

Influencia de la estatura en el patrón de la marcha de hombres y mujeres

Influence of Height on the Gait Patterns of Men and Women

MARÍA GÓMEZ-JIMÉNEZ

Departamento de Salud y Rendimiento Humano

CRISTINA LÓPEZ DE SUBIJANA-HERNÁNDEZ

Departamento de Ciencias Sociales de la Actividad Física, del Deporte y del Ocio

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte
Universidad Politécnica de Madrid (España)

Correspondencia con autora

María Gómez Jiménez
maria.gomez@upm.es

Resumen

Introducción. Tradicionalmente se han desarrollado bases de datos biomecánicas para hombres y mujeres donde se han identificado las diferencias en los patrones de marcha. La descripción de un patrón por sexo está basada en la premisa de que las medidas antropométricas, como la estatura, no influyen en los parámetros de la marcha humana tras la normalización. El objetivo del estudio fue examinar las diferencias en la marcha entre grupos de estatura. **Métodos.** Se analizaron los parámetros espacio-temporales y cinemáticos de 29 mujeres y 31 hombres, distribuidos en grupos considerando los percentiles 25, 50 y 75 de estatura de la población española. Las medidas se recogieron utilizando un sistema de captura de movimiento 3D (VICON). Se realizaron comparaciones de medias entre grupos de estatura (Kruskal-Wallis) ($\alpha = 0,05$). **Resultados.** Los resultados indicaron que las mujeres con mayor y menor estatura presentaban porcentajes mayores de apoyo ($p = 0,031$) debido al aumento del tiempo de doble apoyo ($p = 0,020$). Las mujeres en los grupos centrales de estatura mostraron un adelanto del despegue del pie del suelo ($p = 0,018$), ocasionado por la ligera disminución de la fase de apoyo. Los hombres con menor estatura mostraron mayor flexión plantar de tobillo que los hombres altos ($p = 0,033$), debido a que la menor longitud de pie implicó la necesidad de una mayor extensión de tobillo en el despegue del pie. La estatura debería considerarse en el estudio de la marcha, por su utilidad en la planificación de programas de tratamiento, la adaptación de exoesqueletos de reeducación de la marcha o el diseño de ortesis y prótesis.

Palabras clave: análisis de la marcha, estatura, percentiles estatura, cinemática, espacio-temporal

Abstract

Influence of Height on the Gait Patterns of Men and Women

Introduction. Separate biomechanical reference databases have traditionally been developed for men and women by identifying differences in gait pattern. However, describing a single pattern per sex is based on the premise that anthropometric measures such as height do not influence gait pattern once the variables are standardized. The purpose of this study was to analyze and describe gait pattern differences between height groups in normal walking. **Methods.** Using a 3D optoelectronic motion capture system, the spatial, time and kinematic gait parameters were measured in 29 women and 31 men selected and distributed in groups considering the 25th, 50th and 75th percentiles of height for the Spanish population. A comparison of means between height groups was analyzed (Kruskal-Wallis) ($\alpha = 0.05$). **Results.** The results indicated that taller and shorter women showed a higher percentage of support ($p = 0.031$) due to the greater double support time. Women of the medium height groups presented an earlier toe off ($p = 0.018$) because of the shorter support phase. Shorter men showed greater ankle plantar flexion than taller men ($p = 0.033$) as shorter foot length entailed the need for greater ankle extension in toe off. In conclusion, height should be taken into account when describing gait patterns because it would be useful in planning treatment strategies, adapting robotic exoskeletons for gait re-education and the design of orthoses and prostheses.

Keywords: gait analysis, height, height percentiles, kinematics, space and time

Introducción

Desde la década de los 60, las diferencias en la marcha humana y la influencia de factores como la velocidad, la edad o el sexo han sido examinados y descritos con el objetivo de identificar patrones de la marcha normal diferenciados (Murray, Drought, & Kory,

1964; Murray, Kory, & Sepic, 1970). El análisis de los patrones de la marcha en función del sexo se ha vuelto más popular e importante desde el desarrollo de los sistemas optoelectrónicos de análisis de movimiento 3D en los años 90. Estos sistemas de captura se han utilizado como herramienta para la evaluación y planificación de

tratamientos o para recopilar información de referencia de población sana. Quedando constancia de las diferencias en el patrón de la marcha entre sexos, tradicionalmente se han desarrollado de forma separada bases de datos biomecánicos para hombres y mujeres donde se han identificado las diferencias en los parámetros espacio-temporales y cinemáticos de la pelvis, centro de gravedad, cadera, rodilla y tobillo (Bruening, Frimenko, Goodyear, Bowden, & Fullenkamp, 2015; Chiu, Wu, & Chang, 2013; Cho, Park, & Kwon, 2004; Frimenko, Goodyear, & Bruening, 2015; Kerrigan, Todd, & Della Croce, 1998; Nigg, Fisher, & Ronsky, 1994; Røislien et al., 2009). Estos estudios señalan como características más diferenciadoras entre los patrones de hombres y mujeres el mayor rango de movimiento de la pelvis en el plano frontal en las mujeres y del centro de gravedad en los hombres (Bruening et al., 2015; Mather & Murdoch, 1994; Murray et al., 1964; Murray et al., 1970; Smith, Lelas, & Kerrigan, 2002; Troje, 2002).

