

MARCHA EN RAMPA ASCENDENTE

Escuela Universitaria de Ciencias de la Salud
Departamento de Fisiatría y Enfermería
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

A. VILLARROYA APARICIO

La marcha es un modo de locomoción bípeda con actividad alternada de los miembros inferiores y mantenimiento del equilibrio dinámico; se caracteriza por una sucesión de doble apoyo y apoyo unilateral.

La marcha ocasiona un gasto energético; en la provisión de la energía necesaria para llevarla a cabo, va a ser muy importante la acción de la gravedad y la inercia (1,2). Durante la marcha el cuerpo se levanta y vuelve a caer. Cuando el c.d.g. se eleva va aumentando la energía potencial almacenada y cuando desciende va disminuyendo en provecho de la energía cinética, es decir, se va transformando en energía cinética, la cual es máxima en el punto más bajo y gracias a ella se continúa el movimiento mientras se va transformando nuevamente en energía potencial y así sucesivamente.

Este almacenamiento de la energía potencial parece que supone un 50% del gasto energético de la marcha; para el resto no hay otro remedio que utilizar las acciones musculares (1).

El gasto energético de la marcha varía con algunas circunstancias, entre ellas están las características personales. También influye la velocidad de la marcha,

así, una marcha lenta supone un gasto energético importante, ya que se pierde la energía cinética y es como si se volviera a empezar a caminar, mientras que conforme aumenta la velocidad va disminuyendo este gasto hasta un máximo de alrededor de 4.5 km./h.; a partir de ahí, vuelve a aumentar muy rápidamente. Cada persona, de forma libre, tiende a adoptar esta velocidad «económica». También influye el tipo de terreno por el que se camina, así, en terrenos irregulares y blandos, mayor gasto energético, ya que no dan suficiente resistencia a los pies. Por último, un factor muy importante es la pendiente; en el ascenso, el gasto energético es mucho mayor ya que se necesita la actuación de una mayor masa muscular pues no existe la fase de descenso del c.d.g. y no hay posibilidad de restitución de la energía almacenada. En el descenso, si es leve, disminuye el gasto energético ya que la energía acumulada es superior a la normal y la marcha resulta fácil pero, conforme aumenta la inclinación, también lo hace el gasto energético, ya que es necesario frenar y utilizar la musculatura para evitar la aceleración demasiado grande. (1,3,4).

Por tanto, como hemos visto, necesi-

tamos la acción muscular para poder llevar a cabo la marcha, pero una acción muscular, como indica Basmajian (5), que, en terreno llano, es escasa en comparación con los movimientos voluntarios. En algunos estudios se habla del porcentaje de actividad de los músculos durante la marcha con respecto a su actividad máxima y, así, en el realizado en 1986 por Ericson y col (6) se indica que ningún músculo, al caminar, supera el 15% de dicha actividad máxima. Algo superior es la actividad encontrada, en general por Dubo y col (7) y por Lyons y col (8).

Conforme modificamos algunas de las características que varían el gasto energético de la marcha, esta actividad muscular varía también de forma importante. Se conoce bien, porque ha sido muy estudiada, la acción muscular durante la marcha en terreno llano y también se han realizado trabajos de este tipo subiéndolo y bajando escalera pero, sin embargo, no conocemos ninguno subiéndolo y bajando rampa. Por este motivo, y pensando que, aunque con características semejantes a las de la marcha en escalera, también tiene que presentar diferencias considerables, hemos comenzado un estudio cuya finalidad es registrar la actividad eléctrica de algunos músculos de la extremidad inferior subiéndolo y bajando rampa y compararla con la de la marcha en terreno llano y subiéndolo y bajando escaleras. Aquí, debido al tiempo, sólo hablaremos de la subida.

MATERIAL Y MÉTODO

El registro de la actividad muscular se ha realizado en 10 sujetos (7 mujeres y 3 hombres), con una edad media de 29 ± 8 años. Ninguno de ellos presentaba alteraciones del aparato locomotor y, al realizar las pruebas, todos iban con calzado plano y cómodo.

