

ANÁLISIS DE LA MARCHA: SUS FASES Y VARIABLES ESPACIO-TEMPORALES

GAIT ANALYSIS: PHASES AND SPATIO-TEMPORAL VARIABLES

Jesús Cámara

Doctor en Fisiología del Ejercicio, Universidad del País Vasco. Profesor de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, Universidad del País Vasco - Euskal Herriko Unibertsitatea. España.
jesus.camara@ehu.es

FISIOLOGÍA DEL EJERCICIO

Resumen

La marcha se define como un modo de locomoción bípedo donde se suceden los periodos de apoyo monopodal y bipodal, posibilitando el desplazamiento del centro de gravedad del cuerpo humano con un coste energético menor a cualquier otra forma de locomoción humana. La zancada forma el ciclo básico de la marcha. El análisis de las variables espacio-temporales de la marcha permite un estudio detallado de este modo de locomoción. Son abundantes los estudios científicos que analizan las variables espacio-temporales de la marcha, tales como la longitud y tiempo de paso y de zancada, los tiempos de apoyo y de balanceo, así como la cadencia de pasos y la velocidad. Los objetivos del presente estudio son aunar la información más relevante respecto a las fases en las que se divide la marcha, así como identificar las variables espacio-temporales utilizadas para su análisis. El análisis espacio-temporal de la marcha ha mostrado ser un método adecuado para un estudio detallado de la misma.

displacement of the center of gravity of the human body with a smaller energy cost than any other form of human locomotion. The basic walking cycle is formed by the stride. Analysis of the spatio-temporal variables makes it possible to perform a detailed study of this mode of locomotion. There is a plethora of scientific studies analyzing spatio-temporal gait variables, such as length and duration of step and stride, support and swing times, and cadence and walking speed. The aims of this study are to present the most relevant information about the phases into which the gait can be divided, and to identify the spatio-temporal variables used for gait analysis. Spatio-temporal analysis has been shown to be a valid method of providing a detailed study of gait.

Palabras clave

Biomecánica, condición de calzado, paso, velocidad de marcha, zancada.

Abstract

The gait is defined as a bipedal mode of locomotion formed by a succession of single- and double-leg support periods enabling the

Keywords

Biomechanics, shoe condition, step, walking velocity, stride.

• Clasificación JEL: I100

Fecha de recepción: 11 - 01 - 2011

Fecha de aceptación: 14 - 02 - 2011

Introducción

Según Lamoreux (1971) la marcha es un modo de locomoción que requiere de un aprendizaje por el cual el cuerpo humano al estar siempre en contacto con el suelo se mueve hacia adelante en posición erguida y desplaza, como señala Inman, (1966), su centro de gravedad con un coste energético menor a otras formas de locomoción humanas y donde su peso es soportado alternativamente por ambas piernas.

Al-Obaidi y cols. (Al-Obaidi, Wall, Al-Yaqoub y Al-Ghanim, 2003) la definen como un modo de locomoción bípedo en el que a un periodo de doble apoyo le sigue uno de apoyo monopodal, mientras el miembro inferior contrario se balancea hacia adelante.

Teniendo en cuenta que la marcha es la actividad física más practicada esto hace de la misma una de las más estudiadas por la comunidad de biomecánicos. Además, la alta fiabilidad de los parámetros espacio-temporales obtenida por Cámara (2010); Danion (2003); Goble (2003); Hartmann (2009); Lee (2010); Menz (2004); Murray (1964); Van Uden (2004) y Zeni (2010), hacen del estudio espacio-temporal de la marcha un análisis fiable para evaluar esta actividad física. Ante la abundancia de investigaciones sobre la marcha, los objetivos del presente estudio son por un lado aunar la información más relevante respecto a las fases en las que se divide la marcha, y por otro identificar las variables espacio-temporales normalmente utilizadas para su análisis.

1. Fases de la marcha

La marcha está compuesta por pasos que a su vez forman zancadas. A la zancada Gage (1990); Lamoreux (1971); Murray (1964) y Whittle (1997) también la denominan ciclo de la marcha.

1.1. PASO

Es la secuencia de acontecimientos que tiene lugar entre sucesivos puntos de contacto de pies alternos con el suelo (Lamoreux, 1971). Un paso incluye un intervalo de apoyo bipodal y otro de apoyo monopodal (Figura 1). Dos pasos consecutivos constituyen una zancada

(Dommasch, Brandell y Murray, 1972; Lamoreux, 1971; Murray et al., 1964).

El intervalo de acontecimientos desde el apoyo del pie derecho en el suelo hasta el apoyo del pie izquierdo se denomina paso izquierdo. El paso derecho es el intervalo de acontecimientos desde el apoyo del pie izquierdo en el suelo hasta el apoyo del pie derecho (Lamoreux, 1971).

1.2. ZANCADA

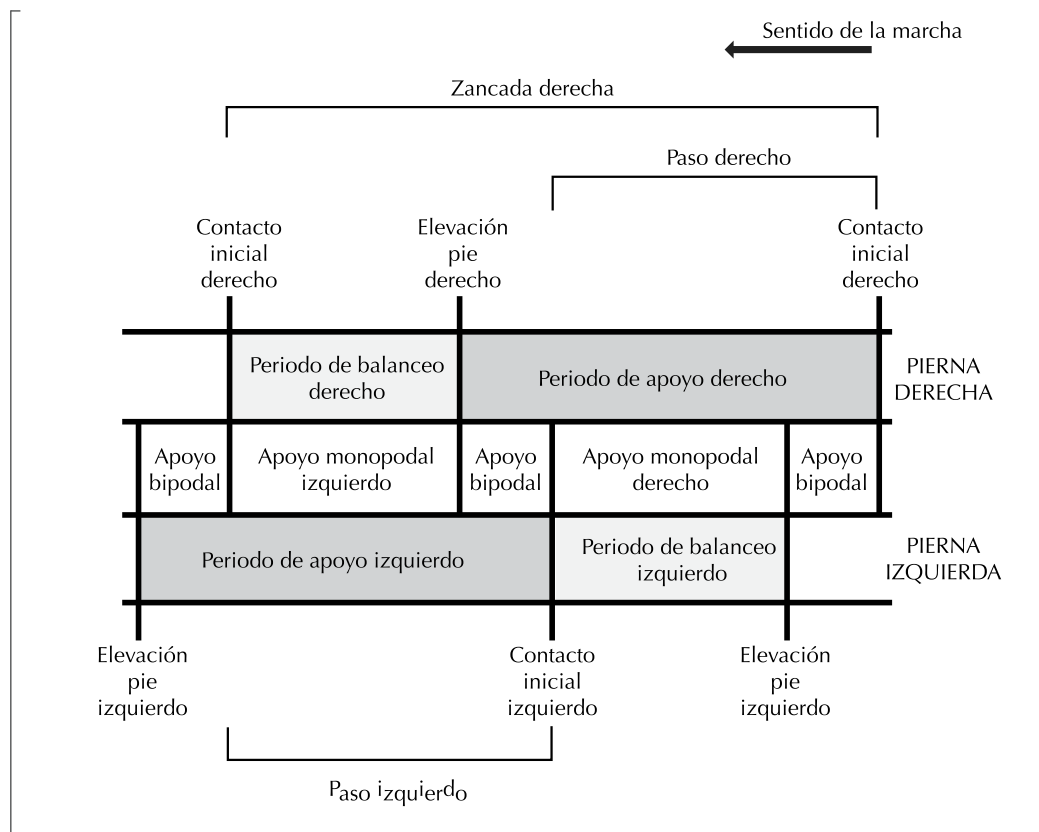
También denominada el ciclo básico de la marcha por Gage (1990); Lamoreux (1971); Murray (1964) y Whittle (1997). Para Bresler (1950); Dommasch (1972); Gage, (1990); Jacobs (1972); Lamoreux (1971); Murray (1967); Murray (1966); Sutherland (1988) y Whittle (1997) el inicio de la zancada se considera el instante en el que un pie toca el suelo y el final el momento en el que el mismo pie vuelve a tocar el suelo.