Aunque la descripción de un único patrón para hombres y otro patrón para mujeres está basada en la premisa de que las medidas antropométricas, como la estatura, una vez que las variables están normalizadas, no influyen sobre parámetros de la marcha humana como lo hace el sexo (Hof, 1996; Pierrynowski & Galea, 2001). Algunos estudios se han centrado en otros parámetros antropométricos, en la influencia del peso corporal en el patrón de la marcha humana (Spyropoulos, Pisciotto, Pavlou, Cairns, & Simon, 1997; Ranavolo et al., 2013;

Lerner, Board, & Browning, 2014), pero ninguno ha descrito las posibles modificaciones en el patrón normal de la marcha en un mismo sexo debidas a la estatura.

Una descripción más exhaustiva de estas diferencias podría beneficiar a numerosas áreas de estudio, como la planificación de programas quirúrgicos, de rehabilitación, la adaptación personalizada de exoesqueletos para la reeducación de la marcha y la bipedestación, el diseño de ortesis y prótesis articulares o el diseño de planes de reentrenamiento tras lesiones articulares o musculares. Se estableció, por tanto, como objetivo del estudio el examinar y describir las diferencias en el patrón de la marcha humana entre grupos de estatura de hombres y mujeres de manera independiente. La hipótesis del presente estudio es que los parámetros espacio-temporales y cinemáticos de la marcha humana a velocidad normal en sujetos sanos podrían verse influenciados por la estatura de los sujetos independientemente de la normalización en función de las medidas antropométricas.

Material y métodos

Muestra

Se seleccionaron y analizaron a 62 sujetos, 29 mujeres ($26,10 \pm 8,18$ años; $55,88 \pm 4,97$ kg y $165,30 \pm 4,96$ cm) y 33 hombres ($24,00 \pm 4,37$ años; $72,15 \pm 6,84$ kg y $177,42 \pm 6,07$ cm) distribuidos en grupos considerando los percentiles 25, 50 y 75 de estatura de la población española (tabla 1). El primer grupo (H1 y M1) correspondió a

	Hombres (media \pm DE)			
	H1	H2	H3	H4
Estatura del grupo (cm)	< 172,9	172,9 - 177	177 - 181,4	> 181,4
Número de sujetos	7	9	10	7
Edad (años)	26,00 \pm 5,45	23,29 \pm 5,88	23,86 \pm 2,27	22,80 \pm 2,97
Peso corporal (kg)	66,76 \pm 3,55	72,39 \pm 5,31	73,07 \pm 6,65	76,21 \pm 7,67
Estatura (cm)	169,86 \pm 1,71	175,26 \pm 1,48	179,29 \pm 0,95	184,45 \pm 2,80
Longitud de pierna (cm)	87,13 \pm 3,04	90,68 \pm 1,78	92,54 \pm 3,00	96,53 \pm 4,22
Anchura de pelvis (cm)	22,89 \pm 2,23	23,86 \pm 1,18	24,93 \pm 1,27	22,80 \pm 1,70
	Mujeres (media \pm DE)			
	M1	M2	M3	M4
Estatura del grupo (cm)	< 159,8	159,8 - 163,8	163,8 - 167,9	> 167,9
Número de sujetos	6	8	9	6
Edad (años)	27,67 \pm 5,69	28,50 \pm 10,36	24,78 \pm 7,29	24,78 \pm 8,26
Peso corporal (kg)	53,13 \pm 5,33	51,86 \pm 4,71	56,89 \pm 3,95	59,34 \pm 3,26
Estatura (cm)	158,10 \pm 0,53	161,11 \pm 1,54	165,59 \pm 1,43	171,14 \pm 2,53
Longitud de pierna (cm)	82,00 \pm 1,00	82,25 \pm 2,02	86,26 \pm 1,78	88,33 \pm 2,78
Anchura de pelvis (cm)	20,50 \pm 1,00	21,19 \pm 1,85	22,17 \pm 1,75	23,29 \pm 1,66

Tabla 1. Características demográficas de la muestra

sujetos situados por debajo del percentil 25 (<172,9 para hombres y <159,8 para mujeres), el segundo grupo (H2 y M2) se encontró entre los percentiles 25 y 50 (172,9-177 para hombres y 159,8-163,8 para mujeres), el tercer grupo (H3 y M3) lo formaron sujetos que se encontraron entre los percentiles 50 y 75 (177-181,4 para hombres y 163,8-167,9 para mujeres) y el cuarto grupo (H4 y M4) sujetos ubicados por encima del percentil 75 (>181,4 para hombres y >167,9 para mujeres) de la estatura de la población española (Carrascosa et al., 2008). Los sujetos presentaron normopeso, encontrándose los valores de índice de masa corporal entre 18,5 y 24,9 kg/m². Todos los sujetos participaron de forma voluntaria y firmaron el consentimiento informado para la realización de las pruebas. Los protocolos aplicados fueron previamente aprobados por el Comité de Ética de la Universidad Politécnica de Madrid. Se establecieron como criterios de inclusión el no padecer patologías crónicas del sistema musculoesquelético y no haber sufrido lesiones recientemente.

