



**redined**

red de bases de datos  
de información educativa

<http://www.redined.mec.es/>

## **TEXTO BILINGÜE**

---

---

**1ª parte: Versión en lengua española** 

**TEXT BILINGÜE**

---

---

 **2a part: Versió en llengua catalana**

# Desarrollo evolutivo y parámetros determinantes del patrón motor de marcha humana

## ■ M.<sup>a</sup> LUISA RIVADENEYRA

Doctora en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.  
Facultad de Ciencias del Deporte.  
Universidad de Extremadura

## ■ Palabras clave

*Marcha humana, Desarrollo motor, Evaluación, Control motor*

## Resumen

Siendo el desarrollo de la marcha humana objeto de estudio privilegiado en el ámbito de la motricidad, se ha realizado una revisión de las publicaciones en torno al desarrollo del mismo y el estudio de los parámetros que lo definen.

El grupo de investigaciones más numeroso lo constituyen artículos que describen el comportamiento o evolución de algunos de los parámetros que definen este patrón. Además, encontramos varios estudios que relacionan la marcha con otras habilidades del ser humano o que estudian condiciones particulares o variantes en que se puede desarrollar este patrón. También encontramos varias propuestas de protocolos para la evaluación del patrón o de alguno de sus parámetros, así como evaluaciones de procedimientos ya existentes.

### ■ Abstract

*The aim of this paper is to show the researches about human gait's development and its main parameters.*

*The majority of papers describe the evolution of the main parameters that define this pattern. Also, we have founded some papers about the relation between human gait and other human abilities or special conditions during gait. We can find some protocols to evaluate the gait pattern or its parameters, and evaluations of some other protocols too.*

### ■ Key words

*Human gait, Motor development, Evaluation, Motor control*

## Introducción

Desde los inicios del siglo XX, se definió el logro de la marcha bípeda independiente como la fase más espectacular y probablemente más importante del desarrollo motor (Shirley, 1931). Hoy día, podemos afirmar sin miedo a ser exagerados, que antes de este logro, el niño encuentra seriamente limitado el acceso al medio, con su consecuente potencial como experiencia motora y para el desarrollo en general (Wickstrom, 1983).

Partiendo de la gran importancia que cobra esta adquisición en el desarrollo motor del sujeto en general, y de las consecuencias que de ello se derivan, el desarrollo de la marcha humana está siendo recientemente objeto de estudio privilegiado en el ámbito del comportamiento motor (Vieira y Bettencourt, 1995). Hemos realizado una revisión en temas de motricidad o educación, con el objetivo de constatar qué importancia real se le da al asunto y cuáles son los aspectos que mayor atención reciben dentro de él.

## Desarrollo evolutivo y descripción de parámetros determinantes

Desde comienzos del siglo XX se ha sido consciente de la importancia de conocer y evaluar los cambios que a lo largo del desarrollo se van produciendo en la manifestación de diversas habilidades motoras, entre las que destaca la marcha; existiendo múltiples instrumentos que describen diferentes etapas por la que todos los niños han de pasar hasta manifes-

tar lo que desde entonces entendemos como un “patrón maduro de movimiento” (Wickstrom, 1983), y que no es otra cosa que un gesto motor eficaz para el propósito con el que este es producido.

Así, a lo largo de todo el siglo, como consecuencia de las numerosas investigaciones que este centro de interés ha suscitado, se han ido enriqueciendo las descripciones de estas etapas y, a la par, también se ha ido engrosando todo un conjunto de instrumentos de evaluación del desarrollo de este patrón, ya que resulta imprescindible si queremos fundamentar un trabajo individualizado (Burton y Miller, 1998).

Entre todos los instrumentos de evaluación que se han ido diseñando podríamos diferenciar dos líneas fundamentales: en primer lugar, con el propósito de medir de una manera objetiva y operativa la evolución de este patrón, se han ido diseñando una serie de instrumentos que, basados en parámetros fundamentalmente biomecánicos, describen con precisión los cambios que a lo largo del desarrollo se van produciendo (Okamoto, 1973; Sutherland *et alii*, 1988). Los instrumentos que engrosan este grupo cuentan con tantas ventajas desde el punto de vista de la fiabilidad de sus medidas que, siempre que sea posible, se recomienda su utilización. Desgraciadamente, su principal inconveniente es a menudo tan determinante dentro del ámbito educativo, que en él éstos son mucho menos utilizados que los instrumentos del segundo grupo. Este inconveniente radica en la necesi-

dad de un instrumental a menudo tan caro y sofisticado que no resulta asequible para muchos centros en los que es necesario constatar el desarrollo de la marcha de los niños.

El segundo grupo de instrumentos de evaluación del desarrollo de la marcha está formado por aquellos que, tras describir detalladamente las etapas en la evolución del patrón, facilitan un protocolo más o menos sencillo y una herramienta que facilite la observación sistemática, de tal manera que a partir de dicha información se sitúe al individuo en cuestión en una u otra etapa del desarrollo de la marcha. El ser mucho más asequibles hace que se utilicen con más frecuencia en centros educativos frente a un mayor número de los primeros en centros que cuentan con más recursos. Salvando algunas excepciones destinadas al ámbito educativo en nuestro propio país (Fernández, Gardoqui y Sánchez, 1999), los trabajos recogidos se encuadran en el primer grupo de instrumentos de evaluación descrito.

En general, el mayor peso en cuanto al número de investigaciones en torno a la marcha, es el que corresponde a trabajos que describen las etapas evolutivas hasta conseguir el patrón maduro, o el comportamiento de determinados parámetros en alguna o en varias de estas etapas.

Vieira y Bettencourt (1995) valiéndose de instrumentos de evaluación de los dos grupos descritos, revisan de manera muy completa el desarrollo del patrón de marcha, describiendo primero las formas rudimentarias de desplazamiento que preceden a dicho patrón e ilustrándolas con investigaciones al respecto realizadas a partir de 1931. Señalan como el desarrollo de la marcha sigue las pautas ya descritas desde estos primeros estudios: control de la cabeza, sostener el cuerpo levantado prono sobre los dos brazos, girarse en posición tumbados, sentarse, arrastrarse, cuadrupedia, marcha asistida, y finalmente marcha autónoma.

Continúan con el reflejo de marcha, también prolijamente ilustrado con datos de numerosas investigaciones desarrolladas entre los años 1964 y 1991. Este reflejo,

que consiste en la flexión alternativa de las piernas del bebé –como si marchase– cuando es cogido por las axilas y se pone sus pies en contacto con una superficie sólida, está presente en los primeros meses tras el nacimiento, para desaparecer entre los 2 y 8 meses y volver a hacer su aparición hacia el final del primer año (Rosenbaum, 1991). Existen trabajos que estudian diversos aspectos que relacionan el reflejo automático con el logro de la conducta voluntaria de la marcha (Thelen, 1983; Zelazo, 1983). Aunque finalmente algunos de estos investigadores, junto con otros (Thelen *et al.*, 1984; Mc. Donnell y Corkum, 1991), terminan poniendo en duda que exista una relación funcional entre el reflejo de marcha y el desarrollo de la marcha autónoma voluntaria.

En otra serie de trabajos, se intenta definir los requisitos necesarios para la aparición de la marcha autónoma, y aunque las investigaciones revisadas se reparten a lo largo de todo el siglo (entre 1932 y 1992), todas coinciden en hacer referencia a cuestiones como el equilibrio o control corporal, por lo que podríamos asumir que efectivamente son éstos requisitos imprescindibles para alcanzar el patrón maduro de la marcha.

### **Aplicaciones relacionadas con la salud**

Uno de los bloques que más destaca entre los estudiosos de la marcha, es el que se podría encuadrar como de aplicaciones para la salud y rehabilitación. En este grupo encontramos varios estudios del Instituto Biomecánico de Valencia, que desarrolla tecnología en este sentido.

En 1998, este Instituto, con el objeto de obtener los datos necesarios para diseño de calzado, realizó una serie de ensayos de evaluación biomecánica y funcional de la marcha infantil (Sección de Calzado del Instituto Biomecánico de Valencia y Calzados Fal, 1998). A partir de estos trabajos, este Instituto informa de la elaboración y difusión de cuadernos-guía para asesorar a los vendedores de calza-

do sobre las condiciones de salud-mecánica de diferentes tipos de calzado (Gil Mora, 1999). Además, este Instituto también investiga la marcha en la línea de salud-rehabilitación (Poveda Puente, 1999).

Otros investigadores abordan condiciones particulares de la marcha, como en el caso de Quesada *et alii* (2000), que analizan los efectos biomecánicos y metabólicos según se varíe el peso de una mochila que carga un sujeto en una marcha simulada. Sus conclusiones pueden ser útiles para prevenir la fatiga durante el trabajo prolongado; además, puede tener aplicación directa en cuanto a recomendaciones higiénicas en torno al peso en las mochilas escolares.

También hay estudios de otras condiciones particulares que pueden aparecer durante la marcha, como la capacidad para recuperarse tras un resbalón (Brady *et alii*, 2000).

### **Locomoción y estructuración espacial**

Relacionando la locomoción infantil con otras áreas y su evolución, hallamos varios trabajos que se refieren al desarrollo de las relaciones espaciales en el niño. Yan y Thomas (1998) estudian y confirman el efecto de la práctica locomotriz en las conductas de exploración y estructuración espacial en el infante de entre 4 meses y 3 años.