La actividad muscular se registró en 7 pruebas: caminando en terreno llano, subiéndolo y bajando escaleras (de 20 cm. de altura y 34 cm. de profundidad) y subiéndolo y bajando rampa (de 15° y 30° de inclinación). Los músculos registrados fueron: glúteo mayor, glúteo medio, aductores, recto anterior, vasto interno, isquiotibiales, gemelos, peroneos laterales y tibial anterior; en todos los casos en el lado derecho (todos eran diestros). Se emplearon electrodos de contacto adhesivos colocándolos, tras la preparación de la piel para eliminar resistencias, a una distancia de 2 cm. entre ellos en la dirección principal de las fibras musculares.

El registro se hizo con electrodos de contacto, en lugar de utilizar electrodos de aguja, por su mayor comodidad y porque, a pesar de las limitaciones que presentan, según Inman (9), en los músculos largos de la extremidad inferior las diferencias entre los registros realizados con las 2 técnicas son muy pequeñas.

El aparato empleado fue un sistema telemétrico de MIE «Medical Research LTD» que, además de los electrodos, permitía conectar 2 sensores (uno en el talón y otro en el antepié) que marcaban los apoyos y permitían dividir en fases la marcha:

- 1.- Apoyo de talón.
- 2.- Apoyo de talón y antepié.
- 3.- Apoyo de antepié.
- 4.- Oscilación.

A los sujetos se les permitía practicar varias veces las pruebas antes de recoger los registros. Tras la recogida de los datos, las señales se pasaron a un programa especial «Dadisp» que permite analizar los mismos así como realizar su representación gráfica. En todos los casos, además de analizar la actividad muscular en cada fase de la marcha, se valoró la duración de cada una de ellas, emplean-

do para su comparación entre las diferentes pruebas 2 tipos de tests no paramétricos: Kruskal-Wallis (para comprobar más de 2 datos entre sí) y la U de Mann Whitney (para comparar de 2 en 2 datos), valorando como diferencias significativas cuando existían probabilidades menores de 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la subida de rampa aumenta la duración del ciclo total de la marcha de una forma significativa (tabla I, gráfica 1), más cuanto mayor es la inclinación del plano, y este aumento se produce por el aumento de la duración de la fase de pie plano en el suelo y de apoyo de antepié, momento en el que se debe hacer un esfuerzo intenso para elevar el cuerpo y acceder al nivel superior (tabla I, gráfica 2). Subiendo escalera en vez de rampa, esta duración del ciclo de la marcha también es mayor que en terreno llano (tabla 2, gráfica 3), pero con un aumento

importante del tiempo de apoyo con todo el pie y, además, hay una distribución diferente del resto de las fases (gráfica 4) ya que prácticamente no existe fase de apoyo sólo de talón y está muy reducida la de apoyo únicamente de antepié pues las escaleras, horizontales, definen el tipo de apoyo y éste se hace prácticamente con el pie plano, apoyando a la vez talón y antepié, y el abandono del suelo es casi de vez, con un tiempo muy reducido de apoyo sólo de antepié.

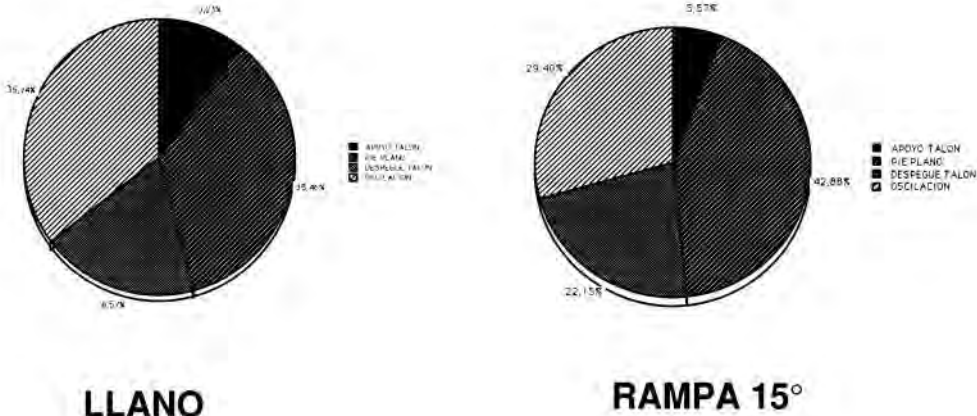
En cuanto a las acciones musculares, en el ascenso de rampa, así como en el de escalera, la actividad muscular es considerablemente mayor que en terreno llano, siendo proporcional este aumento a la inclinación del plano.