Análisis de la marcha

Se solicitó a los sujetos caminar descalzos en un pasillo de marcha de 10 metros de longitud a velocidad normal, la velocidad que libremente seleccionasen. Se grabaron tres pruebas para cada sujeto que incluían un ciclo de la marcha derecho e izquierdo cada una. Para ello se utilizó el sistema opto-electrónico 3D de captura de movimiento VICON (Vicon Motion System, Oxford, UK) compuesto por 6 cámaras infrarrojas a 120 Hz, y un total de 19 marcadores reflectantes (14 mm de diámetro) situados de forma bilateral en puntos anatómicos siguiendo el modelo Plug in Gait de VICON. Se situaron marcadores en la parte posterior del talón, en las cabezas del 2º metatarsiano, en maléolo externo de tobillos siguiendo el eje transmaleolar, línea media lateral de pierna, cóndilo externo de fémur sobre el eje de flexo-extensión (medio-lateral) de la rodilla, línea media lateral del muslo, parte anterior de espaldas ilíacas anterosuperiores (EIAS), espaldas ilíacas posterosuperiores (EIPS), apófisis espinosa de la 7ª vértebra cervical y 10ª vértebra dorsal, y en la escotadura yugular.

Las variables se obtuvieron de una media de tres ciclos de la marcha de cada lado y normalizadas al 0-100 % del ciclo. Las variables espacio-temporales que se obtuvieron fueron: velocidad (cm/s), cadencia (pasos/min), longitud de paso (cm), longitud de zancada (cm), anchura de paso (cm), porcentaje de apoyo en el ciclo (%), porcentaje de oscilación en el ciclo (%), tiempo de apoyo en el ciclo (s), tiempo de oscilación en el ciclo (s), tiempo de paso (s), tiempo de zancada (s), tiempo de apoyo monopodal (s) y

tiempo de doble apoyo (s). La velocidad, longitud de paso y longitud de zancada se normalizaron en función de la estatura y de la longitud de pierna. La anchura de paso se normalizó en función de la anchura de la pelvis, determinada por la distancia entre EIAS (Hof, 1996; Pierrynowski & Galea, 2001).

Los parámetros cinemáticos que se obtuvieron fueron: el rango de movimiento del centro de gravedad en el plano frontal (movimiento lateral, mm) y en el plano sagital (movimiento craneocaudal, mm), el rango de movimiento de la pelvis en los tres planos (°): sagital (anteversión y retroversión), frontal (caída lateral de la pelvis) y transversal (oblicuidad). En la cinemática de la flexo-extensión de cadera, rodilla y tobillo se seleccionaron datos discretos (máximos, mínimos y apoyo inicial) de las curvas ángulo articular/porcentaje ciclo, siendo estos datos los que describían con mayor exactitud la curva. Se analizaron, por tanto, los grados de flexión máxima y mínima de cadera, rodilla y tobillo (°) y el momento del ciclo en el que sucedían (% del ciclo), y los grados de flexión de cadera, rodilla y tobillo (°) en el momento del contacto del talón (0% del ciclo).

Análisis estadístico

Todos los análisis estadísticos se realizaron con el *software* SPSS v.21 (SPSS Inc., Chicago, IL, United States). Se calcularon medias y desviaciones estándar (media \pm DE).

Para establecer los patrones de marcha normal en función de la estatura se realizaron comparaciones de medias entre grupos de estatura de forma separada por sexo (Kruskal-Wallis). Todas las pruebas utilizadas fueron no paramétricas ya que algunas de las variables no se correspondían con una distribución normal (Kolmogorov-Smirnov). El nivel alfa de significación se estableció en 0.05 para todas las pruebas estadísticas.

Resultados

Cada uno de los resultados se analizó entre los grupos de estatura de forma separada para cada sexo (H1, H2, H3 y H4 para los hombres y M1, M2, M3 y M4 para las mujeres).