Farrell y Thomson (1999) por su parte, investigan el control de los desplazamientos sin visión, concluyendo tras el planteamiento de dos situaciones experimentales similares, que los sujetos no sitúan su cuerpo en el espacio respecto a una representación abstracta de la distancia a recorrer; sino respecto a una representación de su posición relativa dentro del contexto de la tarea a realizar, cobrando con ello aún más importancia las actividades motoras locomotrices frente a las puramente cognitivas, para favorecer el desarrollo de las habilidades espaciales. En la misma línea de estudio del control de los desplazamientos sin visión, Dannon *et alii* (2000) encontraron que in-

cluso para tareas motoras sencillas el rendimiento empeora en ausencia de visión.

En la misma línea, Castro (1993) intentó determinar “si el desarrollo de la locomoción está en relación con otras áreas madurativas no locomotoras”. Para ello, comparó el desarrollo de varios patrones locomotrices con la coordinación visomotora, en 103 niños y niñas de entre 4,6 y 6,8 años, concluyendo con que efectivamente existe correlación entre el índice de locomoción y de coordinación visomotora, y que hasta los 6 años las niñas maduran en sus patrones locomotores más deprisa que los niños.

### Parámetros temporales

Vieira y Bettencourt (1995) recogen diversas investigaciones en torno a distin-

tos parámetros de la marcha humana, realizando comparaciones de sus valores en diferentes momentos evolutivos. Los parámetros a los que se refieren son temporales; concretamente cadencia (*Tabla 1*), longitud del paso (*Tabla 2*) y velocidad (*Tabla 3*).

Definen cadencia como el número de pasos por unidad de tiempo, expresada en pasos por minuto (p/min); longitud del paso como la distancia horizontal recorrida a lo largo del plano de progresión durante un paso, o sea, la distancia recorrida desde el momento en que un pie contacta con el suelo hasta que el mismo pie vuelve a contactar, expresada en metros (m) y velocidad, como la velocidad horizontal media del cuerpo, a lo largo del plano de progresión de uno o más ciclos de paso y expresada en metros por segundo (m/s) o metros por minuto (m/min) (Winter, 1991).

Las tablas 1, 2 y 3 recogen las investigaciones revisadas.

Podemos verificar como los valores de cadencia van descendiendo con la edad, claramente y de forma más acelerada en los tres primeros años, y de manera más paulatina, incluso presentando leves altibajos al final de la infancia en los valores medios (ver 5, 6, 7 y 8 años), hasta llegar a los valores más bajos en la edad adulta.

De todos modos, los valores medios sólo sirven como orientación general de la evolución del parámetro, ya que dentro de los estudios de cada investigador, apenas existen altibajos significativos, siendo la tendencia siempre decreciente.

La cadencia entonces, se relaciona negativamente con la edad, y a su vez con el aumento de las medidas antropométricas, normalmente: altura, peso, cir-

■ TABLA 1.

Ritmo de marcha: valores de referencia en estudios con niños y adultos (adaptado de Vieira y Bettencourt, 1995).

| AUTOR                                      | EDAD CRONOLÓGICA Y CADENCIA (PASOS/MINUTO) |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
|--|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|  | 1 AÑO                                      | 2 AÑOS       | 3 AÑOS       | 4 AÑOS       | 5 AÑOS       | 6 AÑOS       | 7 AÑOS       | 8 AÑOS       | 9 AÑOS       | > 18 AÑOS    |
| Murray <i>et al.</i> (1966)                |  |              |              |              |              |              |              |              |              | 113,0        |
| Espenschade <i>et Eckert</i> (1969)        |  | 170,0        |              |              |              |              |              |              |              | 140-145      |
| Sutherland <i>et al.</i> (1980)            | 177,0                                      |              |              |              |              |              | 144,0        |              |              |              |
| Rose Jacobs (1983)                         |  |              | 144,0        |              | 126,0        |              |              |              |              |              |
| Henessy, Dixon <i>et Sheldon</i> (1984)    | 160,8                                      | 156,6        | 135,6        | 214,8        | 112,2        |              |              |              |              |              |
| Plas, Biel <i>et Blanc</i> (1984)          | 175,0                                      |              |              |              |              |              |              |              |              | 100-110      |
| Ferrandez <i>et Pailhous</i> (1986)        |  |              |              |              |              | 146,1        |              | 141,7        |              | 122,6        |
| Winter (1991)                              |  |              |              |              |              |              |              |              |              | 105,3        |
| Holt, Jeng <i>et Fetters</i> (1991)        |  |              |              |              |              |              |              |              | 122,0        | 112,0        |
| Bril <i>et Brenière</i> (1992)             | 177,0                                      |              | 140,4        |              |              |              |              |              |              |              |
| Brown <i>et Parker</i> (1992)              |  |              |              |              | 151,0        | 136,0        | 138,0        |              |              |              |
| White <i>et Lage</i> (1993)                |  |              |              |              |              |              |              |              |              | 117,0        |
| Clark <i>et Philips</i> (1993)             | 180,0                                      | 156,0        |              |              |              |              |              |              |              | 120,0        |
| <b>Media de los valores para cada edad</b> | <b>174,0</b>                               | <b>166,6</b> | <b>140,0</b> | <b>214,8</b> | <b>129,6</b> | <b>141,0</b> | <b>140,0</b> | <b>141,7</b> | <b>122,0</b> | <b>117,2</b> |
| <b>Total de trabajos en cada edad</b>      | <b>5</b>                                   | <b>3</b>     | <b>3</b>     | <b>1</b>     | <b>3</b>     | <b>2</b>     | <b>2</b>     | <b>1</b>     | <b>1</b>     | <b>8</b>     |

■ **TABLA 2.**  
*Longitud del paso en niños y adultos* (adaptado de Vieira y Bettencourt, 1995).

| AUTOR                                      | EDAD CRONOLÓGICA Y LONGITUD DEL PASO (m) |             |             |             |             |             |             |             |             |
|--|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|  | 1 AÑO                                    | 2 AÑOS      | 3 AÑOS      | 4 AÑOS      | 5 AÑOS      | 6 AÑOS      | 7 AÑOS      | 8 AÑOS      | > 18 AÑOS   |
| Murray <i>et al.</i> (1966)                |  |             |             |             |             |             |             |             | 1,56        |
| Scrutton (1977)                            | 0,50                                     | 0,56        | 0,66        | 0,72        |             |             |             |             |             |
| Sutherland (1980)                          | 0,44                                     |             |             |             |             |             | 0,96        |             |             |
| Hennessy, Dixon <i>et Sheldon</i> (1984)   | 0,48                                     | 0,52        | 0,59        | 0,60        | 0,78        |             |             |             | 1,56        |
| Ferrandez <i>et Pailhous</i> (1986)        |  |             |             |             |             | 1,03        |             | 1,18        | 1,61        |
| Winter (1991)                              |  |             |             |             |             |             |             |             | 1,51        |
| Bril <i>et Brenière</i> (1992)             | 0,50                                     |             | 0,68        |             |             |             |             |             |             |
| Brown <i>et Parker</i> (1992)              |  |             |             |             | 0,89        | 0,99        | 0,95        |             |             |
| White <i>et Lage</i> (1993)                |  |             |             |             |             |             |             |             | 1,43        |
| Clark <i>et Philips</i> (1993)             | 0,49                                     | 0,51        |             |             |             |             |             |             | 1,50        |
| <b>Media de los valores para cada edad</b> | <b>0,48</b>                              | <b>0,53</b> | <b>0,64</b> | <b>0,66</b> | <b>0,83</b> | <b>1,01</b> | <b>0,95</b> | <b>1,18</b> | <b>1,52</b> |
| <b>Total de trabajos en cada edad</b>      | <b>5</b>                                 | <b>3</b>    | <b>3</b>    | <b>2</b>    | <b>2</b>    | <b>2</b>    | <b>2</b>    | <b>1</b>    | <b>6</b>    |

■ **TABLA 3.**  
*Velocidad de marcha en niños y adultos* (adaptado de Vieira y Bettencourt, 1995).

| AUTOR                                      | EDAD CRONOLÓGICA Y VELOCIDAD (m/s) |             |             |             |             |             |             |             |             |
|--|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|  | 1 AÑO                              | 2 AÑOS      | 3 AÑOS      | 4 AÑOS      | 5 AÑOS      | 6 AÑOS      | 7 AÑOS      | 8 AÑOS      | > 18 AÑOS   |
| Murray (1966)                              |                                    |             |             |             |             |             |             |             | 1,51        |
| Hennessy, Dixon <i>et Sheldon</i> (1984)   | 0,55                               | 0,70        | 0,64        | 0,62        | 0,74        |             |             |             | 1,56        |
| Ferrandez <i>et Pailhous</i> (1986)        |                                    |             |             |             |             | 1,25        |             | 1,39        | 1,64        |
| Winter (1991)                              |                                    |             |             |             |             |             |             |             | 1,31        |
| Bril <i>et Brenière</i> (1992)             | 0,77                               |             | 0,70        |             |             |             |             |             |             |
| Brown <i>et Parker</i> (1992)              |                                    |             |             |             | 1,12        | 1,13        | 1,10        |             |             |
| White <i>et Lage</i> (1993)                |                                    |             |             |             |             |             |             |             | 1,39        |
| Clark <i>et Philips</i> (1993)             | 0,70                               | 0,75        |             |             |             |             |             |             | 1,45        |
| <b>Media de los valores para cada edad</b> | <b>0,67</b>                        | <b>0,73</b> | <b>0,68</b> | <b>0,62</b> | <b>0,93</b> | <b>1,19</b> | <b>1,10</b> | <b>1,39</b> | <b>1,41</b> |
| <b>Total de trabajos en cada edad</b>      | <b>3</b>                           | <b>2</b>    | <b>2</b>    | <b>1</b>    | <b>2</b>    | <b>2</b>    | <b>1</b>    | <b>1</b>    | <b>6</b>    |

cunferencia de la cabeza y longitud de las piernas (Henessy, Dixon y Sheldon, 1984).

