parte, flexionar la rodilla, y en la segunda, mediante una potente contracción excéntrica, decelerar el miembro inferior y mantener también la rodilla en un cierto grado de flexión para acceder al nuevo apoyo.

Los Gemelos presentan, en nuestro estudio (tabla 7, gráfica 2), una actividad creciente en los distintos tipos de marcha, con un pico de actuación mayor en la fase 3, momento en el que el pie se encuentra plano en el suelo y está progresando hacia delante para lograr el despegue de talón^{1,3,23}.

En la carrera, la actividad máxima de este músculo (77,3% frente a 32,5% en la fase máxima de la marcha normal) se produce igualmente en la fase 3, momento del apoyo medio, como también encontraron en su estudio Cicotti y cols.⁵ y Yang y Winter²⁷, realizando aquí una potente contracción excéntrica para estabilizar el tobillo cuando el peso del cuerpo se desplaza hacia delante. En la fase 4, continúa actuando para despegar el pie, aunque su acción es menos importante, ya que en la carrera,

como describen Montgomery y cols.¹⁵ y Reber y cols.²⁸, el Triceps Sural actúa más como estabilizador del pie en el apoyo que como propulsor o generador del impulso necesario para el avance, función que correría a cargo de los flexores de cadera al inicio de la oscilación y de los extensores de rodilla al final de ésta.

El *Tibial anterior* (tabla 8, gráfica 2) presenta en la marcha lenta y normal actividades muy similares, sin embargo en la marcha rápida muestra, respecto a las anteriores, aumentos importantes, sobre todo en los momentos de actuación máxima, como

en la fase 1 (de contacto de talón a pie plano), donde trabaja para controlar el abatimiento del pie en el suelo^{1,3,24}. Más tarde, vuelve a actuar, en la segunda fase de la oscilación, como ya describieron Ciccotti y cols.⁵, controlando la posición del tobillo para el nuevo contacto.

En la carrera encontramos un pico de actividad muy importante (54% frente al 32,6% de máxima actividad en la marcha normal) en la fase de apoyo medio, fase 3, en la que trabaja, junto con los músculos posteriores de la pantorrilla para estabilizar el tobillo. En el primer momento, (fase 1), tras el

Tabla 8. Valores medios de la actividad del Tibial Anterior en la marcha a distintas velocidades y en la carrera

FASES		MARCHA LENTA	MARCHA NORMAL	MARCHA RÁPIDA	CARRERA
1	Media DS	33.09 11.03 N-NS R-NS C-NS	32.64 15.80 R* C-NS	50.33 25.71 C-NS	40.73 11.03
2	Media DS	16.12 10.42 N-NS R-NS	18.67 10.55 R-NS	20.85 14.96	
3	Media DS	9.85 7.20 N-NS R-NS C****	11.04 6.28 R* C****	15.53 6.61 C**	54.02 21.28
4	Media DS	11.82 8.25 N-NS R-NS C**	14.06 8.30 R-NS C*	18.72 13.01 C-NS	27.24 22.44
5	Media DS	16.70 7.48 N-NS R-NS C**	17.77 9.28 R* C**	24.88 6.90 C*	40.14 21.25
6	Media DS	20.70 6.94 N-NS R** C****	22.96 12.45 R-NS C**	38.12 33.27 C*	46.74 18.03

NS: No significación / *<0.05 / **<0.01 / ***<0.001
N: marcha normal / R: marcha rápida / L: marcha lenta
C: carrera

contacto de talón, su actividad también es importante (40,7%), pero no la máxima, a diferencia de lo que ocurre en la marcha, ya que, aunque no se produce el abatimiento del pie porque el apoyo se realiza casi con el pie plano, necesita mantener la posición del tobillo. También aparece una actividad importante durante la oscilación, algo mayor en su segunda parte, coincidiendo con lo descrito por Cicotti y cols.⁵ y Yang y Winter²⁷, ya que el tobillo, en la carrera, a lo largo de esta fase disminuye progresivamente su flexión plantar.

Podemos concluir que la actividad en los músculos estudiados en la marcha lenta y normal ha sido muy parecida, sin diferencias significativas, sin embargo, en la marcha rápida hemos encontrado aumentos importantes aunque conservando el mismo patrón de actuación, es decir, apareciendo los picos de actividad en las mismas fases. Con el aumento de la velocidad, los incrementos de actividad más importantes han aparecido en los músculos encargados de provocar aceleraciones y deceleraciones en el miembro inferior: Recto Anterior e Isquiotibioperoneos que actúan como flexores de cadera y de rodilla respectivamente interviniendo en el impulso y en el avance del miembro inferior, primera fase de la oscilación, y Cuádriceps e Isquiotibioperoneos, que lo hacen en la segunda fase de la misma con función deceleradora, extendiendo la rodilla los primeros y controlando esta extensión y la flexión de cadera los segundos.

En la carrera, los músculos estudiados han mostrado, no sólo una actividad mucho más importante, sino también una modificación de su patrón de actuación respecto a la marcha. Los mayores picos de actividad han ocurrido, en todos los músculos estudiados, en la *fase de apoyo*, momento en el que el centro de gravedad se lleva hacia delante sobre ese miembro inferior; el Glúteo Mayor y Medio actúan aquí para controlar la posición de la cadera, el Cuádriceps y los Isquiotibioperoneos para estabilizar la rodilla, ligeramente flexionada y el Tibial Anterior y los Gemelos para asegurar la posición del tobillo. Durante *la oscilación*, en su inicio, actúan: el Recto Anterior y los Isquiotibioperoneos para flexionar la cadera y la rodilla y acelerar el miembro inferior, y en su fase final, para decelerarlo, trabajan el Glúteo Mayor y los Isquiotibioperoneos controlando la articulación de la cadera, que sigue flexionada, y éstos últimos, además, frenando la extensión de rodilla que produce el Cuádriceps antes del nuevo contacto, manteniendo una ligera flexión de esta articulación; destaca también la ac-

ción del Tibial Anterior controlando la posición del tobillo a lo largo de la oscilación.