Hombres

Parámetros espacio-temporales (tabla 2)

La longitud de paso (cm) se presentó diferente en los grupos de estatura de los hombres, siendo los valores en

	H1	H2	H3	H4	p	$\chi^2(3)$
	Media \pm DE	Media \pm DE	Media \pm DE	Media \pm DE		
Velocidad (cm/s)	125,72 \pm 10,84	132,77 \pm 14,61	118,65 \pm 17,86	143,05 \pm 27,36	0,167	5,07
Velocidad/Estatura	0,74 \pm 0,06	0,76 \pm 0,08	0,66 \pm 0,10	0,78 \pm 0,15	0,157	5,21
Velocidad/Long. de la pierna	1,44 \pm 0,14	1,46 \pm 0,17	1,29 \pm 0,24	1,49 \pm 0,30	0,247	4,14
Cadencia (pasos/min)	113,18 \pm 5,47	113,00 \pm 8,44	108,83 \pm 10,63	116,21 \pm 10,37	0,582	1,95
Long. del paso (cm) ^{*a}	66,89 \pm 3,14	70,41 \pm 5,44	65,28 \pm 4,20	73,71 \pm 8,52	0,047	7,95
Long. del paso/Estatura	0,39 \pm 0,02	0,40 \pm 0,03	0,36 \pm 0,02	0,40 \pm 0,05	0,107	6,11
Long. del paso/Long. de la pierna	0,77 \pm 0,05	0,78 \pm 0,07	0,71 \pm 0,07	0,76 \pm 0,09	0,138	5,52
Long. de zancada (cm) ^{*a,b}	133,39 \pm 6,06	141,43 \pm 10,97	130,67 \pm 8,93	147,70 \pm 17,50	0,035	8,60
Long. de zancada/Estatura	0,79 \pm 0,03	0,81 \pm 0,06	0,73 \pm 0,05	0,80 \pm 0,10	0,095	6,38
Long. de zancada/Long. de la pierna	1,53 \pm 0,09	1,56 \pm 0,13	1,42 \pm 0,14	1,53 \pm 0,19	0,141	5,47
Anch. del paso (cm)	13,43 \pm 1,81	14,00 \pm 2,24	12,09 \pm 2,73	12,20 \pm 2,78	0,354	3,26
Anch. del paso/Anch. de la pelvis	0,59 \pm 0,08	0,59 \pm 0,11	0,49 \pm 0,11	0,54 \pm 0,14	0,321	3,50
Porcentaje de apoyo (%)	59,37 \pm 1,58	59,25 \pm 0,083	59,97 \pm 1,69	58,22 \pm 1,33	0,056	7,56
Porcentaje de oscilación (%)	40,63 \pm 1,58	40,75 \pm 0,83	40,03 \pm 1,69	41,78 \pm 1,33	0,056	7,56
Tiempo de apoyo (s)	0,63 \pm 0,04	0,63 \pm 0,05	0,67 \pm 0,09	0,61 \pm 0,06	0,444	2,68
Tiempo de oscilación (s)	0,43 \pm 0,02	0,44 \pm 0,04	0,45 \pm 0,03	0,44 \pm 0,03	0,924	0,48
Tiempo de paso (s)	0,53 \pm 0,3	0,53 \pm 0,04	0,56 \pm 0,06	0,52 \pm 0,05	0,573	2,00
Tiempo de zancada (s)	1,07 \pm 0,05	1,07 \pm 0,08	1,12 \pm 0,12	1,05 \pm 0,09	0,59	1,91
Tiempo de apoyo monopodal (s)	0,53 \pm 0,03	0,54 \pm 0,04	0,56 \pm 0,06	0,53 \pm 0,04	0,691	1,46
Tiempo de doble apoyo (s)	0,10 \pm 0,02	0,10 \pm 0,01	0,11 \pm 0,03	0,09 \pm 0,02	0,232	4,29

* $p < 0,05$. ^a H4 > H3. ^b H4 > H1.

Tabla 2. Parámetros espacio-temporales de los hombres durante la marcha normal

el grupo H4 mayores que los del grupo H3. La longitud de zancada (cm) presentó diferencias en los grupos por estatura de los hombres, teniendo valores mayores en el grupo H4 que en los grupos H1 y H3. Como se muestra en la *tabla 2*, no se encontraron diferencias en el resto de variables espacio-temporales entre los grupos de estatura de los hombres.

Parámetros cinemáticos (tabla 3)

Existen diferencias en los grados de máxima extensión de tobillo entre los grupos por estatura de los hombres. El grupo H1 presentó valores inferiores que los grupos H4 y H3. Los hombres no presentaron diferencias entre los grupos de estatura en la cinemática de la pelvis, centro de gravedad, cadera y rodilla. Y tampoco en el resto de parámetros del tobillo, como se muestra en la *tabla 3*.

Mujeres

Parámetros espacio-temporales (tabla 4)

Las mujeres mostraron diferencias en el porcentaje del ciclo de apoyo entre los grupos de estatura de las mujeres, siendo los grupos M1 y M4 mayores que el

grupo M2. El porcentaje del ciclo en oscilación también presentó diferencias entre las mujeres, mostrando valores mayores en el grupo M2 que en los grupos M1 y M4. El tiempo de doble apoyo mostró valores mayores en los grupos M1 y M4 que en el grupo M2. El resto de parámetros espacio-temporales no presentaron diferencias entre los grupos por estatura de las mujeres como se muestra en la *tabla 4*.