Según la tabla, y en un primer momento, podría parecer que la edad adulta ha sido la que más ha interesado en cuanto a cadencia de marcha se refiere, ya que es el período considerado en el mayor número de estudios. En cambio, si nos detenemos un poco, podremos comprobar que sólo dos de las investigaciones reflejadas se centran exclusivamente en la edad adulta (Murray *et alii*, 1966 y White y Lage, 1993), llevando a cabo una comparación en el resto, entre la edad adulta y alguna o varias etapas de la infancia.

Entonces, son las primeras edades las que más han interesado a la hora de estudiar los cambios que se van produciendo en la cadencia de la marcha humana; concretamente el primer año, es el que ha suscitado más trabajos. Probablemente esto sea debido a que es precisamente en torno a esta edad cuando se consigue por primera vez la marcha independiente.

De la edad adulta sin embargo, disponemos de muchos más datos en todos los parámetros temporales, ya que viene siendo habitual utilizar un grupo de adultos, como grupo control que se supone tiene los valores que corresponden al patrón maduro de los parámetros a medir.

Queda claro como la longitud del paso se relaciona negativamente con la cadencia, incrementando aquella con la edad, a la inversa que la cadencia, esto está relacionado con el incremento de las medidas antropométricas, especialmente con la longitud de los miembros inferiores y la altura total del sujeto (Henessy, Dixon y Sheldon, 1984).

Aunque sea evidente que la velocidad absoluta de los niños es inferior a la de los adultos, algunas investigaciones (Henessy, Dixon y Sheldon, 1984) afirman que en los primeros 5 años de marcha autónoma no existen diferencias significativas en la velocidad. Para los niños más pequeños, la cadencia y la longitud del paso pueden predecir de la misma mane-

ra la velocidad; sin embargo, en edades posteriores la longitud del paso es un mejor predictor de la velocidad.

En los adultos, encuentran una relación fija entre la longitud del paso y la cadencia, aumentando ambos con la velocidad. Esta relación sin embargo, no se da en los niños, que presentan diferentes combinaciones entre cadencia, longitud del paso y velocidad.

Según estos autores, las proporciones corporales y la maduración neuromuscular se constituyen como determinantes básicos en el desarrollo del patrón de marcha del niño. Esta afirmación la asientan sobre la fuerte relación que existe entre la velocidad y la longitud del paso y altura corporal después de los 18 meses de edad.

Ante los estudios relacionados por Vieira y Bettencourt (1995), que nos muestran cómo tradicionalmente se ha estudiado la marcha a partir de parámetros espaciotemporales, Brenière (1999) establece un nuevo parámetro que llama "Natural Body Frequency" (NBF). Este parámetro se refiere a movimientos oscilatorios del cuerpo en el plano frontal, que pueden dar información muy valiosa sobre el desarrollo del patrón de marcha, ya que su valor es constante en adultos, decreciendo con la edad en el caso de niños.

Brenière realizó un análisis longitudinal de 5 niños durante sus primeros 5 años de marcha independiente, y dos grupos de entre 5 y 7 años para el análisis transversal, además de un grupo control de 5 adultos. Su análisis refleja que los parámetros locomotores se adaptan a la gravedad terrestre y a los cambios en la estatura corporal durante el desarrollo, aspecto éste último del que ya había sido destacada la importancia de tenerlo en cuenta en el estudio del desarrollo de otros patrones motores (Roca *et alii*, 1986).

### **Herramientas de evaluación**

Otra línea que suscita múltiples investigaciones recientemente, es la del desa-

rollo de protocolos para evaluar diferentes parámetros de la marcha. Tradicionalmente, la evaluación de la marcha así como de otros patrones motores, se ha venido haciendo de un modo cualitativo y poco operativizado (McClenaghan y Gallahue, 1996), mediante la observación cuidadosa del patrón empleado, y su comparación con el considerado "patrón maduro".

Sin embargo, aunque algunos parámetros tienen diferencias evidentes en su valor entre los niños que comienzan a caminar y aquellos que ya dominan el patrón, su nivel de operativización deja mucho que desear. Además, cuando el niño tiene 4 o 5 años, estos métodos pierden su utilidad, ya que no pueden captar las mejoras sutiles que se van produciendo durante varios años, hasta adquirir el patrón maduro de la marcha (Foley *et alii*, 1979).

Wickstrom (1983) por su parte, realiza una breve revisión de algunos de los métodos que se han utilizado con el fin de paliar el problema que plantean Foley *et alii*. Relata como Okamoto (1973) utilizó la electromiografía para estudiar la marcha, midiendo el progreso en términos de eficacia en el empleo de la musculatura. Según sus estudios, el período en torno a los 3 años es el más importante para la transición a un patrón eficaz en lo que a musculatura se refiere, llegando a tener a los 7 años una puesta en marcha de la musculatura casi idéntica a la de un adulto.

Por otra parte, y considerando que el desarrollo de la marcha no depende de factores aislados como pudiera ser la contracción muscular o el tiempo de apoyo por ejemplo; Sutherland *et alii* (1980) propusieron una alternativa que abarcaba 5 variables importantes en la determinación de la madurez del patrón de marcha. Estas variables están influidas por el normal incremento de la longitud de los segmentos y por la mejora en el control neuromuscular. Son la cadencia, que disminuye con la edad; la velocidad de la marcha, que aumenta con la edad; la duración del apoyo de un solo miembro, cuyo porcentaje aumenta con la edad y la

razón entre el desplazamiento de la pelvis y la extensión del tobillo, que aumenta con la edad. Estos factores siguen estando vigentes.

También existen numerosas investigaciones que proponen modelos o herramientas concretas para medir y predecir diferentes parámetros de la marcha humana (Davis *et alii*, 1998; Wagenaar y van Emmerik, 2000; Hreljac y Marshall, 2000; Kaplan y Heegard, 2000; Zhang *et alii*, 2000).

En un afán por definir situaciones controladas y operativas para la evaluación del patrón de marcha, Lafuente y Belda (1999) desarrollan un protocolo para una sesión de medida de la marcha humana con plataformas dinamométricas. Este protocolo incluye el material necesario para las medidas, los criterios de selección de la muestra, refiriéndose tanto a población clínica como normal y el protocolo de medida propiamente dicho.

Aunque la mayoría de los protocolos y herramientas que se proponen están diseñadas para utilizarse fundamentalmente en condiciones de laboratorio, no hay que olvidar que una mayor validez de los datos de investigación pasa por aproximarse al máximo a las condiciones reales en que se desarrolla la marcha humana. Además, el estudio *in vitro* de la marcha cuenta con otras dificultades añadidas, como por ejemplo la necesidad de limitar el número de pasos a estudiar en cada ensayo, que estará condicionado por las dimensiones del laboratorio.

En este sentido, también encontramos investigaciones que tratan de diseñar o proponer herramientas que permitan una evaluación de la marcha en contextos mucho menos estructurados. Concretamente Terrier *et alii* (2000) realizan un estudio para valorar si el nuevo sistema de posicionamiento global por vía satélite (Global Positioning System/GPS), muy extendido ya en otras áreas de investigación en las que es necesario situar un punto en la tierra con una precisión centimétrica; es lo suficientemente exacto para medir parámetros básicos en la locomoción humana.

Estos autores constatan una perfecta correlación entre la duración media del paso medida por acelerómetro y por GPS. Concluyen pues su estudio, indicando cómo la técnica GPS se presenta como una herramienta prometedora a la hora de proporcionar parámetros biomecánicos útiles para el análisis de un número ilimitado de pasos en un entorno no estructurado.

Siguiendo con las investigaciones que diseñan protocolos o tecnología para el análisis de la marcha, no siempre encontramos propuestas de nuevos procedimientos para evaluar la marcha humana, también hay casos en los que se trata de evaluar los ya existentes. Este es el caso de Yeadon, Kato y Kerwin (1999), que, siendo conscientes de que es una práctica bastante extendida en los estudios de motricidad humana, tratan de evaluar la fiabilidad de las fotocélulas para medir la velocidad de desplazamiento.

Andriacchi *et alii* (2000) por su parte, discuten los avances en el campo de los métodos de observación de la locomoción humana. Recogen cómo muchos de los progresos en las herramientas de observación e interpretación se han ido produciendo a partir de las nuevas demandas en nuestros conocimientos básicos, y adelantando que en cambio, los futuros avances en el estudio de la marcha serán impulsados por las nuevas modalidades de tratamiento que requieren un conocimiento profundo de la sutil complejidad de la misma. Indican como las futuras direcciones irán surgiendo en el contexto de nuevos métodos para reducir errores asociados con el movimiento de la piel (lo que resta fiabilidad a los datos de aparataje situado sobre ella para localizar puntos situados bajo ella) combinada con la información obtenida con otros métodos de imagenaría, como las imágenes por resonancia magnética.

Muy próxima a este trabajo, encontramos la investigación de Stagni *et alii* (2000) que, partiendo de que se ha demostrado que los métodos propuestos por la literatura suponen importantes errores en la localización del centro articular de la cadera, distorsionando con ello la estimación

de ángulos y momentos resultantes en cadera y rodilla; cuantifica cómo estos errores se propagan en los resultados de análisis de la marcha.