Bibliografía

1. **Sanchez Lacuesta J.** Biomecánica de la marcha humana normal. En: Prat J, editor. Biomecánica de la marcha humana normal y patológica. Valencia: Instituto de Biomecánica, 1993. p. 19-111.
2. **Winter DA, Yack HJ.** EMG profiles during normal human walking: stride-to-stride and inter-subject variability. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1987;67:402-11.
3. **Perry J. Gait analysis.** Normal and pathological function. Thorofare: Salck; 1992.
4. **Nerin S, Villarroya A, Cepero E, Gómez J, Moros T, Comin M.** Actividad muscular de las extremidades inferiores en el ascenso de escaleras. *Rehabilitación* 1999;33:99-106.
5. **Cicotti MG, Kerlan RK, Perry J.** An electromyographic analysis of the knee during functional activities. *Am J Sports Med* 1994;22:645-50.
6. **Andriacchi TP, Andersson GBJ, Fermier RW, Sertn D, Galante JO.** A study of lower-limb mechanics during stair-climbing. *J Bone Joint Surg (Am)* 1980;62:749-58.
7. **Lyons K, Perry J, Gronley JK, Barnes L, Antonelli D.** Timing & relative intensity of hip extensor and abductor muscle action during level and stair ambulation. An EMG study. *Phys Ther* 1983;63:1597-605.
8. **James B, Parker AW.** Electromyography of stairs locomotion in elderly men and women. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1989;29:161-68.
9. **Lange GW, Hintermeister RA, Schlegel T, Dilman CJ, Steadman JR.** Electromyographic and kinematic analysis of graded treadmill walking and the implications for knee rehabilitation. *JOSPT* 1996; 23: 294-301.
10. **Cepero E, Nerín S, Gómez J, Villarroya A, Miguelena M, Comín M.** Análisis cinesiológico de la rodilla al caminar en rampa. *Medicina de Rehabilitación* 1998; XI(3):18-26.
11. **Llana S, Brizuela G.** Modificaciones en la cinética de la marcha humana inducidas por el treadmill. *Selección* 1996;5:166-70.
12. **Wall JC, Chateris J.** The process of habituation to treadmill walking at different velocities. *Ergonomics* 1980;23:425-35.
13. **Opila KA.** Kinematics of high-heeled gait. *Arch Phys Med & Rehabil* 1990;71:304-10.
14. **Plas F, Viel E, Blanc Y.** La marcha humana. Cinesiólogía dinámica, biomecánica y patomecánica. Barcelona: Masson; 1984.
15. **Montgomery IIIW H, Pink M, Perry J.** Electromyographic analysis of hip and knee musculature during running. *Am J Sports Med*

- 1994;22:272-78.
16. **Luttgens K, Wells K.** Kinesiología. Bases científicas del movimiento humano. Madrid: Pila Teleña; 1982.
 17. **Villarroya A, Aguilar JJ, Torres F, Asiron PJ.** Orthobio: un nuevo sistema de análisis del movimiento en tres dimensiones. *Rehabilitación* 1997; 31: 265-72.
 18. **Clarys JP.** A review of EMG in swimming, explanation of facts and/or feedback information. En : Hollander AP, Huijing PA, De Groot G, editores. *Swimming Science IV*. Champaign: Human Kinetics; 1983. p. 123-25.
 19. **Cipriani DJ, Armstrong CW, Gaul S.** Backward walking at three levels of treadmill inclination: an electromyographic and kinematic analysis. *JOSPT* 1995; 22: 95-102.
 20. **Koh TJ, Graviner MD.** Cross talk in surface electromyograms of human hamstring muscles. *J Orthop Res* 1992; 10: 701-9.
 21. **Murray MP, Spurr GB, Sepic SB, Gardner GM, Mollinger LA.** Treadmill vs floor walking: Kinematics electromiogram and heart rate. *J Appl Physiol* 1985;59:87-97.
 22. **Rab TG.** Muscle. En: Rose J, Gamble JG, editores. *Human Walking*. 2ª ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1994. p. 101-23.
 23. **Wooten ME, Kadaba MP, Cochran GVB.** Dynamic electromyography II. Normal patterns during gait. *J Orthop Res* 1990;8:259-65.
 24. **Lara MF, Angulo MT, Llanos LF.** Actividad electromiográfica normal en la marcha humana. *Biomecánica* 1996;7:110-6.
 25. **Prilutsky BI, Gregor RJ, Ryan NM.** Coordination of two-joint rectus femoris and hamstrings during the swing phase of human walking and running. *Exp Brain Res* 1998;120:479-86.
 26. **Dubo HI, Peat M, Winter DA y cols.** Electromyographic temporal analysis of gait: normal human locomotion. *Arch Phys Med Rehabil* 1976;57:415-20.
 27. **Yang JF, Winter DA.** Surface EMG profiles during different walking cadences in humans. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* 1985;60:485-91.
 28. **Reber L, Perry J, Pink M.** Muscular control of the ankle in running. *Am J Sports Med* 1993;21:805-10.