Una zancada está comprendida por dos intervalos de apoyo bipodal y dos de apoyo monopodal, uno por cada pie (Jacobs, 1972; Murray, 1967; Murray et al., 1966). La zancada derecha empieza con el contacto inicial del pie derecho con el suelo y termina con el contacto inicial consecutivo del pie derecho con el suelo (Figura 1). La zancada izquierda comienza con el contacto inicial del pie izquierdo con el suelo y termina con el contacto inicial consecutivo del pie izquierdo con el suelo.

En la descripción que realizamos a continuación, establecemos que la zancada empieza con el apoyo del más cercano al observador, denominado pie ipsilateral. Al pie más lejano al observador nos referimos como pie contra-lateral.

1.2.1 PERIODO DE APOYO DEL PIE IPSILATERAL

Es el periodo en el que el pie está en contacto con el suelo (Murray, 1967; Murray, Kory y Sepic, 1970). En un principio Bradford (1987), pensaba que el pie realizaba el primer contacto con el suelo con toda la planta del pie a la vez, hasta que la fotografía demostró que la primera parte del pie que toca el suelo durante la marcha sin ningún tipo de patología es el talón. Se considera por lo tanto que la zancada comienza cuando el talón de un



▲ Figura 1. Representación gráfica de los periodos* de una zancada.

*Están representados los acontecimientos durante un tiempo ligeramente superior a una zancada.

pie (en este caso el pie ipsilateral) toca el suelo y termina cuando los dedos del mismo pie dejan de tocarlo.

Durante este periodo el pie contra-lateral pasa de estar en contacto con el suelo a un periodo de balanceo, para terminar de nuevo apoyado en el suelo. (Murray, 1967; Sutherland *et al.*, 1988).

Este periodo está compuesto por dos intervalos de apoyo bipodal y uno de apoyo monopodal (Murray, 1967).

PRIMER INTERVALO DE APOYO BIPODAL

Lamoreux (1971) también le denomina intervalo de “carga” o de “transferencia del peso”. En este momento, Murray (1964) y Yamashita (1976) afirman que los dos pies están en contacto con el suelo. El pie ipsilateral, tal y como comentan Macellari (1999); Sutherland (1988) y Titianova, (2003), acaba de tocar el suelo y el contra-lateral todavía no ha empezado su fase de balanceo. El

inicio de este intervalo marca el principio de la zancada. La desaparición del tiempo de apoyo bipodal según Farley (1988) y Nilsson (1989) marca el paso de la marcha a la carrera.

INTERVALO DE APOYO MONOPODAL DEL PIE

IPSILATERAL

El pie ipsilateral está en contacto con el suelo mientras que el pie contra-lateral está en periodo de balanceo (Chao, Laughman, Schneider y Stauffer, 1983; Gage, 1990; Murray *et al.*, 1964; Sutherland *et al.*, 1988).

SEGUNDO INTERVALO DE APOYO BIPODAL

Gage(1990), también le denomina “fase de prebalanceo” del pie ipsilateral. Comienza cuando el pie contra-lateral toca el suelo. Termina cuando el pie ipsilateral empieza su periodo de balanceo (Sutherland *et al.*, 1988). La duración de esta fase según Chen (2003); Gage (1990); Gill (2003) y Sutherland (1988) engloba aproximadamente desde el 50% hasta el 60-62% de la zancada.

1.2.2 PERIODO DE BALANCEO DEL PIE IPSILATERAL

Es el periodo en el que el pie ipsilateral no está en contacto con el suelo. Según Macellari (1999) y Titianova (2003) comienza con el despegue completo del pie y termina cuando el mismo pie vuelve a tocar el suelo.

2. Variables espacio-temporales

2.1. LONGITUD DE PASO

Es la distancia entre sucesivos puntos de contacto de pies alternos con el suelo (Lamoreux, 1971; Murray, 1967; Murray, et al., 1964; Murray et al., 1966).

Como durante la marcha a velocidad espontánea el apoyo inicial de ambos pies se realiza con el talón, Begg (1998); Dankloff (1992) y Ocaña (1993) definen la longitud de paso como la distancia en la línea de progresión entre el apoyo del talón de un pie y el apoyo del talón del pie contrario.

La distancia del pie izquierdo al derecho y la del pie derecho al izquierdo son iguales (Murray et al., 1964).

A velocidad espontánea las longitudes de paso que han obtenido diversos autores se observan en la Tabla 1.

A partir de los sesenta años, las personas empiezan a disminuir su longitud de paso. En personas por debajo de esta edad Murray (1964) no obtuvo diferencias significativas.

La fórmula que define la longitud de paso es la siguiente:

Fórmula 1. Longitud de paso.

$$\text{Longitud de paso (m)} = \text{velocidad (m} \cdot \text{min}^{-1}) / \text{cadencia de pasos por minuto (pasos} \cdot \text{min}^{-1}) \quad (\text{Lamoreux, 1971})$$

Para anular la influencia de la altura sobre esta variable, Chao (1983) la normaliza por la longitud del miembro inferior, mientras que Hof (1996); Lamoreux (1971); Owings (2004) y Van der Linden (2002) la normalizan por la altura de los sujetos. Kimura (2004) y Titianova (2003) determinan la longitud del miembro inferior, con el sujeto de pie, midiendo la distancia desde el trocánter mayor del fémur hasta el suelo, mientras que Breit (1997) la determina desde el cóndilo lateral de la tibia hasta el maleolo lateral externo. De esta manera se eliminan las diferencias en la longitud de paso debidas a las distintas alturas de los sujetos.

2.2. TIEMPO DE PASO

Según Lamoreux (1971); Murray (1964) y Titianova (2003) el tiempo de paso es el tiempo transcurrido entre el contacto inicial de un pie con el suelo y el contacto inicial del pie contrario.

Autor	Edad	Condición de calzado	LP (m)
Murray (1964)	20 - 65	calzada [no específica]	0,78 (0,05)
Sekiya (1997)	25,9 (4,1)	calzada [no específica]	0,76 (0,12)
Sekiya (1998)	22,4	calzada [no específica]	0,66 (0,04)
Cutlip (2000)	21 - 26	calzada [no específica]	0,75 (0,02)
Della Croce (2001)	24,6 (4,0)	descalzo	0,62 (0,05)
Gill (2003)	22 - 43	descalzo	0,73 (0,06)
Menz (2003)	22 - 39	zapatos Oxford™	0,73 (0,07)
Menz (2004)	22 - 40	zapatos Oxford™	0,77 (0,05)
Van Uden (2004)	19 - 59	calzada [no específica]	0,77 (0,08)

Nota: Se presenta la desviación típica entre paréntesis cuando ésta ha sido facilitada por el autor.