## Conclusiones

Las investigaciones acerca del patrón de marcha humana y su desarrollo se podrían agrupar en varias direcciones; por una parte, y siguiendo con una de las líneas de mayor tradición dentro de este tópico, se continúan actualizando los datos referentes a los parámetros temporales como descriptores específicos de las características del patrón en general; y de su desarrollo evolutivo en particular.

Por otro lado, frente a estos análisis más descriptivos, se van incrementando los trabajos que tratan de delimitar los mecanismos de control del movimiento, destacando entre ellos los mecanismos propioceptivo y visual.

Podríamos indicar otra tendencia en relación a estudios que cada vez se reducen más a fases determinadas dentro del ciclo de marcha, frente a un estudio más global que predomina en los estudios pioneros. También proliferan cada vez más las investigaciones que no se limitan a la marcha en condiciones ideales; sino en condiciones particulares, como con una carga adicional o en superficies resbaladizas. Las tendencias más recientes de investigación apuntan a una continua actualización en los modelos y métodos de evaluación y registro, acordes con el momento de rápido avance tecnológico en que nos encontramos.

Teniendo todo esto en cuenta, podemos afirmar que aunque las investigaciones rigurosas en torno al desarrollo del patrón motor de marcha humana y sus principales parámetros determinantes se remontan a los inicios del siglo XX; su incuestionable valor como fuente de conocimiento básico y aplicado, fundamentalmente en relación con el desarrollo motor en general y como indicador del desarrollo de otras áreas no exclusivamente motoras, hacen que este tópico siga constituyéndose como fundamental en el estudio de la motricidad humana.



## Referencias bibliográficas

- Andriacchi, T.P. & Alexander, E.J. (2000). Studies of human locomotion: past, present and future. *Journal of Biomechanics* (33), 1217-1224.
- Brady, R.A.; Pavol, M.J.; Owings, T.M. & Grabner, M.D. (2000). Foot displacement but not velocity predicts the outcome of a slip induced in young subjects while walking. *Journal of Biomechanics* (33), 803-808.
- Brenière, Y. (1999). How Locomotor Parameters Adapt to Gravity and Body Structure Changes During Gait Development in Children. *Motor Control* (3), 186-204.
- Burton, A.W. y Miller, D.E. (1998). Movement skill assessment. *Champaign*. Illinois: Human Kinetics, .
- Castro, L. (1993). Estudio de la locomoción en 103 preescolares andaluzes. Relación con el desarrollo perceptivo y con el rendimiento escolar. *Psicomotricidad. Revista de estudios y experiencias* (44), 43-52.
- Danion, F.; Boyadjian, A. & Marin, L. (2000). Control of Locomotion in expert gymnasts in the absence of vision. *Journal of Sport Sciences* (18), 809-814.
- Davis, B.L.; Perry, J.E.; Neth, D.C. & Waters, K.C. A. (1998). Device for Simultaneous Measurement of Pressure and Shear Force Distribution on the Plantar Surface of the Foot. *Journal of Applied Biomechanics* (14), 1, 93-104.
- Farrell, M.J. & Thomson, J.A. (1999). On-Line Updating of Spatial Information During Locomotion Without Vision. *Journal of Motor Behavior* (31), 1, 39-53.
- Fernández, M.L.; Gardoqui, J. y Sánchez, F. (1999). *Escalas para la evaluación de las habilidades motrices básicas: desplazamientos, giros y manejo de móviles*. Madrid: s.n.
- Foley, C.D.; Quanbury, A.O. & Steinke, T. (1979). Kinematics of normal childhood locomotion - a statistical study based on TV data. *J. Biomech.* (12) 1. (cit. en Wickstrom, 1983).
- Gil Mora, S. (1999). El IBV ha elaborado la colección "El pie calzado" destinada a los vendedores de calzado. *Revista de Biomecánica* (23), 15-16.
- Henessy, M.J.; Dixon, D. & Sheldon. (1984). The development of gait: A study in african children ages one to five. *Child Development* (55), 844-853. (cit. en Vieira & Bettencourt, 1995).
- Hreljac, A. & Marshal, R.N. (2000). Algorithms to determine event timing during normal walking using kinematic data. *Journal of Biomechanics* (33), 783-786.
- Kaplan, M.L. & Heegaard, J.H. (2000). Energy-conserving impact algorithm for the heel-strike phase of gait. *Journal of Biomechanics* (33), 771-775.
- Lafuente, R. y Belda, J.M. (1999). Protocolo experimental IBV de análisis cinético de marcha humana. *Revista de Biomecánica* (24), 29-32.
- Mc. Clenaghan, B.A. & Gallahue, D.L. (1996). *Movimientos Fundamentales. Su desarrollo y rehabilitación*. Buenos Aires: Médica Panamericana, .
- Mc. Donnell, P.M. & Corkum, V.L. The role of reflexes in the patterning of limb movements in the first six months of life. In J. Fagard and P.H. Wolff (Eds.), *The Development of Timing Control and Temporal Organization in Coordinated Action*, Amsterdam: Elsevier, 1991, pp. 151-173. (cit. en Vieira & Bettencourt, 1995).
- Murray, M.P.; Kory, R.C.; Clarkson, B.H. & Sepic, S.B. (1966). Comparison of free and fast speed walking pattern of normal men. *American Journal of Physical Medicine* (45), 8-24. (cit. en Vieira & Bettencourt, 1995).
- Quesada, P.M.; Mengelcoch, L.J.; Halle, R.C. & Simon, S.R. (2000). Biomechanical and metabolic effects of varying backpack loading on simulated walking. *Ergonomics* (43), 3, 293-309.
- Okamoto, T. (1973). Electromyographic study of the learning process of walking in 1 and 2 years old infants. En *Medicine and Sport*. (8). Biomechanics III. E. Jokl. Basel, Karger . (cit. en Wickstrom, 1983).
- Poveda Puente, R. (1999). Valoración evolutiva de fracturas de calcáneo mediante el análisis biomecánico de la marcha. *Revista de Biomecánica* (23), 11-13.
- Roca, J; Martínez, M.; Fàbregas, A.; Lizandra, M. & Cardoner, A. (1986). Registros evolutivos motores. Una observación crítica. *Apunts. Educación Física y Deportes* (6), 22-23.
- Rosenbaum, D.A. 1991. *Human Motor Control*. San Diego: Academic Press. (cit. en Vieira & Bettencourt, 1995).
- Sección de Calzado del Instituto Biomecánico de Valencia y Empresa Calzados FAL, S.A. (1998). C3GS de Chiruca. "Crecer con las botas puestas. *Biomecánica. Cuadernos de Información* (20), 13-17.
- Shirley, M.M. (1931). *The First Two Years: A Study of Twenty-Five Babies*. Vol I: Postural and Locomotor Development. Minneapolis: University of Minnesota Press, . (cit. en Vieira & Bettencourt, 1995)
- Stagni, R.; Leardini, A.; Cappozzo, A.; Benedetti, M.G. & Cappello, A. (2000). Effects of hip joint centre mislocation on gait analysis results. *Journal of Biomechanics* (33), 1479-1487.
- Sutherland, D.H.; Olshen, R.A.; Cooper, L.; Woo, S. (1980). The development of mature gait. *Journal of Bone and Surgery* (62A), 336-353.
- Sutherland, D.H.; Olshen, R.A.; Biden, E.N.; Wyatt, M.P. (1988). *The development of mature walking*, London: Mac Keith Press, .
- Terrier, P.; Ladetti, Q.; Merminod, B. & Schutz, Y. (2000). High-precision satellite positioning system as a new tool to study the biomechanics of human locomotion. *Journal of Biomechanics* (33), 1717-1722.
- Thelen, E. Learning to walk is still and "old" problem: A reply to Zelazo (1983). *Journal of Motor Behavior* (2), 139-161.
- Thelen, E.; Fisher, D.M. & Ridley-Johnson, R. (1984). The relationship between physical growth and a newborn reflex. *Infant behavior and Development* (7), 479-493. (cit. en Vieira & Bettencourt, 1995).
- Vieira, A.C. & Bettencourt, E. (1995). Desenvolvimento do movimento da marcha: cadência, velocidade e comprimento da passada. En J. Barreiros (Ed.) *Percepção e Ação II*. Lisboa: FMH.
- Wagenaar, R.C. & van Emmerik, R.E.A. (2000). Resonant frequencies of arms and legs identify different walking patterns. *Journal of Biomechanics* (33), 853-861.
- White, S.C. & Lage, K.J. (1993). Changes in joint moments due to independent changes in cadence and stride length during gait. *Human Movement Science* (12), 461-474. (cit. en Vieira & Bettencourt, 1995).
- Wickstrom, R.L. (1983). *Patrones Motores Básicos*. Madrid: Alianza Deporte,
- Winter, D.A. (1991). *The Biomechanics and Motor Control Human Gait* (2ª ed.). Waterloo, Ontario: University of Waterloo Press. (cit. en Vieira & Bettencourt, 1995).
- Yan, J.H. & Thomas, J.R. (1998). Locomotion improves childrens' spatial search: a meta-analytic review. *Perceptual and Motor Skills* (87), 67-82.
- Yeadon, M.R.; Kato, T. & Kerwin, D.G. (1999). Measuring running speed using photocells. *Journal of Sport Sciences* (17), 249-257.
- Zelazo, P.R. (1983). The development of walking: new findings and old assumptions. *Journal of Motor Behavior* (2), 99-137.
- Zhang, X.; Nussbaum, M.A. & Chaffin, D.B. (2000). Back lift versus leg lift: an index and visualization of dynamic lifting strategies. *Journal of Biomechanics* (33), 777-782.