Este mayor requerimiento muscular es lógico ya que, además de tener que elevar todo el cuerpo por encima del miembro inferior portante, no se acumula la energía del paso anterior ya que no hay descenso del c.d.g. sino que todo el tiempo existe un ascenso de éste.

	<u>LLANO</u>	<u>RAMPA 15°</u>	<u>RAMPA 30°</u>
TIEMPO TOTAL	1.19 ± 0.10	1.66 ± 0.26	1.73 ± 0.42
APOYO TALON	10.23 ± 5.90	5.56 ± 4.32	7.12 ± 6.02
%APOYO PLANO	35.46 ± 10.05	42.87 ± 10.41	42.53±15.27
%APOYO ANTEPIÉ	18.57 ± 10.77	22.15 ± 9.49	21.04±13.08
% OSCILACION	35.74 + 6.59	29.39 ± 5.77	29.28±5.96

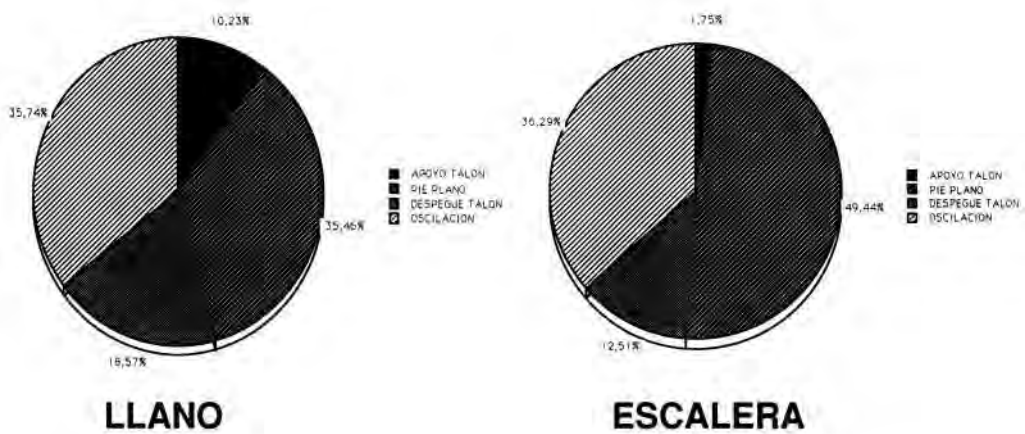
Tabla 1. Duración del ciclo de la marcha (ms) y porcentaje de cada una de sus fases en terreno llano, y en rampa de 15° y de 30°.

PORCENTAJES DE LAS FASES DEL CICLO DE LA MARCHA



Gráfica 1.

PORCENTAJES DE LAS FASES DEL CICLO DE LA MARCHA



Gráfica 2.

	LLANO	ESCALERA
TIEMPO TOTAL	1.19 ± 0.10	1.38± 0.14
%APOYO TALON	10.23± 5.90	1.75± 1.82
%APOYO PLANO	35.46± 10.05	49.35± 8.08
%APOYO ANTEPIÉ	18.57± 10.77	12.49± 6.70
%OSCILACION	35.74± 6.59	36.22± 3.75

Tabla 2. Duración del ciclo de la marcha (ms) y porcentaje de cada una de sus fases en terreno llano, y en escalera.