LP: longitud de paso.

▲ Tabla 1. Longitud de paso a velocidad espontánea.

El tiempo de paso del miembro inferior izquierdo es el periodo transcurrido desde el contacto inicial del pie derecho hasta el contacto inicial del pie izquierdo. El tiempo de paso del miembro inferior derecho es el lapso desde el contacto inicial del pie izquierdo hasta el contacto inicial del pie derecho. Ambos tiempos, según demostró Jacobs (1972) mediante el registro de la componente vertical con las plataformas diseñadas por Skorecki (1966) son similares.

A velocidad espontánea se dan diferencias inter-individuales en el tiempo de paso. Estas diferencias no están relacionadas ni con la altura, ni con la edad de los sujetos (Murray *et al.*, 1964).

El tiempo de paso se normaliza por el tiempo de zancada. De esta forma se pueden realizar comparaciones sin que afecten las distintas velocidades de marcha de cada registro sobre esta variable. Kadaba (1990); Van Uden (2004) y Zijlstra (2004) no lo normalizan, por lo que a la hora de realizar comparaciones de su magnitud, éstas se verán enmascaradas por las diferencias de velocidad entre los distintos registros.

2.3. CADENCIA DE PASOS

Es el número de pasos o zancadas que da un sujeto en un tiempo determinado. Gill (2003) y Murray (1964) midieron el número de pasos en un minuto. Chao (1983) midió el número de zancadas en un minuto y Hay (2002) el número de zancadas en un segundo.

La cadencia natural se define como, el número de pasos en un tiempo determinado que da una persona cuando anda a velocidad espontánea (Radin, Yang, Riegger, Kish y O'Connor, 1991).

Whittle (1997) establece unos rangos de la cadencia de pasos para cada grupo de edad (Ver Tabla 2).

Edad	CP (pasos*min ⁻¹)
13 - 14	100 -149
15 - 17	96 - 142
18 - 49	91 - 135
50 - 64	82 - 126

CP: Cadencia de pasos.

▲ Tabla 2. Cadencias de pasos por grupos de edad en hombres andando calzados a velocidad espontánea según Whittle, (1997).

Murray (1964) en un estudio realizado en personas calzadas agrupadas por rangos de edad (Ver Tabla 3), obtuvo unas cadencias de paso acordes con los valores que Whittle (1997) señala como pertenecientes a la marcha normal (Tabla 2).

Edad	CP (pasos*min ⁻¹)
20 - 25	115
30 -35	111
40 - 45	122
50 - 55	118
60 - 65	115

CP: Cadencia de pasos.

▲ Tabla 3. Cadencias de pasos por rangos de edad en hombres andando calzados a velocidad espontánea según Murray (1964).

Otros autores obtuvieron las cadencias de pasos que se pueden observar en la Tabla 4.

La cadencia de pasos se determina mediante las siguientes fórmulas:

Fórmula 2. Cadencia de pasos I.

$$\text{Cadencia de pasos (pasos*s-1)} = \frac{\text{número de pasos (pasos)}}{\text{tiempo (s)}}$$

Fórmula 3. Cadencia de pasos II.

$$\text{Cadencia de pasos (pasos*min-1)} = \frac{\text{velocidad (m*s-1)}}{\text{longitud de zancada (m)}*120}$$

Fórmula 4. Cadencia de pasos III.

$$\text{Cadencia de pasos (pasos *m-1)} = 600 / \text{tiempo tardado en dar 10 pasos (s)}$$

2.4. LONGITUD DE ZANCADA

Es la distancia en la dirección de progresión entre sucesivos puntos de apoyo del mismo pie en el suelo (Cavanagh, 1987; Dommasch *et al.*, 1972; Lamoreux, 1971; Macellari *et al.*, 1999; Murray, 1967; Murray, *et al.*, 1964; Murray *et al.*, 1966; Murray *et al.*, 1970; Titianova, *et al.*, 2003).

Una zancada está compuesta por dos pasos, por lo que dos longitudes de paso constituyen una longitud de zancada (Gill y O'Connor, 2003).

Autor	Edad	Condición de calzado	CP (pasos ⁺ min ⁻¹)
Murray (1966)	20 - 65	calzada [no específica]	113
Kadaba (1990)	18 - 40	descalza	112 (9)
Radin (1991)	27,7	descalza	113 (6)
Sekiya (1997)	25,9 (4,1)	calzada [no específica]	108 (9,7)
Sekiya (1998)	22,4	calzada [no específica]	108,5 (7,6)
Polio (1998)	27,2 (3,6)	calzada [no específica]	111,4 (8,2)
Cutlip (2000)	22,1	calzada [no específica]	106,7 - 117,1
Riley (2001)	27 (4,6)	descalza	108 (5)
Menz (2003)	22 - 39	zapatos Oxford™	103,3 (7,3)
Menz (2004)	22 - 40	zapatos Oxford™	110,7 (6,9)

Nota: Se presenta la desviación típica entre paréntesis cuando ésta ha sido facilitada por el autor.

CP: cadencia de pasos.

▲ **Tabla 4.** Cadencias de pasos a velocidad espontánea según diversos autores.

Las fórmulas comúnmente utilizadas para determinar la longitud de zancada son las siguientes:

Fórmula 5. Longitud de zancada I.

Longitud de zancada (m) = longitud de paso del miembro inferior derecho (m) + longitud de paso del miembro inferior izquierdo (m)

Fórmula 6. Longitud de zancada II.

Longitud de zancada (m) = velocidad (m·s⁻¹) · tiempo de zancada (s)

Los valores obtenidos en diversos estudios de la magnitud de variable se observan en la Tabla 5.

Al igual que sucede con la longitud de paso, la longitud de zancada no muestra diferencias significativas en personas con una edad inferior a los 60 años. Murray (1964) obtuvo en personas con una edad comprendida entre los 60 y los 65 años una longitud de zancada significativamente inferior respecto a aquellas con una edad entre los 20 y los 25 años.

La magnitud de esta variable está directamente relacionada con la altura de las personas (Murray *et al.*, 1964), por lo que Chao (1983); Grieve (1966); Grieve (1968) y Kimura (2004) normalizan esta variable por la longitud del miembro inferior o por la altura de los sujetos. Gill (2003) y Murray (1964) por el contrario, no normalizan esta variable.

Autor	Edad	Condición de calzado	LZ (m)
Murray (1964)	20 - 65	calzada [no específica]	1,55 - 1,58
Murray (1966)	20 - 65	calzada [no específica]	1,56 (0,13)
Kadaba (1990)	18 - 40	descalza	1,41
Polio (1998)	27,2 (3,6)	calzada [no específica]	1,46 (0,9)
Mills (2001)	24,9 (0,9)	calzada [no específica]	1,7
Gill (2003)	22 - 43	descalza	1,46 (0,08)
Van Uden (2004)	19 - 59	calzada [no específica]	1,55 (0,17)

Nota: Se presenta la desviación típica entre paréntesis cuando ésta ha sido facilitada por el autor. LZ: longitud de zancada.

▲ **Tabla 5.** Longitud de zancada a velocidad espontánea.