# Desenvolupament evolutiu i paràmetres determinants del patró motor de marxa humana

## ■ M.<sup>a</sup> LUISA RIVADENEYRA

Doctora en Ciències de l'Activitat Física i l'Esport.  
Facultat de Ciències de l'Esport.  
Universitat d'Extremadura

## ■ Paraules clau

*Marxa humana, Desenvolupament motor, Avaluació, Control motor*

## Resum

Com que el desenvolupament de la marxa humana és un objecte d'estudi privilegiat en l'àmbit de la motricitat, s'ha realitzat una revisió de les publicacions al voltant del seu desenvolupament i l'estudi dels paràmetres que el defineixen.

El grup d'investigacions més nombrosos el constitueixen articles que descriuen la conducta o evolució d'alguns dels paràmetres que defineixen aquest patró. A més a més, trobem diversos estudis que relacionen la marxa amb altres habilitats de l'ésser humà o que estudien condicions particulars o variants en què es pot desenvolupar aquest patró. També trobem diverses propostes de protocols per a l'avaluació del patró o d'algun dels seus paràmetres, així com avaluacions de procediments ja existents.

## ■ Abstract

*The aim of this paper is to show the researches about human gait's development and its main parameters.*

*The majority of papers describe the evolution of the main parameters that define this pattern. Also, we have founded some papers about the relation between human gait and other human abilities or special conditions during gait. We can find some protocols to evaluate the gait pattern or its parameters, and evaluations of some other protocols too.*

## ■ Key words

*Human gait, Motor development, Evaluation, Motor control*

## Introducció

Des dels inicis del segle XX, es va definir la consecució de la marxa bípeda independent com a la fase més espectacular i probablement més important del desenvolupament motor (Shirley, 1931). A hores d'ara podem afirmar, sense por a ser exagerats, que abans d'aquesta consecució el nen troba seriosament limitat l'accés al medi, amb el seu conseqüent potencial com a experiència motora i per al desenvolupament en general (Wickstrom, 1983).

Partint de la gran importància que pren aquesta adquisició en el desenvolupament motor del subjecte en general, i de les conseqüències que se'n deriven, el desenvolupament de la marxa humana està sent recentment objecte d'estudi privilegiat en l'àmbit de la conducta motora (Vieira i Bettencourt, 1995). Hem realitzat una revisió en temes de motricitat o educació, amb l'objectiu de constatar quina importància real se li dona a l'assumpte i quins són els aspectes que hi reben més atenció.

## Desenvolupament evolutiu i descripció de paràmetres determinants

Des de començament del segle XX s'ha estat conscient de la importància de conèixer i avaluar els canvis que es van produint, al llarg del desenvolupament, en la manifestació de diverses habilitats motores, entre les quals destaca la marxa; existeixen múltiples instruments que descriuen diferents etapes per les quals tots

els nens han de passar, fins manifestar el que des d'aleshores entenem com un "patró madur de moviment" (Wickstrom, 1983), i que no és altra cosa que un gest motor eficaç per al propòsit amb què aquest és produït.

Així, al llarg de tot el segle, com a conseqüència de les nombroses investigacions que aquest centre d'interès ha suscitat, s'han anat enriquint les descripcions d'aquestes etapes i, alhora, també s'ha anat engrossint tot un conjunt d'instruments d'avaluació del desenvolupament d'aquest patró, car resulta imprescindible si volem fonamentar un treball individualitzat (Burton i Miller, 1998).

Entre tots els instruments d'avaluació que s'han anat dissenyant podríem diferenciar dues línies fonamentals: en primer lloc, amb el propòsit de mesurar d'una manera objectiva i operativa l'evolució d'aquest patró, s'han anat dissenyant una sèrie d'instruments que, basats en paràmetres fonamentalment biomecànics, descriuen amb precisió els canvis que es van produint al llarg del desenvolupament (Okamoto, 1973; Sutherland *et al.*, 1988). Els instruments que engrosseixen aquest grup compten amb tants avantatges des del punt de vista de la fiabilitat de les seves mesures que, sempre que sigui possible, se'n recomana la utilització.

Dissortadament, el seu principal inconvenient sovint és tan determinant dintre de l'àmbit educatiu, que en aquesta àrea aquests instruments són molt menys utilitzats que no pas els del segon grup. L'inconvenient esmentat radi-

ca en la necessitat d'un instrumental sovint tan car i sofisticat que no resulta assequible per a molts centres on és necessari constatar el desenvolupament de la marxa dels nens.

El segon grup d'instruments d'avaluació del desenvolupament de la marxa està format per aquells que, després de descriure detalladament les etapes en l'evolució del patró, faciliten un protocol més o menys senzill i una eina que faciliti l'observació sistemàtica, de tal manera que a partir de la informació esmentada se situï l'individu en qüestió en una etapa o una altra del desenvolupament de la marxa. El fet que siguin molt més assequibles fa que s'utilitzin amb més freqüència als centres educatius, davant d'un major nombre dels primers en centres que compten amb més recursos. Salvant algunes excepcions destinades a l'àmbit educatiu al nostre propi país (Fernández, Gardoqui i Sánchez, 1999), els treballs recollits s'enquadren en el primer grup d'instruments d'avaluació descrit.

En general, el major pes pel que fa al nombre d'investigacions al voltant de la marxa, és el que correspon a treballs que descriuen les etapes evolutives fins a aconseguir el patró madur, o el comportament de determinats paràmetres en alguna o en diverses d'aquestes etapes.

Vieira i Bettencourt (1995), mitjançant instruments d'avaluació dels dos grups descrits, revisen de manera molt completa el desenvolupament del patró de marxa, descriuen primer les formes rudimentàries de desplaçament que precedeixen el patró esmentat i les il·lustren amb investigacions respecte d'aquest tema realitzades a partir del 1931. Indiquen que el desenvolupament de la marxa segueix les pautes ja descrites des d'aquests primers estudis: control del cap, sostenir el cos aixecat pron sobre els dos braços, girar-se en posició ajaguts, asseure's, arrossegar-se, quadripèdia, marxa assistida, i finalment, marxa autònoma.

Continuen amb el reflex de marxa, també prolixament il·lustrat amb dades de nombroses investigacions desenvolupades

entre els anys 1964 i 1991. Aquest reflex, que consisteix en la flexió alternativa de les cames del bebè –com si caminés– quan és agafat per les axil·les i hom li posa els peus en contacte amb una superfície sòlida, es troba present en els primers mesos després del naixement, desapareix entre els 2 i els 8 mesos i torna a ser present cap al final del primer any (Rosenbaum, 1991). Existeixen treballs que estudien diversos aspectes que relacionen el reflex automàtic amb l'assoliment del comportament voluntari de la marxa (Thelen, 1983; Zelazo, 1983). Encara que finalment alguns d'aquests investigadors, juntament amb altres (Thelen *et al.*, 1984; Mc. Donnell i Corkum, 1991), acaben posant en dubte que hi hagi una relació funcional entre el reflex de marxa i el desenvolupament de la marxa autònoma voluntària.

En una altra sèrie de treballs, s'intenta de definir els requisits necessaris per a l'aparició de la marxa autònoma, i encara que les investigacions revisades es reparteixen al llarg de tot el segle (entre 1932 i 1992), totes coincideixen a fer referència a qüestions com ara l'equilibri o el control corporal, per la qual cosa podríem assumir que efectivament aquests requisits són imprescindibles per assolir el patró madur de la marxa.

### **Aplicacions relacionades amb la salut**

Un dels blocs que més destaca entre els estudiosos de la marxa, és el que es podria enquadrar com a aplicacions per a la salut i la rehabilitació. En aquest grup trobem diversos estudis de l'Institut Biomecànic de València, que desenvolupa tecnologia en aquest sentit.

El 1998, aquest Institut, amb l'objecte d'obtenir les dades necessàries per al disseny de calçat, va realitzar un seguit d'assaigs d'avaluació biomecànica i funcional de la marxa infantil (Secció de Calçat de l'Institut Biomecànic de València i Calçats Fal, 1998). A partir d'aquests treballs, aquest Institut informa de l'elaboració i difusió de quaderns-guia per

assessorar els venedors de calçat sobre les condicions de salut-mecànica de diferents tipus de calçat (Gil Mora, 1999). A més a més, aquest Institut també investiga la marxa en la línia de salut-rehabilitació (Poveda Pont, 1999).

Altres investigadors aborden condicions particulars de la marxa, com en el cas de Quesada *et al.* (2000), que analitzen els efectes biomecànics i metabòlics en funció de com es variï el pes d'una motxilla que carrega un subjecte en una marxa simulada. Les seves conclusions poden ser útils per prevenir la fatiga durant el treball prolongat; a més a més, pot tenir aplicació directa pel que fa a recomanacions higièniques al voltant del pes de les motxilles escolars.

També hi ha estudis d'altres condicions particulars que poden aparèixer durant la marxa, com la capacitat per recuperar-se després d'una relliscada (Brady *et al.*, 2000).

### **Locomoció i estructuració espacial**

Relacionant la locomoció infantil amb altres àrees i la seva evolució, trobem diversos treballs que es refereixen al desenvolupament de les relacions espacials en el nen. Yan i Thomas (1998) estudien i confirmen l'efecte de la pràctica en els comportaments d'exploració i estructuració espacial en l'infant d'entre 4 mesos i 3 anys. Farrell i Thomson (1999), de la seva banda, investiguen el control dels desplaçaments sense visió, i conclouen, després del plantejament de dues situacions experimentals similars, que els subjectes no situen el cos en l'espai respecte a una representació abstracta de la distància a recórrer, sinó respecte a una representació de la seva posició relativa dintre del context de la tasca a realitzar; amb això, encara prenen més importància les activitats motores davant de les estrictament cognitives, per afavorir el desenvolupament de les habilitats espacials.