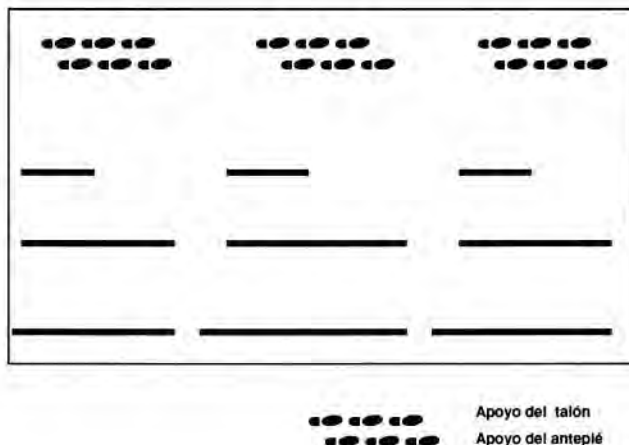
Gráfica 3.

ISQUIOTIBIALES

LLANO

RAMPA

ESCALERA



Gráfica 4.

En el ascenso de rampa hay una sollicitación importante del **glúteo mayor** durante todo el apoyo (gráfica 3), proporcional a la inclinación de la rampa, para conseguir la extensión de la cadera. Esta acción es semejante a la que se produce en el ascenso de escaleras, y mucho mayor que cuando se camina en terreno llano. En llano, existen discrepancias en cuanto a la acción de este músculo ya que algunos autores, como Fiera y Grossiord (1), Plas y Viel (3), Lapierre (10), indican que no existe acción del mismo en la marcha normal mientras que otros, como Basmajian (12), Inman (9), Ericson y col. (6), Corcoran y col. (13)... demuestran actividad de este músculo en la primera parte del apoyo. Nosotros, en nuestro estudio, encontramos diferentes patrones de actividad en el glúteo mayor; en algunos casos había una actividad, no muy importante, en esta misma fase, pero en otros no detectamos actividad en ningún momento del ciclo de la marcha. De cualquier forma, cuando esta actividad existe, es considerablemente menor que subiendo rampa o escalera y sólo en la primera fase del apoyo.

En esta acción de extensión de la ca-

dera, el glúteo mayor está ayudado de forma importante por los músculos **isquiotibiales** quienes en la subida de rampa, igual que el glúteo mayor, actúan durante todo el apoyo (gráfica 4); por otra parte, en esta fase, controlan la extensión de rodilla producida por el cuádriceps en el momento del contacto del talón en el suelo. Estos músculos vuelven a actuar, aunque con menor intensidad, al final de la fase oscilante para controlar la extensión de rodilla que se produce por un mecanismo de péndulo tras la acción de los flexores de cadera.

La diferencia en la forma de actuar estos músculos con respecto a la marcha en llano es su intensidad (mucho mayor en rampa) y que en rampa su actividad se prolonga durante todo el apoyo del pie en el suelo, colaborando de forma importante en la extensión de la cadera, mientras que en llano cesa poco después del contacto del talón.

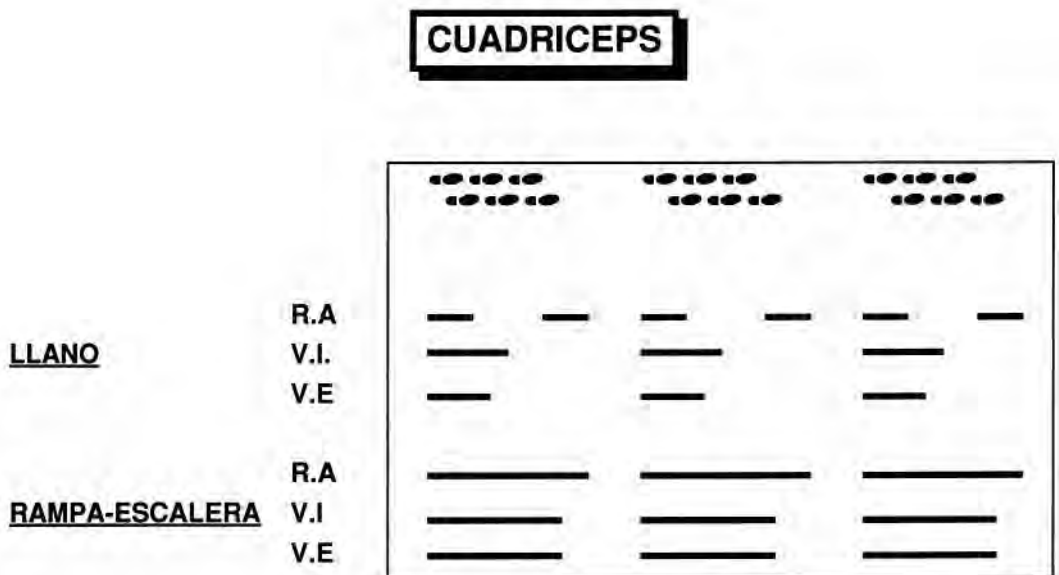
En la subida de escalera, su acción es similar a la de subida de rampa pero estos músculos, como también indica Basmajian (12), actúan casi todo el tiempo, es decir, comienzan antes en la fase oscilante ya que hay que realizar una flexión mayor