2.5. TIEMPO DE ZANCADA

Comprende el intervalo entre dos apoyos sucesivos del mismo pie en el suelo (Cavanagh, 1987; Lamoreux, 1971; Murray *et al.*, 1964; Titianova *et al.*, 2003). Está compuesto por un tiempo de apoyo y un tiempo de balanceo del mismo pie.

Se determina mediante la siguiente fórmula:

Fórmula 7. Tiempo de zancada I.

$$\text{Tiempo de zancada (s)} = 120 / \text{cadencia (pasos}^* \text{min}^{-1})$$

Los valores obtenidos de esta variable por diversos autores se muestran en la Tabla 6.

2.6. TIEMPO DE APOYO

Es el tiempo que un pie está en contacto con el suelo (Aminian, Najafi, Büla, Levyraz y Robert, 2002; Diop, Rahmani, Belli, Gautheron, Geysant y Cottalorda, 2004; Dommasch, et al., 1972; Macellari, et al., 1999; Murray, et al., 1964). Empieza con el contacto inicial del talón de un pie en el suelo y termina con el contacto final del antepié del mismo pie en el suelo. Murray (1964) obtuvo una alta reproducibilidad de esta variables en un mismo registro, así como entre diferentes registros.

Los valores de esta variable obtenidos por diversos autores se observan en la Tabla 7.

Blanc (1999); Bresler (1950); Cairns (1986); Chao (1983); Gill (2003); Kadaba (1990); Macellari (1999); Mill (2001); Murray (1964); Murray (1966); Perry (1955); Stacoff (2005) y Winter (1984) normalizan el tiempo de apoyo por el tiempo de zancada.

El tiempo de apoyo está formado por dos tiempos de apoyo bipodal y uno de apoyo monopodal.

2.6.1. TIEMPO DE APOYO BIPODAL

Comprende el tiempo en el que ambos pies están apoyados en el suelo (Murray *et al.*, 1964; Yamashita y Katoh, 1976). Los dos tiempos de apoyo bipodal de una zancada muestran la misma magnitud (Jacobs, 1972; Murray *et al.*, 1964; Schwartz y Heath, 1947).

Las magnitudes de esta variable obtenidas en diversos estudios se encuentran en la Tabla 8.

Chao (1983); Gill (2003); Kadaba (1990); Murray (1964) y Smith (1960) normalizan el tiempo de apoyo bipodal por el tiempo de zancada.

2.6.2. TIEMPO DE APOYO MONOPODAL

El tiempo de apoyo monopodal comprende el intervalo en el que sólo un pie está en contacto con el suelo (Chao *et al.*, 1983; Gage 1990; Murray *et al.*, 1964). Jacobs (1972) obtuvo un tiempo de apoyo bipodal similar en ambos miembros inferiores. Esta variable se utiliza como indicador de la habilidad de un sujeto para mantener el peso de su cuerpo sobre un solo miembro inferior.

Las magnitudes de esta variable obtenidas en diversos estudios se observan en la Tabla 9.

Blanc (1999); Cairns (1986); Gill (2003); Mills (2001) y Murray (1964) normalizan el tiempo de apoyo monopodal por el tiempo de zancada.

Autor	Edad	Condición de calzado	TZ (s)
Bresler, (1950)	no específica	calzada [no específica]	1,18
Murray, (1964)	30 - 35	calzada [no específica]	1,08 (0,10)
Murray, (1966)	20 - 65	calzada [no específica]	1,06 (0,09)
Kadaba, (1990)	18 - 40	descalza	1,08 (0,08)
Mills, (2001)	24,9 (0,9)	calzada [no específica]	1,18 (0,02)
Gill, (2003)	22 - 43	descalza	1,06 (0,09)
Van Uden, (2004)	19 - 59	calzada [no específica]	1,10 (0,06)

Nota: Se presenta la desviación típica entre paréntesis cuando ésta ha sido facilitada por el autor. TZ: tiempo de zancada.

▲ Tabla 6. Tiempo de zancada a velocidad espontánea.

Autor	Edad	Condición de calzado	TA
Bresler (1950)	no específica	calzada [no específica]	62 %TZ
Murray (1964)	20 - 65	calzada [no específica]	60 - 61 %TZ
Murray (1966)	20 - 65	calzada [no específica]	61 %TZ
Chao (1983)	19 - 32	zapatos	60 (2) %TZ
Cairns (1986)	no específica	descalza	62 %TZ
Kadaba (1990)	18-40	descalza	61 (2,1) %TZ
Perry (1995)	no específica	descalza	62 %TZ
Blanc (1999)	31- 40	descalza	61,31 (1,11) %TZ
Mills (2001)	24,9 (0,9)	calzada [no específica]	61,3 (0,7) %TZ
Gill (2003)	22,2 - 43,3	descalza	62 (2,1) %TZ
Stacoff (2005)	33,7 (7,9)	calzada [no específica]	0,61 (0,015) s

Nota: Se presenta la desviación típica entre paréntesis cuando ésta ha sido facilitada por el autor. **TA:** tiempo de apoyo, **TZ:** tiempo de zancada.

▲ Tabla 7. Tiempo de apoyo a velocidad espontánea.

Autor	Edad	Condición de calzado	TAB (%TZ)
Murray (1964)	20 - 65	calzada [no específica]	10
Murray (1966)	20-65	calzada [no específica]	11
Chao (1983)	19 - 32	zapatos	10,2 (2,6)
Kadaba (1990)	18-40	descalza	10,2 (1,5)
Gill (2003)	22,2 - 43,3	descalza	12

Nota: Se presenta la desviación típica entre paréntesis cuando ésta ha sido facilitada por el autor. **TAB:** tiempo de apoyo bipodal, **TZ:** tiempo de zancada.

▲ Tabla 8. Tiempo de apoyo bipodal a velocidad espontánea.

Autor	Edad	Condición de calzado	TAM (%TZ)
Murray (1964)	20 - 65	calzada [no específica]	40
Chao (1983)	19 - 32	zapatos	40
Cairns (1986)	no específica	descalza	38
Blanc (1999)	31- 40	descalza	38,6 (1,1)
Mills (2001)	24,9 (0,9)	calzada [no específica]	38,7 (0,7)
Gill (2003)	22,2 - 43,3	descalza	38

Nota: Se presenta la desviación típica entre paréntesis cuando ésta ha sido facilitada por el autor. **TAM:** tiempo de apoyo monopodal.

Tabla 9. Tiempo de apoyo monopodal a velocidad espontánea.

2.7 TIEMPO DE BALANCEO

Es el tiempo en el que el pie no está en contacto con el suelo (Dommasch *et al.*, 1972; Murray *et al.*, 1964). Coincide en magnitud con el tiempo de apoyo monopodal del pie contrario. Murray (1964) no obtuvo una influencia de la edad y altura en la magnitud de esta variable.

Las magnitudes de esta variable obtenidas en diversos estudios se muestran en la Tabla 10.

Cairns (1986); Chao (1983); Gill (2003) y Murray (1964) normalizan el tiempo de balanceo por el tiempo de zancada.

2.8 VELOCIDAD DE MARCHA

Es la distancia que recorre una persona en un tiempo determinado. Chao (1983) menciona que en los estudios biomecánicos se suele medir en $m \cdot s^{-1}$ o en $m \cdot m^{-1}$.