En la mateixa línia d'estudi del control dels desplaçaments sense visió, Danion *et al.* (2000) van trobar que fins i tot per

a tasques motores senzilles el rendiment empitjora en absència de visió.

En la mateixa línia, Castro (1993) va intentar de determinar “si el desenvolupament de la locomoció es troba en relació amb altres àrees maduratives no locomotrius”. Per fer-ho, va comparar el desenvolupament de diversos patrons amb la coordinació visomotora, en 103 nens i nenes d'entre 4, 6 i 6,8 anys, i va concloure que, efectivament, hi ha correlació entre l'índex de locomoció i de coordinació visomotora, i que fins als 6 anys, les nenes maduren en els seus patrons locomotors més de pressa que no pas els nens.

### Paràmetres temporals

Vieira i Bettencourt (1995) recullen diverses investigacions al voltant de dife-

rents paràmetres de la marxa humana, i realitzen comparacions dels seus valors en moments evolutius distints. Els paràmetres a què es refereixen són temporals; concretament, cadència (*Taula 1*), longitud del pas (*Taula 2*) i velocitat (*Taula 3*).

Defineixen cadència com el nombre de passes per unitat de temps, expressada en passes per minut (p/min); longitud del pas com la distància horitzontal recorreguda al llarg del pla de progressió durant una passa, és a dir, la distància recorreguda des del moment en què un peu pren contacte amb el terra fins que el mateix peu torna a posar-s'hi en contacte, expressada en metres (m), i velocitat, com la velocitat horitzontal mitjana del cos, tot al llarg del pla de progressió d'un o més cicles de passes i expressada en metres per segon (m/s) o metres per minut (m/min) (Winter, 1991).

Reproduïm tres de les seves taules resum que recullen les investigacions revisades. (Taulas 1, 2 i 3)

Podem verificar que els valors de cadència van baixant amb l'edat, clarament i de forma més accelerada en els tres primers anys, i de manera més gradual, fins i tot presentant lleus alts i baixos, al final de la infantesa, en els valors mitjans (vegeu 5, 6, 7 i 8 anys), fins arribar als valors més baixos en l'edat adulta.

De tota manera, els valors mitjans només serveixen com a orientació general de l'evolució del paràmetre, perquè dins dels estudis de cada investigador, amb prou feines hi ha alts i baixos significatius, i la tendència és sempre decreixent.

La cadència, aleshores, es relaciona negativament amb l'edat, i alhora amb l'augment de les mides antropomètriques, normalment: alçada, pes, circum-

#### ■ TAULA 1.

Rítme de marxa: valors de referència en estudis amb nens i adults (adaptat de Vieira i Bettencourt, 1995).

| AUTOR                                    | EDAT CRONOLÒGICA I CADÈNCIA (PASSES/MINUT) |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
|--|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|  | 1 ANY                                      | 2 ANYS       | 3 ANYS       | 4 ANYS       | 5 ANYS       | 6 ANYS       | 7 ANYS       | 8 ANYS       | 9 ANYS       | > 18 ANYS    |
| Murray <i>et al.</i> (1966)              |  |              |              |              |              |              |              |              |              | 113,0        |
| Espenschade <i>et Eckert</i> (1969)      |  | 170,0        |              |              |              |              |              |              |              | 140-145      |
| Sutherland <i>et al.</i> (1980)          | 177,0                                      |              |              |              |              |              | 144,0        |              |              |              |
| Rose Jacobs (1983)                       |  |              | 144,0        |              | 126,0        |              |              |              |              |              |
| Henessy, Dixon <i>et Sheldon</i> (1984)  | 160,8                                      | 156,6        | 135,6        | 214,8        | 112,2        |              |              |              |              |              |
| Plas, Biel <i>et Blanc</i> (1984)        | 175,0                                      |              |              |              |              |              |              |              |              | 100-110      |
| Ferrandez <i>et Pailhous</i> (1986)      |  |              |              |              |              | 146,1        |              | 141,7        |              | 122,6        |
| Winter (1991)                            |  |              |              |              |              |              |              |              |              | 105,3        |
| Holt, Jeng <i>et Fetters</i> (1991)      |  |              |              |              |              |              |              |              | 122,0        | 112,0        |
| Bril <i>et Brenière</i> (1992)           | 177,0                                      |              | 140,4        |              |              |              |              |              |              |              |
| Brown <i>et Parker</i> (1992)            |  |              |              |              | 151,0        | 136,0        | 138,0        |              |              |              |
| White <i>et Lage</i> (1993)              |  |              |              |              |              |              |              |              |              | 117,0        |
| Clark <i>et Philips</i> (1993)           | 180,0                                      | 156,0        |              |              |              |              |              |              |              | 120,0        |
| <b>Mitjana dels valors per cada edat</b> | <b>174,0</b>                               | <b>166,6</b> | <b>140,0</b> | <b>214,8</b> | <b>129,6</b> | <b>141,0</b> | <b>140,0</b> | <b>141,7</b> | <b>122,0</b> | <b>117,2</b> |
| <b>Total de treballs a cada edat</b>     | <b>5</b>                                   | <b>3</b>     | <b>3</b>     | <b>1</b>     | <b>3</b>     | <b>2</b>     | <b>2</b>     | <b>1</b>     | <b>1</b>     | <b>8</b>     |

■ **TAULA 2.**  
*Longitud del pas en nens i adults* (adaptat de Vieira i Bettencourt, 1995).

| AUTOR                                    | EDAT CRONOLÒGICA I LONGITUD DEL PAS (m) |             |             |             |             |             |             |             |             |
|--|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|  | 1 ANY                                   | 2 ANYS      | 3 ANYS      | 4 ANYS      | 5 ANYS      | 6 ANYS      | 7 ANYS      | 8 ANYS      | > 18 ANYS   |
| Murray <i>et al.</i> (1966)              |   |             |             |             |             |             |             |             | 1,56        |
| Scrutton (1977)                          | 0,50                                    | 0,56        | 0,66        | 0,72        |             |             |             |             |             |
| Sutherland (1980)                        | 0,44                                    |             |             |             |             |             | 0,96        |             |             |
| Hennessy, Dixon <i>et Sheldon</i> (1984) | 0,48                                    | 0,52        | 0,59        | 0,60        | 0,78        |             |             |             | 1,56        |
| Ferrandez <i>et Pailhous</i> (1986)      |   |             |             |             |             | 1,03        |             | 1,18        | 1,61        |
| Winter (1991)                            |   |             |             |             |             |             |             |             | 1,51        |
| Bril <i>et Brenière</i> (1992)           | 0,50                                    |             | 0,68        |             |             |             |             |             |             |
| Brown <i>et Parker</i> (1992)            |   |             |             |             | 0,89        | 0,99        | 0,95        |             |             |
| White <i>et Lage</i> (1993)              |   |             |             |             |             |             |             |             | 1,43        |
| Clark <i>et Philips</i> (1993)           | 0,49                                    | 0,51        |             |             |             |             |             |             | 1,50        |
| <b>Mitjana dels valors per cada edat</b> | <b>0,48</b>                             | <b>0,53</b> | <b>0,64</b> | <b>0,66</b> | <b>0,83</b> | <b>1,01</b> | <b>0,95</b> | <b>1,18</b> | <b>1,52</b> |
| <b>Total de treballs a cada edat</b>     | <b>5</b>                                | <b>3</b>    | <b>3</b>    | <b>2</b>    | <b>2</b>    | <b>2</b>    | <b>2</b>    | <b>1</b>    | <b>6</b>    |

■ **TAULA 3.**  
*Velocitat de marxa en nens i adults* (adaptat de Vieira i Bettencourt, 1995).

| AUTOR                                    | EDAT CRONOLÒGICA I VELOCITAT (m/s) |             |             |             |             |             |             |             |             |
|--|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|  | 1 ANY                              | 2 ANYS      | 3 ANYS      | 4 ANYS      | 5 ANYS      | 6 ANYS      | 7 ANYS      | 8 ANYS      | > 18 ANYS   |
| Murray (1966)                            |                                    |             |             |             |             |             |             |             | 1,51        |
| Hennessy, Dixon <i>et Sheldon</i> (1984) | 0,55                               | 0,70        | 0,64        | 0,62        | 0,74        |             |             |             | 1,56        |
| Ferrandez <i>et Pailhous</i> (1986)      |                                    |             |             |             |             | 1,25        |             | 1,39        | 1,64        |
| Winter (1991)                            |                                    |             |             |             |             |             |             |             | 1,31        |
| Bril <i>et Brenière</i> (1992)           | 0,77                               |             | 0,70        |             |             |             |             |             |             |
| Brown <i>et Parker</i> (1992)            |                                    |             |             |             | 1,12        | 1,13        | 1,10        |             |             |
| White <i>et Lage</i> (1993)              |                                    |             |             |             |             |             |             |             | 1,39        |
| Clark <i>et Philips</i> (1993)           | 0,70                               | 0,75        |             |             |             |             |             |             | 1,45        |
| <b>Mitjana dels valors per cada edat</b> | <b>0,67</b>                        | <b>0,73</b> | <b>0,68</b> | <b>0,62</b> | <b>0,93</b> | <b>1,19</b> | <b>1,10</b> | <b>1,39</b> | <b>1,41</b> |
| <b>Total de treballs a cada edat</b>     | <b>3</b>                           | <b>2</b>    | <b>2</b>    | <b>1</b>    | <b>2</b>    | <b>2</b>    | <b>1</b>    | <b>1</b>    | <b>6</b>    |

ferència del cap i longitud de les cames (Henessy, Dixon i Sheldon, 1984).

