

Desarrollo evolutivo y parámetros determinantes del patrón motor de marcha humana

■ M.^a 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
Media de los valores para cada edad	174,0	166,6	140,0	214,8	129,6	141,0	140,0	141,7	122,0	117,2
Total de trabajos en cada edad	5	3	3	1	3	2	2	1	1	8

■ **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
Media de los valores para cada edad	0,48	0,53	0,64	0,66	0,83	1,01	0,95	1,18	1,52
Total de trabajos en cada edad	5	3	3	2	2	2	2	1	6

■ **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
Media de los valores para cada edad	0,67	0,73	0,68	0,62	0,93	1,19	1,10	1,39	1,41
Total de trabajos en cada edad	3	2	2	1	2	2	1	1	6

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.