La transición de la marcha a la carrera empieza a producirse de acuerdo con las características o preferencias de las personas. Según Thorstensson (1987) ésta se da a partir de los $1,3 m \cdot s^{-1}$. Walters (1999) obtuvo esta transición a partir de los $1,6 m \cdot s^{-1}$.

Las fórmulas que definen la velocidad de marcha son las siguientes:

Fórmula 8. Velocidad I.

$$\text{Velocidad (m} \cdot \text{s}^{-1}) = \text{distancia recorrida (m) / tiempo(s)}$$

Fórmula 9. Velocidad II.

$$\text{Velocidad (m} \cdot \text{s}^{-1}) = \text{longitud de zancada (m) / tiempo de zancada(s)}$$

Al depender la velocidad de marcha de la longitud de zancada y tiempo de zancada, la variación de una de estas dos variables influirá en la velocidad. Las personas tienden a modificar la velocidad mediante la variación conjunta de estas dos variables.

A la hora de hacer comparaciones entre sujetos, Al-Obaidi (2003); Grieve (1968); Hof (1996); Titianova (2003) y Van der Linden (2002), para evitar la influencia de la altura sobre la velocidad de marcha, normalizan la magnitud de esta variable por la altura de los sujetos y/o por la longitud de su miembro inferior.

La velocidad utilizada en diferentes estudios ha sido una velocidad espontánea o impuesta.

2.8.1. ESPONTÁNEA

Es la velocidad que adquiere un sujeto cuando anda con naturalidad, sin que se le haya impuesto ninguna velocidad predeterminada. A esta velocidad, según Beckett (1968); Holt (1991); Inman (1966) y Ralston (1958) el gasto energético es menor que a cualquier otra velocidad.

Varios autores tales como Andriacchi (1977); Begg (1998); Carmichael (1999); Chao (1983); Collins (1989); Esenyel (2004); Folman (2004); Forner (2004); Gill (2003); Kerrigan (2002); Kimura (2004); Maki (1997); Menz (2004); Mills (2001); Oeffinger (1999); Owings (2004); Polio (1999); Radin (1991); Ralston (1958); Sekiya (1998); Shiba (1995); Stacoff (2005); Tesio (1998); Van Uden (2004); White (2005); Whittle (1997) y Zhan (2006) utilizan esta velocidad para el análisis de la marcha.

Autor	Edad	Condición de calzado	TB (%TZ)
Murray, (1964)	20 - 65	calzada [no específica]	40 %TZ
Chao, (1983)	19 - 32	zapatos	40 %TZ
Cairns, (1986)	no específica	descalza	38 %TZ
Gill, (2003)	22,2 - 43,3	descalza	38 %TZ

Nota: Se presenta la desviación típica entre paréntesis cuando ésta ha sido facilitada por el autor. TB: tiempo de balanceo, TZ: tiempo de zancada.

▲ Tabla 10. Tiempo de balanceo a velocidad espontánea.

Velocidades mayores y menores que la espontánea también son habituales en los estudios biomecánicos. En estos casos se pide a los sujetos que anden más rápido y/o más lento de su velocidad espontánea, sin imponerles una velocidad específica tal y como se realizó en los estudios de Al-Obaidi (2003); Andriacchi (1977); Cutlip (2000); Gard (2003); Lelas (2003); Murray (1966); Murray (1970); Riley (2001); Van Uden (2004); Webster (2004) y Zijlstra (2004).

Whittle (1997) establece unos rangos de velocidad espontánea divididos por grupos de edad (Tabla 11).

Edad	V (m*s ⁻¹)
13 - 14	0,95 - 1,67
15 - 17	1,03 - 1,75
18 - 49	1,10 - 1,82
50 - 64	0,96 - 1,68

▲ Tabla 11. Rangos de velocidad espontánea divididos por grupos de edad según Whittle, (1997).

Si la velocidad de un sujeto está fuera de este rango se puede prever la posible existencia de algún tipo de patología que afecte la marcha. Radin (1991) además menciona que si la velocidad de marcha está dentro de estos valores no implica necesariamente la ausencia de patologías que afecten al miembro inferior.

En la Tabla 12 se muestran las velocidades espontáneas adoptadas en diferentes estudios.

2.8.2 IMPUESTA

Es la velocidad específica que se le impone a un sujeto. Cuando se utiliza esta velocidad Hamill (1984); Martin (1992); MacCaw (2000); Nurse (2005); Voloshin (1981) y Wosk (1981) miden la velocidad de marcha y comprueban que ésta no difiera de la velocidad predeterminada en un porcentaje previamente señalado.

La desventaja de esta velocidad es que el sujeto está sometido a un condicionamiento externo que le puede

Autor	Edad	Condición de calzado	v (m·s ⁻¹)
Ralston (1958)	22 - 51	no específica	1,23
Murra, (1964)	20 - 65	calzada [no específica]	1,51 (0,2)
Kadaba (1990)	18 - 40	descalza	1,34 (0,22)
Radin (1991)	27,7	descalza	1,37
Sekiya (1997)	25,9 (4,1)	calzada [no específica]	1,38 (0,33)
Sekiya (1998)	22,4	calzada [no específica]	1,2
Polio (1998)	27,2 (3,6)	calzada [no específica]	1,35 (0,11)
Della Croce (2001)	24,6 (4,0)	descalza	1,2 (0,14)
Mills (2001)	24,9 (0,9)	calzada [no específica]	1,41 (0,04)
Riley (2001)	23,9 (4,4)	descalza	1,19 (0,13)
Riley (2001)	27 (4,6)	descalza	1,2
Gill (2003)	22,2 - 43,3	descalza	1,38
Menz (2003)	22 - 39	zapatos Oxford™	1,33 (0,19)
Minetti (2003)	31,8 (8,4)	calzada [no específica]	1,38
Menz (2004)	22 - 40	zapatos Oxford™	1,43 (0,14)
Orendurff (2004)	26,9 (5,7)	descalza	1,61 (0,22)
Van Uden (2004)	19 - 59	calzada [no específica]	1,42 (0,19)
Zijlstra (2004)	19 - 27	calzada [no específica]	1,45 (0,11)

Nota: Se presenta la desviación típica entre paréntesis cuando ésta ha sido facilitada por el autor. v: velocidad.

▲ Tabla 12. Velocidades espontáneas adoptadas en diferentes estudios.

impedir la marcha con normalidad. Martin (1992) utilizó un tapiz rodante y Bishop (2004) y Zijlstra (1995) usaron un metrónomo para indicar al sujeto el ritmo de marcha.