que en la subida de rampa para poder salvar el choque con el peldaño superior y a la flexión de cadera hay que añadirle una flexión voluntaria de la rodilla.

El cuádriceps (gráfica 5) es un músculo imprescindible, tanto en la subida de rampa como en la de escalera (1,12), presentando una actividad semejante en los dos casos y muy importante, a diferencia de lo que encontramos, coincidiendo con la mayoría de los estudios realizados (6,9,12,13,14,15), en terreno llano. En llano actúa levemente en el apoyo del talón en el suelo para evitar la flexión pasiva de la rodilla que se produce al cargar el peso del cuerpo; posteriormente, el recto anterior actúa ligeramente, para frenar la flexión pasiva que se produce en la rodilla cuando se comienza a elevar el talón del suelo, y continúa su acción colaborando en la flexión de la cadera en el inicio de la fase oscilante. Sin embargo, en la subida de rampa o escalera, el cuádriceps, sobre todo los vastos, actúa en todo el apoyo del pie, no ya para estabilizar, sino para realizar una importante extensión de la rodilla; el recto anterior también actúa, aunque en un

principio su acción es menor ya que al estar flexionada la cadera se encuentra en un alargamiento relativo pero, conforme se va extendiendo esta articulación, va aumentando su acción. Esta porción continúa su participación para, igual que en llano, actuar en la primera parte de la fase oscilante, colaborando en la flexión de la cadera.

Los músculos **glúteo medio y aductores** se encargan, junto al **glúteo menor y tensor de la fascia lata**, de estabilizar lateralmente la pelvis (gráfica 6). En llano, alternan su actividad, de forma que el glúteo medio actúa desde el apoyo de talón hasta que empieza a elevarse y en ese momento comienzan a actuar los aductores hasta el siguiente apoyo de talón, resultados semejantes a los de la mayoría de los estudios realizados sobre marcha en terreno llano (1,9,12,15). En el ascenso de rampa y escalera, la acción de estos músculos es más continua. En el apoyo, actúan conjuntamente estabilizando la pelvis y en la fase oscilante la actividad es menor en ambos grupos musculares pero actúan, también, conjuntamente controlando transversalmente



Gráfica 5.



ABDUCTORES-ADUCTORES

LLANO

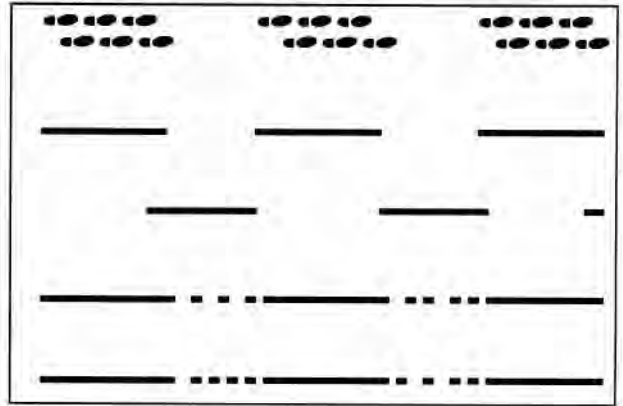
RAMPA-ESCALERA

ABD

ADD

ABD

ADD



 Apoyo del talón
 Apoyo del antepié

Gráfica 6.

el miembro inferior hasta alcanzar el nivel o peldaño superior; además, los aductores en esta fase colaboran en la flexión de la cadera para alcanzar dicho nivel o peldaño.