Parámetros cinemáticos (tabla 5)

Se mostraron diferencias en el rango de movimiento de la pelvis en el plano sagital (anteversión y retroversión) entre los diferentes grupos por estaturas en mujeres. Los grupos M2, M3 y M4 presentaron mayor amplitud de movimiento que el grupo M1. Además, en relación a la cinemática del tobillo, las mujeres pertenecientes al grupo M2 presentaron la máxima extensión del tobillo antes que las mujeres de los grupos M4 y M1. No se revelaron diferencias entre los grupos por estatura de las mujeres, como se puede ver en la *tabla 5*, en la cinemática de la pelvis en los planos frontal y transversal, en el movimiento del centro de gravedad, en la cinemática de la cadera y la rodilla, y en el resto de parámetros cinemáticos del tobillo.

	H1	H2	H3	H4	p	$\chi^2(3)$
	Media \pm DE	Media \pm DE	Media \pm DE	Media \pm DE		
CG lateral (mm)	63,11 \pm 12,45	60,06 \pm 11,80	67,72 \pm 9,91	58,31 \pm 10,44	0,061	3,02
CG vertical (mm)	41,28 \pm 5,17	48,82 \pm 9,08	37,95 \pm 5,45	47,25 \pm 9,41	0,389	7,38
Pelvis plano frontal (°)	12,05 \pm 3,41	12,43 \pm 3,43	9,63 \pm 2,94	12,69 \pm 3,47	0,36	3,21
Pelvis plano sagital (°)	2,79 \pm 0,68	3,74 \pm 1,23	3,43 \pm 0,84	3,44 \pm 0,96	0,289	3,76
Pelvis plano transversal (°)	9,51 \pm 2,29	9,41 \pm 3,97	8,58 \pm 1,92	9,44 \pm 3,02	0,785	1,07
Flexión máx. cadera (°)	43,06 \pm 6,53	46,02 \pm 6,80	39,44 \pm 4,58	43,55 \pm 4,56	0,281	3,82
Flexión máx. cadera (%)	87,14 \pm 2,67	88,53 \pm 4,02	89,91 \pm 5,16	87,04 \pm 2,14	0,761	1,17
Extensión máx. cadera (°)	-3,01 \pm 4,30	0,01 \pm 9,56	-3,37 \pm 4,31	-1,21 \pm 5,08	0,641	1,68
Extensión máx. cadera (%)	50,81 \pm 1,33	51,62 \pm 0,92	51,50 \pm 1,29	49,84 \pm 1,46	0,056	7,57
Flexión cadera CI (°)	39,53 \pm 4,36	42,70 \pm 7,16	36,17 \pm 5,32	39,75 \pm 4,48	0,235	4,25
Flexión máx. rodilla (°)	65,95 \pm 5,83	66,00 \pm 4,59	66,14 \pm 3,11	66,94 \pm 3,27	0,943	0,39
Flexión máx. rodilla (%)	70,80 \pm 1,54	70,81 \pm 1,08	70,93 \pm 1,27	69,87 \pm 1,01	0,348	3,30
Extensión máx. rodilla (°)	4,96 \pm 3,80	5,56 \pm 5,34	5,90 \pm 4,34	6,57 \pm 3,36	0,620	1,78
Extensión máx. rodilla (%)	39,71 \pm 1,44	38,58 \pm 1,31	38,19 \pm 2,65	38,08 \pm 1,16	0,150	5,32
Flexión rodilla CI (°)	8,11 \pm 3,27	7,24 \pm 4,60	10,10 \pm 3,63	9,27 \pm 3,74	0,560	2,06
Flexión máx. tobillo (°)	15,82 \pm 2,05	15,92 \pm 3,12	16,40 \pm 3,71	17,28 \pm 2,21	0,462	2,58
Flexión máx. tobillo (%)	44,10 \pm 2,97	44,17 \pm 1,63	47,45 \pm 6,1	42,47 \pm 5,49	0,394	2,99
Extensión máx. tobillo (°)* ^a	-15,15 \pm 3,52	-14,90 \pm 5,01	-9,94 \pm 3,26	-10,70 \pm 4,37	0,033	8,74
Extensión máx. tobillo (%)	62,96 \pm 1,40	62,87 \pm 1,46	63,09 \pm 1,21	61,69 \pm 1,36	0,208	4,55
Flexión tobillo CI (°)	3,98 \pm 2,23	3,81 \pm 2,56	5,71 \pm 2,92	6,06 \pm 3,06	0,260	4,01

* $p < 0,05$. ^a H1 > H4; H1 > H3.