4. Conclusiones y consideraciones finales

La marcha se puede dividir en fases claramente identificables. El análisis espacio-temporal de estas fases, así como del resto de características espacio-temporales de la marcha permiten un estudio detallado de esta actividad física. Para la realización de este tipo de análisis no hace falta una cara instrumentación. Esto hace de este tipo de análisis un método adecuado para un estudio detallado de la marcha en instituciones donde no hay una gran infraestructura. Este método ha mostrado ser válido para evaluar las características de las marcha. ≡

BIBLIOGRAFÍA

- AL-OBAIDI, SAUD; WALL, J.C.; AL-YAQOUB, A. y AL-GHANIM, M. Basic gait parameters: A comparison of reference data for normal subjects 20 to 29 years of age from Kuwait and Scandinavia. *En: Journal of Rehabilitation Research and Development*. No. 40 (2003); p. 361-366.
- AMINIAN, K.; NAJAFI, B.; BÜLA, C.; LEVYRAZ, P.-F. y ROBERT, PH. Spatio-temporal parameters of gait measured by an ambulatory system using miniature gyroscopes. *En: Journal of Biomechanics*. No. 35 (2002); p. 689-699.
- ANDRIACCHI, T.; OGLE, J. y GALANTE, J. Walking speed as a basis for normal and abnormal gait measurements. *En: Journal of Biomechanics*. No. 10 (1977); p. 261-268.
- BECKETT, R. y CHANG, K. An evaluation of the kinematics of gait by minimum energy. *En: Journal of Biomechanics*. No. 1 (1968); p. 147-159.
- BEGG, R.K.; SPARROW, W.A. y LYTHGO, N.D. Time domain of foot ground reaction forces in negotiating obstacles. *En: Gait and Posture*. No. 7 (1998); p. 99 – 109.
- BISHOP, M.; BRUNT, D.; PATHARE, N. y PATEL, B. The effect of velocity on the strategies used during gait termination. *En: Gait and Posture*. No. 20 (2004); p. 134-139.
- BLANC, Y.; BALMER, C.; LANDIS, T. y VINGERHOETS, F. Temporal Parameters and Patterns of the Foot Roll Over During Walking: Normative Data for Healthy Adults. *En: Gait and Posture*. No. 10 (1999); p. 97-108.
- BRADFORD, E.H. An examination of human gait. *En: Boston Med. Surg. J.* No. 137 (1897); p. 329-332.
- BREIT, G.A. y WHALEN, R.T. Prediction of human gait parameters from temporal measures of foot-ground contact. *En: Medicine & Science in Sports & Exercise*. No. 29 (1997); p. 540-547.
- BRESLER, B. y FRANKEL, J.P. The forces and moments in the leg during level walking. *En: ASME*. No. 72 (1950); p. 27-36.
- CAMARA, J; MARTINEZ, R y GAVILANES, B. Reproducibilidad de las variables espacio-temporales y de las componentes de la fuerza de reacción del suelo en la marcha con botas de bombero. *En: E-balonmano, Revista de Ciencias del Deporte*. No. 6 (2010); p. 141-153
- CAIRNS, M.A.; BURDETT, R.G.; PISCIOTTA, J.C. y SIMON, S.R. A biomechanical analysis of racewalking gait. *En: Medicine & Science in Sports & Exercise*. No. 18 (1986); p. 446-453.
- CARMICHAEL y WHITTLE, MICHAEL W. Gender differences in the heelstrike transient. *En: Gait and Posture*. No. (1999); p. 144-145.
- CAVANAGH, PR. The biomechanics of lower extremity action in distance running. *En: Foot Ankle*. No. 7 (1987); p. 197-217.
- CHAO, E.Y.; LAUGHMAN, R.K.; SCHNEIDER, E. y STAUFFER, R.N. Normative data of knee joint motion and ground reaction forces in adult level walking. *En: Journal of Biomechanics*. No. 16 (1983); p. 219-233.
- CHEN, WEN-LING; O'CONNOR, J.J. y RADIN, E.L. A comparison of the gaits of Chinese and Caucasian women with particular reference to their heelstrike transients. *En: Clinical Biomechanics*. No. 18 (2003); p. 207-213.
- COLLINS, J.J. y WHITTLE, MICHAEL W. Influence of gait parameters on the loading of the lower limb. *En: Journal of Biomedical Engineering*. No. 11 (1989); p. 409-412.
- CUTLIP, R.G.; MANCINELLI, C.; HUBER, F. y DIPASQUALE, J. Evaluation of an instrumented walkway for measurement of the kinematic parameters of gait. *En: Gait and Posture*. No. 12 (2000); p. 134-138.
- DANION, F.; VARRAINE, E.; BONNARD, M. y PAILHOUS, J. Stride Variability in Human Gait: The Effect of Stride Frequency and Stride Length. *En: Gait and Posture*. No. 18 (2003); p. 69-77.
- DANKLOFF, C.; RODRÍGUEZ, R. y FERNÁNDEZ VALENCIA, R. Estudio morfofuncional de la marcha humana. *En: R. Biomecánica*. No. 1 (1992); p. 54-58.
- DELLA CROCE, U.; RILEY, P.O.; LELAS, J.L. y KERRIGAN, D.C. A refined review of the determinants of gait. *En: Gait and Posture*. No. 14 (2001); p. 79-84.
- DIOP, M.; RAHMANI, A.; BELLI, R.; GAUTHERON, V.; GEYSSANT, A. y COTTALORDA, J. Influence of Speed Variation and Age on the Asymmetry of Ground Reaction Forces and Stride Parameters of Normal Gait in Children. *En: Journal of Pediatric Orthopaedics*. No. 13 (2004); p. 308-314.
- DOMMASCH, H.S.; BRANDELL, B.R. y MURRAY, E.B. Investigation into techniques of gait analysis. *En: Journal of the Biological Photographic Association*. No. 40 (1972); p. 106-116.