Los gemelos (gráfica 7), en terreno llano, coincidiendo con lo expuesto en otros estudios (6,9,12,13,14), comienzan su acción en el apoyo unilateral controlando, mediante una contracción excéntrica, el desplazamiento de la extremidad inferior hacia delante, a continuación, mediante una contracción isométrica, solidariza el segmento tibial al pie, comenzando el levantamiento del talón, y, por último, una contracción concéntrica permite el abandono del pie del suelo; en esta acción los gemelos son ayudados por los peroneos, colaborando en la extensión y controlando lateralmente el pie para que el abandono del suelo por parte de éste se haga en una ligera pronación y el primer dedo sea el último en abandonar el suelo (1).

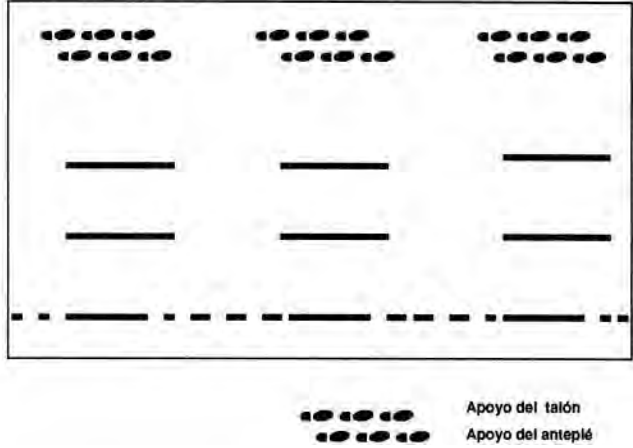
En el ascenso de rampa la acción de estos músculos es mucho mayor, ya que el impulso que se debe dar para elevar

el talón del suelo es mayor, pero se produce en las mismas fases. Se diferencia de la acción en el ascenso de escalera ya que, en este último caso, la acción importante de los gemelos disminuye en cuanto se apoya el otro pie en el escalón siguiente porque este miembro inferior se hace cargo de la elevación del cuerpo y, además, no es necesaria una importante flexión plantar, ya que se eleva casi de vez todo el pie; sin embargo, en la escalera, su acción, aunque ligera, continúa también en la fase oscilante, controlando, junto al tibial anterior, su acceso al peldaño superior, mientras que en la rampa tiene que haber una importante flexión dorsal a cargo del tibial anterior y de los músculos pretibiales y los gemelos prácticamente no actúan.

Por último, por lo que respecta al **tibial anterior** (gráfica 8), su acción en la subida de rampa, así como en la de escalera, es prácticamente continua a lo largo del ciclo. Durante la fase de oscilación, esta actividad es intensa ya que se necesita una flexión dorsal del tobillo importante para no tropezar con el antepié;

GEMELOS

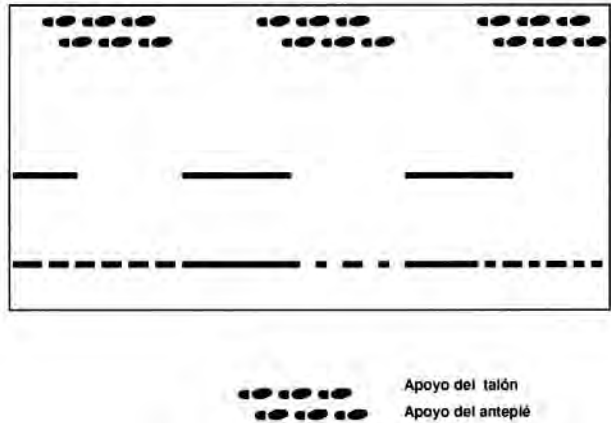
LLANO
RAMPA
ESCALERA



Gráfica 7.