Tabla 3. Parámetros cinemáticos de los hombres durante la marcha normal

Discusión

El objetivo del presente estudio fue examinar las diferencias en el patrón de la marcha entre sujetos sanos agrupados por estatura durante la marcha normal, en hombres y mujeres de manera independiente. Estudios previos parten de la premisa de que las variaciones en la estatura no influyen en el patrón de marcha una vez normalizados los datos en función de las medidas antropométricas de los sujetos (Hof, 1996; Pierrynowski & Galea, 2001). Los resultados del presente estudio revelan la influencia de la estatura en algunos de los parámetros espacio-temporales y cinemáticos de la marcha independientemente de la normalización.

En los parámetros espacio-temporales se muestra la influencia de la normalización (Hof, 1996; Pierrynowski & Galea, 2001), como se puede comprobar en el caso concreto de la longitud de paso y de zancada en los hombres. La longitud de paso y la longitud de zancada presentan valores más altos en los hombres con estatura mayor (H4), diferencia que no aparece cuando los parámetros son normalizados en función de la estatura o en función de la longitud de pierna (Hof, 1996). Este hecho hace señalar que podrían seleccionarse indistintamente

la estatura o longitud de pierna como parámetro antropométrico para la normalización tanto en hombres como en mujeres. Se pueden observar que parámetros como la velocidad, la longitud de paso y la longitud de zancada no presentan diferencias entre los grupos de estatura, en hombres y en mujeres, tanto si han sido normalizados con la estatura como con la longitud de pierna.

Las mujeres presentan diferencias entre los grupos en función de la estatura en la distribución de los porcentajes de apoyo y oscilación (%). Las mujeres con estatura mayor (M4) y menor (M1) presentan porcentajes de apoyo ligeramente superiores, y porcentajes de oscilación inferiores, a las mujeres pertenecientes a los grupos centrales de estatura (M2-M3), que presentan un patrón apoyo-oscilación (%) similar al de los hombres. Esta modificación puede ser debida al aumento fundamentalmente del tiempo de doble apoyo, ya que el tiempo de apoyo monopodal y el tiempo total de apoyo presentan también diferencias pero no significativas. Aunque las diferencias en el patrón apoyo-oscilación (%) se muestran estadísticamente significativas, los valores distan escasamente en torno a 1,5% del ciclo, y todos los grupos se encuentran en los estándares normales de la marcha (Perry, 1992).

	M1	M2	M3	M4	p	$\chi^2(3)$
	Media \pm DE	Media \pm DE	Media \pm DE	Media \pm DE		
Velocidad (cm/s)	116,29 \pm 21,93	143,48 \pm 17,43	136,88 \pm 23,88	128,53 \pm 14,43	0,219	4,42
Velocidad/Estatura	0,74 \pm 0,14	0,89 \pm 0,11	0,83 \pm 0,14	0,75 \pm 0,09	0,111	6,02
Velocidad/Long. de la pierna	1,42 \pm 0,28	1,74 \pm 0,21	1,59 \pm 0,27	1,46 \pm 0,19	0,069	7,09
Cadencia (pasos/min)	111,97 \pm 13,68	123,55 \pm 6,99	120,04 \pm 11,26	112,63 \pm 8,94	0,112	5,98
Long. del paso (cm)	61,81 \pm 4,13	70,23 \pm 5,07	68,41 \pm 6,53	68,69 \pm 4,45	0,108	6,07
Long. del paso/Estatura	0,39 \pm 0,02	0,44 \pm 0,03	0,41 \pm 0,04	0,40 \pm 0,03	0,106	6,12
Long. del paso/Long. de la pierna	0,75 \pm 0,06	0,85 \pm 0,06	0,79 \pm 0,08	0,78 \pm 0,07	0,074	6,94
Long. de zancada (cm)	124,03 \pm 8,58	139,58 \pm 10,61	136,57 \pm 12,81	137,16 \pm 8,29	0,207	4,56
Long. de zancada/Estatura	0,78 \pm 0,05	0,87 \pm 0,07	0,82 \pm 0,08	0,80 \pm 0,06	0,152	5,29
Long. de zancada/Long. de la pierna	1,51 \pm 0,12	1,70 \pm 0,13	1,58 \pm 0,15	1,56 \pm 0,14	0,095	6,36
Anch. del paso (cm)	10,11 \pm 1,85	11,13 \pm 1,22	11,21 \pm 2,60	9,63 \pm 2,09	0,205	4,58
Anch. del paso/Anch. de la pelvis	0,49 \pm 0,07	0,53 \pm 0,08	0,51 \pm 0,16	0,42 \pm 0,10	0,107	6,11
Porcentaje de apoyo (%) ^a	61,15 \pm 1,28	58,97 \pm 0,86	60,01 \pm 1,64	60,63 \pm 0,85	0,031	8,84
Porcentaje de oscilación (%) ^b	38,85 \pm 1,28	41,03 \pm 0,86	39,99 \pm 1,64	39,37 \pm 0,85	0,031	8,84
Tiempo de apoyo (s)	0,66 \pm 0,09	0,58 \pm 0,4	0,61 \pm 0,06	0,65 \pm 0,06	0,068	7,11
Tiempo de oscilación (s)	0,42 \pm 0,04	0,40 \pm 0,02	0,40 \pm 0,04	0,42 \pm 0,03	348	3,30
Tiempo de paso (s)	0,54 \pm 0,07	0,49 \pm 0,03	0,50 \pm 0,05	0,54 \pm 0,05	0,93	6,42
Tiempo de zancada (s)	1,08 \pm 0,13	0,98 \pm 0,05	1,01 \pm 0,10	1,08 \pm 0,09	0,73	6,95
Tiempo de apoyo monopodal (s)	0,54 \pm 0,06	0,49 \pm 0,03	0,51 \pm 0,05	0,54 \pm 0,04	0,087	6,56
Tiempo de doble apoyo (s) ^a	0,12 \pm 0,03	0,09 \pm 0,01	0,10 \pm 0,02	0,12 \pm 0,02	0,02	9,88