24. ESENYEL, M.; WALDEN, G.; GITTER, A.; WALSH, N.E. y KARACAN, I. Gait characteristics with and without shoes. *En: Türkiye Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Dergisi*. No. 50 (2004); p. 33-37.
25. FARLEY, CLAIRE T. y FERRIS, DANIEL P. Biomechanics of walking and running: center of mass movements to muscle action. *En: Exercise and Sport Science Reviews*. No. 26 (1988); p. 253-285.
26. FOLMAN, Y.; WOSK, J.; SHABAT, S. y GEPSTEIN, R. Attenuation of spinal transients at heel strike using viscoelastic heel insoles: an in vivo study. *En: Preventive Medicine*. No. 39 (2004); p. 351-354.
27. FORNER, A.; KOOPMAN, H.J.F.M. y VAN DER HELM, F.C.T. Use of pressure insoles to calculate the complete ground reaction forces. *En: Journal of Biomechanics*. No. 37 (2004); p. 1427-1432.
28. GAGE, JR. An overview of normal walking. *En: Instr. Course Lect.* No. 39 (1990); p. 291-303.
29. GARD, S.A. y REGINA, J.K. The effect of a shock-absorbing pylon on the gait of persons with unilateral transtibial amputation. *En: Journal of Rehabilitation Research and Development*. No. 40 (2003); p. 109-124.
30. GILL, H.S. y O'CONNOR, J.J. Heelstrike and the pathomechanics of osteoarthritis: a pilot gait study. *En: Journal of Biomechanics*. No. (2003); p. 1625-1631.
31. GOBLE, D.J.; MARINO, G.W. y POTVIN, J.R. The Influence of Horizontal Velocity on Interlimb Symmetry in Normal Walking. *En: Human Movement Science*. No. 22 (2003); p. 271-283.
32. GRIEVE, D.W. Gait patterns and the speed of walking. *En: Biomedical Engineering*. No. 3 (1968); p. 119-122.
33. GRIEVE, D.W. y GEAR, R.J. The relationships between length of stride, step frequency, time of swing and speed of walking for children and adults. *En: Ergonomics*. No. 5 (1966); p. 379-399.
34. HAMILL, J.; BATES, B.T. y KNUTZEN, K.M. Ground reaction force symmetry during walking and running. *En: Medicine & Science in Sports & Exercise*. No. 55 (1984); p. 289-293.
35. HARTMANM, A.; MURER, K.; BIE, R. y BRUIN, E. Reproducibility of spatio-temporal gait parameters under different conditions in older adults using a trunk triaxial accelerometer system. *En: Gait and Posture*. No. 30 (2009); p. 351-355.
36. HAY, J.G. Cycle rate, length, and speed of progression in human locomotion. *En: Journal of Applied Biomechanics*. No. 18 (2002); p. 257-270.
37. HOF, A.L. Scaling gait data to body size. *En: Gait and Posture*. No. 23 (1996); p. 222-223.
38. HOLT, K.G.; HAMILL, J. y ANDRES, R.O. Predicting the minimal energy costs of human walking. *En: Medicine & Science in Sports & Exercise*. No. 23 (1991); p. 491-498.
39. INMAN, V.T. Human Locomotion. *En: Canadian Medical Association Journal* No. 94 (1966); p. 1047-1053.
40. JACOBS, N.J. Analysis of the vertical component of force. *En: Journal of Biomechanics* No. 5 (1972); p. 11-34.
41. KADABA, M.P.; RAMAKRISHNAN, H.K. y WOOTEN, M.E. Measurement of lower extremity kinematics during level walking. *En: Journal of Orthopaedics Research*. No. 8 (1990); p. 383-392.
42. KERRIGAN, D.C.; JENNIFER, L.L.; GOGGINS, J.; MERRIMAN, G.J.; KAPLAN, R.J. y FELSON, D.T. Effectiveness of Lateral-Wedge Insole on Knee Varus Torque in Patients With Knee Osteoarthritis. *En: Archives of Physical Medical Rehabilitation*. No. 83 (2002); p. 134-141.
43. KIMURA, T.; YAGURAMAKI, N.; FUJITA, M.; OGIUE-IKEDA, M.; NISHIZAWA, S. y UEDA, Y. Development of energy and time parameters in the walking of healthy humans infants. *En: Gait and Posture*. No. 5 (2004); p. 89-94.
44. LAMOREUX, LA. Kinematic measurements in walking. *En: Bulletin Prosthetic Research*. No. (1971); p. 3-84.
45. LEE, J.A.; CHO, S.; LEE, Y.; YANG, H y LEE, J. Portable activity monitoring system for temporal parameters of gait cycles. *En: Journal of Medical Systems*. No. 34 (2010); p. 959-966.
46. LELAS, J.L.; MERRIMAN, G.J.; RILEY, P.O. y KERRIGAN, D.C. Predicting peak kinematic and kinetic parameters from gait speed. *En: Gait and Posture*. No. 17 (2003); p. 106-112.
47. MACELLARI, V.; GIACOMOZZI, C. y SAGGINI, R. Spatial-temporal Parameters of Gait: Reference Data and a Statistical Method for Normality Assessment. *En: Gait and Posture*. No. 10 (1999); p. 171-181.
48. MAKI, B.E. Gait changes in older adults: predictors of falls or indicators of fear? *En: J Am Geriatr Soc*. No. 45 (1997); p. 313-320.
49. MARTIN, P.E. y MARSH, A.P. . Step length and frequency effects on ground reaction forces during walking. Technical note. *En: Journal of Biomechanics*. No. 25 (1992); p. 1237-1239.
50. MCCAW, STEVEN T.; HEIL, MARK E. y HAMILL, J. The effect of comments about shoe construction on impact forces during walking. *En: Medicine & Science in Sport & Exercise*. No. 32 (2000); p. 1258-1164.
51. MENZ, H.B.; LATT, M.D.; TIEDEMANN, A.; MUN SAN KWAN, M. y LORD, S.R. Reliability of the Gaitrite walkway system for the quantification of temporo-spatial parameters of gait in young and older people. *En: Gait and Posture*. No. 20 (2004); p. 20-25.
52. MENZ, H.B.; LORD, S.R. y FITZPATRICK, R.C. Age-Related Differences in Walking Stability. *En: Age and Ageing*. No. 32 (2003); p. 137-142.
53. MILLS, P.M. y BARRETT, R.S. Swing Phase Mechanics of Healthy Young and Elderly Men. *En: Human Movement Science*. No. 20 (2001); p. 427-446.
54. MINETTI, A.E.; BOLDRINI, L.; BRUSAMOLIN, L.; ZAMPARO, P. y MCKEE, T. A feedback-controlled treadmill (treadmill-on-demand) and the spontaneous speed of walking and running in