TIBIAL ANTERIOR

LLANO
RAMPA-ESCALERA



Gráfica 8.

en llano, también existe esta actividad en esta fase, pero de menor intensidad. El resto del ciclo, su actividad es menor (Basmajian no describe ninguna o sólo muy ligera) y actúa conjuntamente con los gemelos controlando la acción de éstos durante el apoyo, ya que no se necesita la importante contracción

excéntrica que controle el abatimiento del pie en el suelo, como ocurre en terreno llano, porque, en la rampa, se accede al nivel superior con una flexión dorsal del pie, para adaptarse a la inclinación de la misma, y, en la escalera, se accede con el pie prácticamente plano.

Vemos, por tanto, que los músculos en la subida de rampa actúan en momentos distintos que en terreno llano y con mayor intensidad y, por otra parte, no podemos considerar igual la subida de rampa y la de escalera pues, como hemos visto, presentan características diferentes en la participación muscular, principalmente en la acción de los músculos isquiotibiales y los gemelos.

BIBLIOGRAFÍA

(1) PIERA, J. B., GROSSIORD, A.: La marche. *Encycl. Méd. Chir., Paris, Kinésithérapie*, 4.4.02, 26013 A-10y A-15.

(2) INMAN, V. T.: Conservation of energy in ambulation. *Bull. Pros. Res.* 10, 9. 1968.

(3) PLAS, F., VIEL, E., BLANC, Y.: La marcha Humana. Ed. Masson, S. A. Barcelona, 1984.

(4) SAUNDERS, J. B., INMAN, V. T., EBERHART, H. D.: The major determinants in normal and pathological gait. *J. Bone Joint Surg.* 35A: 543-558. 1953.

(5) BASMAJIAN, J. V.: Electrofisiología de la acción muscular. Ed. Panamericana. Buenos Aires, 1976.

(6) ERICSON, M. O., NISELL, R., EK-HOLM, J.: Quantified electromyography of lower limb muscles. *Scand. J. Rehab. Med.* 18: 159-163. 1986.

(7) DUBO, H. I., PEAT, M., WINTER, D. A., QUANBURY, A., HOBSON, D. A., STEINKE, T., REIMER, G.: Electromyographic temporal analysis of gait: normal

human locomotion. *Arch. Phys. Med. Rehab.* 57: 415-418. 1976.

(8) LYONS, K., PERRY, J., GRONLEY, J. K., BARNES, L., ANTONELLI, D.: Timing and relative intensity of hip extensor and abductor muscle action during level and stair ambulation. *Phys. Ther.* 63: 1597. 1983.

(9) INMAN, V. T., RALSTON, H. J., TODD, F.: Human walking. Ed. William & Wilkins. Londres 1981.

(10) LAPIERRE, A.: La marcha. En: Lapierre A. «La reeducación física». Tomo I: Cinesiología, reeducación postural, reeducación psicomotriz. 201-205. Ed. Científico-Médica. Barcelona, 1978.

(11) LUTTGENS WELLS, K.: Kinesiología. Bases científicas del movimiento humano. Ed. Pila teleña. Madrid, 1982.

(12) BASMAJIAN, J. V., DE LUCA, C. J.: Human locomotion. En: Basmajian, J. V. y De Luca, C. J., «Muscles alive: their functions revealed by electromyography». 367-388. Ed. Williams & Wilkins. 5.ª ed. Baltimore, 1985.

(13) CORCORAN, P. J., PESZEZYNSKI, M.: La marcha y su reentrenamiento. En: Basmajian, J. V., «Terapéutica por el ejercicio», pág. 211-223. Ed. Panamericana. Buenos Aires, 1982.

(14) WOOTTEN M. E., KADABA, M. P., COCHRAN, G. V.: Dynamic electromyography. II. Normal patterns during gait. *J. Orthop. Res.* 8: 259-265. 1990.

(15) VILADOT, A., VILADOT, A. Jr.: La marcha humana. *Ortop. Traum.* 34.1: 99-108, 1990.