* $p < 0,05$. ^a M1 > M2; M4 > M2. ^b M2 > M1; M2 > M4.

Tabla 4. Parámetros espacio-temporales de las mujeres durante la marcha normal

	M1	M2	M3	M4	p	$\chi^2(3)$
	Media \pm DE	Media \pm DE	Media \pm DE	Media \pm DE		
CG lateral (mm)	56,36 \pm 7,92	45,48 \pm 11,092	49,25 \pm 8,79	49,11 \pm 11,14	0,507	2,33
CG vertical (mm)	42,86 \pm 13,10	44,33 \pm 10,50	46,07 \pm 11,41	44,44 \pm 9,56	0,935	0,43
Pelvis plano frontal (°)	13,50 \pm 0,36	15,15 \pm 2,56	16,19 \pm 4,59	15,68 \pm 3,15	0,818	0,93
Pelvis plano sagital (°) ^a	2,24 \pm 0,42	3,85 \pm 0,78	3,57 \pm 1,35	3,21 \pm 0,83	0,046	7,98
Pelvis plano transversal (°)	6,48 \pm 1,59	11,11 \pm 3,25	9,29 \pm 2,90	9,49 \pm 2,78	0,129	5,67
Flexión máx. cadera (°)	50,07 \pm 3,69	51,76 \pm 7,38	52,38 \pm 7,53	50,88 \pm 5,98	0,963	0,28
Flexión máx. cadera (%)	87,04 \pm 2,40	86,62 \pm 3,76	85,42 \pm 6,66	85,68 \pm 1,42	0,792	1,04
Extensión máx. cadera (°)	5,63 \pm 2,62	1,36 \pm 10,51	4,06 \pm 6,39	3,73 \pm 4,59	0,848	0,81
Extensión máx. cadera (%)	52,42 \pm 0,78	50,15 \pm 0,85	50,35 \pm 1,08	50,98 \pm 1,33	0,054	7,65
Flexión cadera CI (°)	48,11 \pm 3,97	47,69 \pm 7,24	48,39 \pm 7,47	46,90 \pm 7,47	0,955	0,33
Flexión máx. rodilla (°)	62,82 \pm 2,21	69,22 \pm 3,23	69,41 \pm 4,63	69,60 \pm 4,48	0,175	4,96
Flexión máx. rodilla (%)	72,32 \pm 0,44	70,69 \pm 1,43	70,81 \pm 1,71	71,63 \pm 0,95	0,159	5,18
Extensión máx. rodilla (°)	8,17 \pm 1,82	7,14 \pm 4,13	8,57 \pm 2,75	8,34 \pm 2,48	0,824	0,91
Extensión máx. rodilla (%)	38,12 \pm 2,60	37,70 \pm 1,90	37,36 \pm 2,18	38,98 \pm 2,15	0,554	2,09
Flexión rodilla CI (°)	10,82 \pm 1,24	11,17 \pm 2,48	13,37 \pm 4,61	12,20 \pm 2,87	0,771	1,13
Flexión máx. tobillo (°)	17,37 \pm 3,60	15,22 \pm 4,42	16,82 \pm 3,36	15,47 \pm 2,02	0,654	1,62
Flexión máx. tobillo (%)	43,74 \pm 2,55	47,35 \pm 20,65	43,74 \pm 4,89	44,98 \pm 1,74	0,73	1,30
Extensión máx. tobillo (°)	-16,12 \pm 3,56	-20,66 \pm 6,36	-15,99 \pm 8,42	-18,71 \pm 3,59	0,638	1,70
Extensión máx. tobillo (%) ^b	63,01 \pm 1,32	60,59 \pm 1,20	61,58 \pm 1,90	63,07 \pm 1,44	0,018	10,09
Flexión tobillo CI (°)	3,45 \pm 5,16	4,77 \pm 3,91	5,39 \pm 3,64	2,66 \pm 2,44	0,452	2,63

* $p < 0,05$. ^a M2 > M1; M3 > M1; M4 > M1. ^b M1 > M2; M4 > M2.