- humans. *En: Journal of Applied Physiology*. No. 95 (2003); p. 838-843.
55. MURRAY, M.P. Gait as a total pattern of movement. *En: American Journal of Physical Medicine*. No. 46 (1967); p. 290-333.
56. MURRAY, M.P.; DROUGHT, B. y KORY, R.C. Walking Patterns of Normal Men. *En: The Journal of Bone And Joint Surgery*. No. 46 (1964); p. 335-360.
57. MURRAY, M.P.; KORY, R.C.; CLARKSON, B.H. y SEPIC, S.B. Comparison of free and fast speed walking patterns of normal men. *En: American Journal of Physical Medicine*. No. 45 (1966); p. 8-24.
58. MURRAY, M.P.; KORY, R.C. y SEPIC, S.B. Walking patterns of normal women. *En: Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. No. (1970); p. 637-650.
59. NILSSON, J. y THORSTENSSON, A. Ground reaction forces at different speeds of human walking and running. *En: Acta Physiologica Scandinavica*. No. 2 (1989); p. 217-227.
60. NURSE, M.A.; HULLIGER, M.; WAKELING, J.M.; NIGG, B. y STEFANYSHIN, D. Changing the texture of the footwear can alter gait patterns. *En: Journal of Electromyography and Kinesiology*. No. 15 (2005); p. 496-506.
61. OCAÑA, A.; GÓMEZ PELLICO, L.; FERRER BLANCO, M. y DANKLOFF MORA, C. Análisis cinético de la marcha tras la artroplastia de rodilla. *En: Rehabilitación*. No. 33 (1993); p. 180-189.
62. OEFFINGER, D.; BRAUCH, B.; CRANFILL, S.; HISLE, C.; WYNN, C.; HICKS, R., et al. Comparison of gait with and without shoes in children. *En: Gait and Posture*. No. 9 (1999); p. 95-100.
63. ORENDURFF, M.S.; SEGAL, A.D.; KLUTE, G.K.; BERGE, J.S.; ROHR, E.S. y KADEL, N.J. The effect of walking speed on center of mass displacement. *En: Journal of Rehabilitation Research and Development*. No. 41 (2004); p. 829-834.
64. OWINGS, T.M. y GRABINER, M.D. Variability of step kinematics in young and older adults. *En: Gait and Posture*. No. 20 (2004); p. 26-29.
65. PERRY, S.D. y LAFORTUNE, M.A. Influences of Inversion/Eversion of the Foot upon Impact Loading During Locomotion. *En: Clinical Biomechanics*. No. 10 (1995); p. 253-257.
66. POLIO, F.E.; GOWLING, T.L. y JACKSON, R.W. Walking boot design: a gait analysis study *En: Gait and Posture*. No. 7 (1998); p. 179.
67. POLIO, F.E.; GOWLING, T.L. y JACKSON, R.W. Walking boot design: a gait analysis study. *En: Orthopaedics*. No. 22 (1999); p. 503-507.
68. RADIN, E.L.; YANG, K.H.; RIEGGER, C.; KISH, V.L. y O'CONNOR, J. Relationship between lower limb dynamics and knee joint pain. *En: Journal of Orthopaedic Research*. No. 9 (1991); p. 398-405.
69. RALSTON, H.J. Energy-speed relation and optimal speed during level walking. *En: Int Z angew. Physiol. einsch. Arbeitsphysiol*. No. 17 (1958); p. 273-288.
70. RILEY, P.O.; DELLA CROCE, U. y CASEY, D. Propulsive adaptation to changing gait speed. *En: Journal of Biomechanics*. No. 34 (2001); p. 197-202.
71. RILEY, P.O. y KERRIGAN, D.C. The effect of voluntary toe-walking on body propulsion. *En: Clinical Biomechanics*. No. 16 (2001); p. 681-687.
72. SCHWARTZ, R.P. y HEATH, A.L. The definition of human locomotion on the basis of measurement. With description of oscillographic method. *En: Journal of Bone and Joint Surgery*. No. 29 (1947); p. 203-214.
73. SEKIYA, N. y NAGASAKI, H. Reproducibility of the walking patterns of normal young adults: test-retest reliability of the walk ratio (step-length/step-rate). *En: Gait and Posture*. No. 7 (1998); p. 225-227.
74. SEKIYA, N.; NAGASAKI, H.; ITO, H. y FURUNA, T. Optimal walking in terms of variability in step length. *En: Journal of Orthopaedics and Sports Physical Therapy*. No. 26 (1997); p. 266-272.
75. SHIBA, N.; KITAOKA, H.B.; CAHALAN, T.D. y CHAO, E.Y. Shock-absorbing effect of shoe insert materials commonly used in management of lower extremity disorders. *En: Clinical Orthopaedics and Related Research*. No. (1995); p. 130-136.
76. SKORECKI, J. The design and construction of a new apparatus for measuring the vertical forces exerted in walking: a gait machine. *En: Journal of Strain Analysis*. No. 1 (1966); p. 1966.
77. SMITH, K.U.; MCDERMID, C.D. y SHIDEMAN, F.E. Analysis of the temporal components of motion in human gait. *En: American Journal of Physical Medicine*. No. 39 (1960); p. 142-151.
78. STACOFF, A.; DIEZI, C.; LUDER, G.; STÜSI, E. y KRAMES-DE QUERVAIN, I.A. Ground reaction forces on stairs: effects of stair inclination and age. *En: Gait and Posture*. No. (2005); p. 24-38.
79. TESIO, L.; LANZI, D. y DETREMBLEUR, C. The 3-D motion of the centre of gravity of the human body during level walking. I. Normal subjects at low and intermediate walking speeds. *En: Clinical Biomechanics*. No. 13 (1998); p. 77-82
80. THORSTENSSON, A. y ROBERTSHON, H. Adaptations to changing speed in human locomotion: speed of transition between walking and running. *En: Acta Physiologica Scandinavica*. No. 131 (1987); p. 211-214.
81. TITIANOVA, E.B.; PITKÄNEN, K.; PÄÄKKÖNEN, A.; SIVENIUS, J. y TARKKA, I.M. Gait characteristics and functional ambulation profile in patients with chronic unilateral stroke. *En: American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*. No. 82 (2003); p. 778-786.
82. VAN DER LINDEN, MARIËTA, L. ; KERR, A.M.; HAZLEWOOD, M.E.; HILLMAN, S.J. y ROBB, J.E. Kinematic and Kinetic Gait Characteristics of Normal Children Walking at a Range of Clinically Relevant Speeds. *En: Journal of Pediatric Orthopaedics*. No. (2002); p. 800-806.
83. VAN UDEN, C.J.T. y BESSER, M.P. Test-retest reliability of temporal and spatial gait characteristics measured with an instrumented walkway system (GAITRite). *En: BMC Musculoskeletal Disorders*. No. 5 (2004); 134-141.

84. VOLOSHIN, A. y WOSK, A. An In Vivo Study of Low back Pain and Shock Absorption in the Human Locomotor System. *En: Journal of Biomechanics*. No. 15 (1982); p. 21-27.
85. VOLOSHIN, A.; WOSK, J. y BRULL, M. Force Wave Transmission Through the Human Locomotor System. *En: Journal of Biomechanical Engineering*. No. 103 (1981); p. 48-50.
86. WATERS, R.L. y MULROY, S. The energy expenditure of normal and pathological gait (Review). *En: Gait and Posture*. No. (1999); p. 207-231.
87. WEBSTER, K.E.; WITTEWER, J.E. y FELLER, J.A. Validity of the GAITrite walkway system for the measurement of averaged and individual step parameters of gait. *En: Gait and Posture*. No. (2004); p. 234-241
88. WHITE, R.; AGOURIS, I. y FLETCHER, E. Harmonic analysis of force platform data in normal and cerebral palsy gait. *En: Clinical Biomechanics*. No. 20 (2005); p. 508-516.
89. WHITTLE, M.W. Three-dimensional motion of the center of gravity of the body during walking. *En: Human Movement Science*. No. 16 (1997); p. 347-355.
90. WINTER, D.A. Kinematic and kinetic patterns in human gait: variability and compensating effects. *En: Human Movement Science*. No. 3 (1984); p. 51-76.
91. WOSK, J. y VOLOSHIN, A. Wave attenuation in skeletons of young healthy persons. *En: Journal of Biomechanics*. No. 14 (1981); p. 261-267.
92. YAMASHITA, T. y KATOH, R. Moving patterns of point of application of vertical resultant force during level walking. *En: Journal of Biomechanics*. No. 9 (1976); p. 93-99.
93. ZENI, J.A. y HIGGINSON, J.S. Gait parameters and stride-to-stride variability during familiarization to walking on a split-belt treadmill. *En: Clinical Biomechanics*. No. 25 (2010); p. 383-386.
94. ZHANG, S.; CLOWERS, K.G. y POWELL, D. Ground reaction force and 3D biomechanical characteristics of walking in short-leg walkers. *En: Gait and Posture*. No. 23 (2006); p. 234-239.
95. ZIJLSTRA, W. Assessment of spatio-temporal parameters during unconstrained walking. *En: European Journal of Applied Physiology*. No. (2004); p. 39-44.
96. ZIJLSTRA, W. ; RUTGERS, A.W.F.; HOF, A.L. y VAN WEERDEN, T.W. Voluntary and involuntary adaptation of walking to temporal and spatial constraints. *En: Gait and Posture*. No. 3 (1995); p. 13-18.

Jesús Cámara

Doctor en Fisiología del Ejercicio. Licenciado en Ciencias del Ejercicio de la Actividad Física y del Deporte. Profesor de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea. Miembro de los grupo de Investigación del Laboratorio de Biomecánica y Fisiología de la Facultad de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea. España y del Grupo de investigación del Servicio de Rehabilitación del Hospital de Basurto. España.