Segons la taula, i en un primer moment, podria semblar que l'edat adulta ha estat la que més ha interessat pel que fa a cadència de marxa, ja que és el període considerat en el major nombre d'estudis. En canvi, si ens hi fixem una mica, podrem comprovar que solament dues de les investigacions reflectides se centren exclusivament en l'edat adulta (Murray *et al.*, 1966 i White i Lage, 1993); la resta porta a terme una comparació entre l'edat adulta i alguna o diverses etapes de la infància.

Aleshores, són les primeres edats les que més han interessat a l'hora d'estudiar els canvis que es van produint en la cadència de la marxa humana; concretament, el primer any és el que ha suscitat més treballs. Probablement això sigui degut al fet que és precisament al voltant d'aquesta edat quan s'aconsegueix per primera vegada la marxa independent.

Tanmateix, disposem de moltes més dades de l'edat adulta en tots els paràmetres temporals, car és habitual d'utilitzar un grup d'adults, com a grup control atès que se suposa que té els valors que corresponen al patró madur dels paràmetres a mesurar.

Queda clar que la longitud de la passa es relaciona negativament amb la cadència; aquella s'incrementa amb l'edat, a la inversa que la cadència, això es troba relacionat amb l'increment de les mides antropomètriques, especialment amb la longitud dels membres inferiors i l'alçada total del subjecte (Henessy, Dixon i Sheldon, 1984).

Encara que sigui evident que la velocitat absoluta dels nens és inferior a la dels adults, algunes investigacions (Henessy, Dixon i Sheldon, 1984) afirmen que en els primers 5 anys de marxa autònoma no existeixen diferències significatives en la velocitat. Per als nens més petits, la cadència i la longitud del pas poden predir de la mateixa forma la velocitat; tanmateix, en edats posteriors la longitud del pas és un millor predictor de la velocitat. En els adults, troben una relació fixa entre la longitud de la passa i la cadència, i to-

tes dues augmenten amb la velocitat. Aquesta relació, tanmateix, no es dona en els nens, que presenten diferents combinacions entre cadència, longitud de la passa i velocitat.

Segons aquests autors, les proporcions corporals i la maduració neuromuscular constitueixen uns determinants bàsics en el desenvolupament del patró de marxa del nen. Basen aquesta afirmació en la forta relació que hi ha entre la velocitat i la longitud de la passa i l'alçada corporal, després dels 18 mesos d'edat.

Davant els estudis relacionats per Vieira i Bettencourt (1995), que ens mostren que tradicionalment s'ha estudiat la marxa des de paràmetres espaciotemporals, Brenière (1999) estableix un nou paràmetre que anomena "Natural Body Frequency" (NBF). Aquest paràmetre es refereix a moviments oscil·latoris del cos en el pla frontal, que poden donar informació molt valuosa sobre el desenvolupament del patró de marxa, atès que el seu valor és constant en adults i decreix amb l'edat en el cas de nens.

Brenière va realitzar una anàlisi longitudinal de 5 nens durant els seus primers 5 anys de marxa independent, i dos grups d'entre 5 i 7 anys per a l'anàlisi transversal, a més a més d'un grup control de 5 adults. La seva anàlisi reflecteix que els paràmetres locomotors s'adapten a la gravetat terrestre i als canvis en l'estatura corporal durant el creixement; la importància de tenir en compte aquest últim aspecte en l'estudi del desenvolupament d'altres patrons motors, ja havia estat destacada (Roca *et al.*, 1986).

### **Eines d'avaluació**

Una altra línia que suscita múltiples investigacions recentment, és la del desenvolupament de protocols per avaluar diferents paràmetres de la marxa. Tradicionalment, l'avaluació de la marxa igual com d'altres patrons motors, s'ha anat fent d'una forma qualitativa i amb poca operativitat (McClenaghan i Gallahue, 1996), mitjançant l'observació acurada

del patró emprat, i la seva comparació amb el considerat "patró madur".

Tanmateix, encara que alguns paràmetres tenen diferències evidents en el seu valor entre els nens que comencen a caminar i els que ja dominen el patró, el seu grau d'operativitat no és prou adequat. A més a més, quan el nen té 4 o 5 anys, aquests mètodes perden la utilitat, perquè no poden copsar les millores subtils que es van produint durant uns quants anys, fins adquirir el patró madur de la marxa (Foley *et al.*, 1979).

Wickstrom (1983), de la seva banda, realitza una breu revisió d'alguns dels mètodes que s'han utilitzat per tal de pal·liar el problema que planteja Foley *et al.* Relata que Okamoto (1973) va utilitzar l'electromiografia per estudiar la marxa, tot mesurant el progrés en termes d'eficàcia en l'ús de la musculatura. Segons els seus estudis, el període al voltant dels 3 anys és el més important per a la transició a un patró eficaç pel que fa a musculatura, i als 7 anys s'arriba a tenir una posada en marxa de la musculatura gairebé idèntica a la d'un adult.

D'altra banda, i considerant que el desenvolupament de la marxa no depèn de factors aïllats, com podria ser, per exemple, la contracció muscular o el temps de contacte amb el terra; Sutherland *et al.* (1980) van proposar una alternativa que abastava 5 variables importants en la determinació de la maduresa del patró de marxa. Aquestes variables estan influïdes per l'increment normal de la longitud dels segments i per la millora en el control neuromuscular. Són la cadència, que disminueix amb l'edat; la velocitat de la marxa, que augmenta amb l'edat; la durada del contacte d'un sol membre, el percentatge del qual augmenta amb l'edat i la raó entre el desplaçament de la pelvis i l'extensió del turmell, que augmenta amb l'edat. Aquests factors continuen estant vigents.

També existeixen nombroses investigacions que proposen models o eines concretes per mesurar i predir diferents paràmetres de la marxa humana (Davis *et al.*, 1998; Wagenaar i van Emmerik, 2000;

Hreljac i Marshall, 2000; Kaplan i Heegard, 2000; Zhang *et al.*, 2000).

En un afany per definir situacions controlades i operatives per a l'avaluació del patró de marxa, Lafuente i Belda (1999) desenvolupen un protocol per a una sessió de mesura de la marxa humana amb plataformes dinamomètriques. Aquest protocol inclou el material necessari per a les mesures, els criteris de selecció de la mostra, en referència tant a població clínica com normal i el protocol de mesura pròpiament dit.

Encara que la majoria dels protocols i eines que es proposen estan dissenyades per ser utilitzades fonamentalment en condicions de laboratori, cal no oblidar que una major validesa de les dades d'investigació passa per aproximar-se al màxim a les condicions reals en què es desenvolupa la marxa humana. A més a més, l'estudi *in vitro* de la marxa té altres dificultats afegides, com per exemple la necessitat de limitar el nombre de passes a estudiar en cada assaig, que estarà condicionat per les dimensions del laboratori.

En aquest sentit, també trobem investigacions que tracten de dissenyar o proposar eines que permetin una avaluació de la marxa en contextos molt menys estructurats. Concretament, Terrier *et al.* (2000) realitzen un estudi per valorar si el nou sistema de posicionament global per via satèl·lit (*Global Positioning System/GPS*), molt estès ja en altres àrees d'investigació, en què és necessari situar un punt a la terra amb una precisió centimètrica, és prou exacte per mesurar paràmetres bàsics en la locomoció humana.

Aquests autors constaten una perfecta correlació entre la durada mitjana del pas, mesurada per acceleròmetre i per GPS. Conclouen, doncs, el seu estudi, indicant que la tècnica GPS es presenta com una eina prometedora a l'hora de proporcionar paràmetres biomecànics útils per a l'anàlisi d'un nombre il·limitat de passos en un entorn no estructurat.

Continuant amb les investigacions que dissenyen protocols o tecnologia per a

l'anàlisi de la marxa, no sempre trobem propostes de nous procediments per avaluar la marxa humana, també hi ha casos en què es tracta d'avaluar els ja existents. Aquest és el cas de Yeadon, Kato i Kerwin (1999), que, sent conscients que és una pràctica força estesa en els estudis de motricitat humana, tracten d'avaluar la fiabilitat de les fotocèl·lules per mesurar la velocitat de desplaçament.

Andriacchi *et al.* (2000), de la seva banda, discuteixen els avenços en el camp dels mètodes d'observació de la locomoció humana. Recullen que molts dels progressos en les eines d'observació i interpretació s'han anat produint a partir de les noves demandes en els nostres coneixements bàsics, i preveient que, en canvi, els futurs avenços en l'estudi de la marxa seran impulsats per les noves modalitats de tractament que requereixen un coneixement profund de la seva subtil complexitat. Indiquen que les futures direccions aniran sorgint en el context de nous mètodes per reduir errors associats amb el moviment de la pell (cosa que resta fiabilitat a les dades obtingudes d'aparells situats sobre la pell per localitzar punts situats a sota d'aquesta) combinada amb la informació obtinguda amb altres mètodes d'imatge, com ara les imatges per resonància magnètica.

Molt pròxima a aquest treball, trobem la investigació de Stagni *et al.* (2000) que, partint del fet que s'ha demostrat que els mètodes proposats per la literatura suposen importants errors en la localització del centre articular del maluc, i que això distorsiona l'estimació d'angles i moments resultants en el maluc i el genoll, quantifica de quina forma aquests errors es propaguen als resultats d'anàlisi de la marxa.

## Conclusions

Les investigacions sobre el patró de marxa humana i el seu desenvolupament es podrien agrupar en diverses direccions; d'una banda, i seguint amb una de les línies de més tradició dintre d'aquest tòpic, es continuen actualitzant les dades que fan referència als

paràmetres temporals com a descriptors específics de les característiques del patró en general; i del seu desenvolupament evolutiu en particular.

D'altra banda, davant d'aquestes anàlisis més descriptives, es van incrementant els treballs que tracten de delimitar els mecanismes de control del moviment; entre aquests destaquen els mecanismes propioceptiu i visual.

Podríem indicar una altra tendència en relació amb estudis que cada vegada es redueixen més a fases determinades dintre del cicle de la marxa, davant d'un estudi més global que predomina en els estudis pioners. També proliferen cada vegada més les investigacions que no es limiten a la marxa en condicions ideals, sinó en condicions particulars, com amb una càrrega addicional o en superfícies reliscoses. Les tendències més recents d'investigació indiquen una contínua actualització en els models i mètodes d'avaluació i registre, en concordança amb el moment de ràpid avenç tecnològic en què ens trobem.

Tenint en compte tot això, podem afirmar que, encara que les investigacions rigoroses al voltant del desenvolupament del patró motor de marxa humana i els seus principals paràmetres determinants, es remunten als inicis del segle XX, el seu inqüestionable valor com a font de coneixement bàsic i aplicat, fonamentalment en relació amb el desenvolupament motor en general i com a indicador del desenvolupament d'altres àrees no exclusivament motores, fan que aquest tòpic continuï constituint-se com a fonamental en l'estudi de la motricitat humana.

## Referències bibliogràfiques

- Andriacchi, T. P. i Alexander, E. J. (2000). Studies of human locomotion: past, present and future. *Journal of Biomechanics* (33), 1217-1224.
- Brady, R. A.; Pavol, M. J.; Owings, T. M. i Grabiner, M. D. (2000). Foot displacement but not velocity predicts the outcome of a slip induced in young subjects while walking. *Journal of Biomechanics*, 33, 803-808.



- Brenière, Y. (1999). How Locomotor Parameters Adapt to Gravity and Body Structure Changes During Gait Development in Children. *Motor Control* (3), 186-204.
- Burton, A. W. i Miller, D. E. (1998). Movement skill assessment. *Champaign*. Illinois: Human Kinetics.
- Castro, L. (1993). Estudio de la locomoción en 103 preescolares andaluzes. Relación con el desarrollo perceptivo y con el rendimiento escolar. *Psicomotricidad. Revista de estudios y experiencias* (44), 43-52.
- Danion, F.; Boyadjian, A. i Marin, L. (2000). Control of Locomotion in expert gymnasts in the absence of vision. *Journal of Sport Sciences* (18), 809-814.
- Davis, B. L.; Perry, J. E.; Neth, D. C. i Waters, K. C. A. (1998). Device for Simultaneous Measurement of Pressure and Shear Force Distribution on the Plantar Surface of the Foot. *Journal of Applied Biomechanics* (14), 1, 93-104.
- Farrell, M. J. i Thomson, J. A. (1999). On-Line Updating of Spatial Information During Locomotion Without Vision. *Journal of Motor Behavior* (31), 1, 39-53.
- Fernández, M. L.; Gardoqui, J. i Sánchez, F. (1999). *Escalas para la evaluación de las habilidades motrices básicas: desplazamientos, giros y manejo de móviles*. Madrid: s.n.
- Foley, C. D.; Quanbury, A. O. i Steinke, T. (1979). Kinematics of normal childhood locomotion -a statistical study based on TV data. *J. Biomech.* (12), 1. (cit. a Wickstrom, 1983).
- Gil Mora, S. (1999). El IBV ha elaborado la colección "El pie calzado" destinada a los vendedores de calzado. *Revista de Biomecánica* (23), 15-16.
- Hennessy, M. J.; Dixon, D. i Sheldon. (1984). The development of gait: A study in african children ages one to five. *Child Development* (55), 844-853. (cit. a Vieira & Bettencourt, 1995).
- Hreljac, A. i Marshal, R. N. (2000). Algorithms to determine event timing during normal walking using kinematic data. *Journal of Biomechanics* (33), 783-786.
- Kaplan, M. L. i Heegaard, J. H. (2000). Energy-conserving impact algorithm for the heel-strike phase of gait. *Journal of Biomechanics* (33), 771-775.
- Lafuente, R. i Belda, J. M. (1999). Protocolo experimental IBV de análisis cinético de marcha humana. *Revista de Biomecánica* (24), 29-32.
- Mc. Clenaghan, B. A. i Gallahue, D. L. (1996). *Movimientos Fundamentales. Su desarrollo y rehabilitación*. Buenos Aires: Médica Panamericana.
- Mc. Donnell, P. M. i Corkum, V. L. (1991). The role of reflexes in the patterning of limb movements in the first six months of life. In J. Fagard and P.H. Wolff (Eds.), *The Development of Timing Control and Temporal Organization in Coordinated Action*. Amsterdam: Elsevier, 151-173. (cit. a Vieira & Bettencourt, 1995).
- Murray, M. P.; Kory, R. C.; Clarkson, B. H. i Sepic, S.B. (1996). Comparison of free and fast speed walking pattern of normal men. *American Journal of Physical Medicine* (45), 8-24. (cit. a Vieira & Bettencourt, 1995).
- Quesada, P. M.; Mengelcoch, L. J.; Halle, R. C. i Simon, S. R. (2000). Biomechanical and metabolic effects of varying backpack loading on simulated walking. *Ergonomics* (43), 3, 293-309.
- Okamoto, T. (1973). Electromyographic study of the learning process of walking in 1 and 2 years old infants. *A Medicine and Sport. Vol. 8: Biomechanics III*. E. Jokl. Basel, Karger. (cit. a Wickstrom, 1983).
- Poveda Puente, R. (1999). Valoración evolutiva de fracturas de calcáneo mediante el análisis biomecánico de la marcha. *Revista de Biomecánica* (23), 11-13.
- Roca, J; Martínez, M.; Fàbregas, A.; Lizandra, M. i Cardoner, A. (1986). Registros evolutivos motores. Una observación crítica. *Apunts: Educació Física i Esports* (6), 22-23.
- Rosenbaum, D. A. (1991). *Human Motor Control*. San Diego: Academic Press. (cit. a Vieira & Bettencourt, 1995).
- Sección de Calzado del Instituto Biomecánico de Valencia i Empresa Calzados FAL, S.A. (1998). "C3GS de Chiruca. "Crecer con las botas puestas". *Biomecánica. Cuadernos de Información* (20), 13-17.
- Shirley, M. M. (1931). *The First Two Years: A Study of Twenty-Five Babies. Vol I: Postural and Locomotor Development*. Minneapolis: University of Minnesota Press. (cit. a Vieira & Bettencourt, 1995)
- Stagni, R.; Leardini, A.; Cappozzo, A.; Benedetti, M. G. i Cappello, A. (2000). Effects of hip joint centre mislocation on gait analysis results. *Journal of Biomechanics* (33), 1479-1487.
- Sutherland, D. H.; Olshen, R. A.; Cooper, L.; Woo, S. (1980). The development of mature gait. *Journal of Bone and Surgery*, 62A, 336-353.
- Sutherland, D. H.; Olshen, R. A.; Biden, E. N.; Wyatt, M. P. (1988). *The development of mature walking*. London: Mac Keith Press.
- Terrier, P.; Ladetti, Q.; Merminod, B. i Schutz, Y. (2000). High-precision satellite positioning system as a new tool to study the biomechanics of human locomotion. *Journal of Biomechanics*, 33, 1717-1722.
- Thelen, E. (1983). Learning to walk is still and "old" problem: A reply to Zelazo (1983)". *Journal of Motor Behavior* (2), 139-161.
- Thelen, E.; Fisher, D. M. i Ridley-Johnson, R. (1984). The relationship between physical growth and a newborn reflex. *Infant behavior and Development* (7), 479-493. (cit. a Vieira & Bettencourt, 1995).
- Vieira, A.C. i Bettencourt, E. Desenvolvimento do movimento da marcha: cadência, velocidade e comprimento da passada. A J. Barreiros (Ed.) *Percepção e Ação II*. Lisboa: FMH, 1995.
- Wagenaar, R. C. i van Emmerik, R.E.A. (2000). Resonant frequencies of arms and legs identify different walking patterns. *Journal of Biomechanics* (33), 853-861.
- White, S. C. i Lage, K. J. (1993). Changes in joint moments due to independent changes in cadence and stride length during gait. *Human Movement Science* (12), 461-474. (cit. a Vieira & Bettencourt, 1995).
- Wickstrom, R. L. (1983). *Patrones Motores Básicos*. Madrid: Alianza Deporte.
- Winter, D. A. (1991). *The Biomechanics and Motor Control Human Gait* (2ª ed.). Waterloo, Ontario: University of Waterloo Press. (cit. a Vieira & Bettencourt, 1995).
- Yan, J. H. i Thomas, J. R. (1998). Locomotion improves childrens' spatial search: a meta-analytic review. *Perceptual and Motor Skills* (87), 67-82.
- Yeadon, M. R.; Kato, T. i Kerwin, D. G. (1999). Measuring running speed using photocells. *Journal of Sport Sciences* (17), 249-257.
- Zelazo, P. R. (1983). The development of walking: new findings and old assumptions. *Journal of Motor Behavior* (2), 99-137.
- Zhang, X.; Nussbaum, M. A. i Chaffin, D. B. (2000). Back lift versus leg lift: an index and visualization of dynamic lifting strategies. *Journal of Biomechanics* (33), 777-782.