Tabla 5. Parámetros cinemáticos de las mujeres durante la marcha normal

Los parámetros cinemáticos de cadera y rodilla no muestran diferencias en hombres y en mujeres en función de la estatura. Únicamente la articulación del tobillo, más distal y con menor control y mayor variabilidad de movimiento muestra diferencias significativas. En los hombres se presenta una extensión mayor del tobillo, flexión plantar, de aproximadamente 5° en los hombres pertenecientes a los grupos con estaturas menores (H1 y H2), lo que podría explicarse de igual manera que se explica la mayor extensión del tobillo que presentan las mujeres durante el momento del despegue del pie (Bruening et al., 2015; Kerrigan et al., 1998; Roislien et al., 2009). Sujetos con pies proporcionalmente menores podrían tener la necesidad de incrementar la extensión del tobillo durante la fase de despegue del pie con la intención de mantener la efectividad del patrón cinemático de la rodilla y cadera en la fase de oscilación de la marcha (Bruening et al., 2015). El tobillo de las mujeres de los grupos centrales de estatura (M2 y M3) muestra un adelanto en el momento de despegue del pie del suelo, en el que se encuentra la máxima flexión, con respecto a los grupos extremos (M1 y M4), y que tiene su explicación en el ligero acortamiento de la fase de apoyo, mencionada con anterioridad, debido al menor tiempo de doble apoyo.

Además, las mujeres presentan diferencias en el patrón cinemático de la pelvis en el plano sagital (movimientos de anteversión y retroversión). Las mujeres pertenecientes al grupo de estatura más baja (M1) muestran entre 1° y 1,5° menor rango de movimiento de anteversión-retroversión de la pelvis que el resto de grupos, hecho que estaría directamente relacionado con la movimiento de la cadera y la longitud de paso, que también se muestran menores, aunque no significativamente, que en el resto de grupos.

En conclusión, además de las diferencias debidas a las características anatómicas, biomecánicas y sociales de cada sexo, la estatura debería tenerse en consideración cuando se describen los patrones normales de la marcha en adultos sanos. Específicamente los parámetros cinemáticos del tobillo de hombres y mujeres, y la cinemática de la pelvis en el plano sagital y el patrón apoyo-oscilación (%) en las mujeres, ya que podrían aportar una nueva percepción acerca de la marcha humana y serían importantes para la mejora de las bases de datos de marcha normal de hombres y mujeres.

Conflicto de intereses

Las autoras declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- Bruening, D. A., Frimenko, R. E., Goodyear, C. D., Bowden, D. R., & Fullenkamp, A. M. (2015). Sex differences in whole body gait kinematics at preferred speeds. *Gait & Posture*, *41*, 540-545. doi:10.1016/j.gaitpost.2014.12.011
- Carrascosa, A., Fernández, J. M., Fernández, C., Ferrández, A., López-Siguero, J. P., Sánchez, E., ... Yeste, Y. D. (2008). Estudios españoles de crecimiento 2008. Nuevos patrones antropométricos. *Endocrinología y Nutrición*, *55*(10), 484-506. doi:10.1016/S1575-0922(08)75845-5
- Chiu, M. C., Wu, H. C., & Chang, L. Y. (2013). Gait speed and gender effects on center of pressure progression during normal walking. *Gait & Posture*, *37*, 43-48. doi:10.1016/j.gaitpost.2012.05.030
- Cho, S. H., Park, J. M., & Kwon, O. Y. (2004). Gender differences in three dimensional gait analysis data from 98 healthy Korean adults. *Clinical Biomechanics*, *19*, 145-152. doi:10.1016/j.clinbiomech.2003.10.003
- Frimenko, R., Goodyear, C., & Bruening, D. (2015). Interactions of sex and aging on spatiotemporal metrics in non-pathological gait: a descriptive meta-analysis. *Journal of Physiotherapy*, *101*(3), 266-272. doi:10.1016/j.physio.2015.01.003
- Hof, A. L. (1996). Scaling gait data to body size. *Gait & Posture*, *4*, 222-223. doi:10.1016/0966-6362(95)01057-2
- Kerrigan, D. C., Todd, M. K., & Della Croce, U. (1998). Gender differences in joint biomechanics during walking: normative study in young adults. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, *77*(1), 2-7. doi:10.1097/00002060-199801000-00002
- Lerner, Z. F., Board, W. J., & Browning, R. C. (2014). Effects of obesity on lower extremity muscle function during walking at two speeds. *Gait & Posture*, *39*, 978-984. doi:10.1016/j.gaitpost.2013.12.020
- Mather, G., & Murdoch, L. (1994). Gender discriminations in biological motion displays based on dynamic cues. *Proceedings of the Royal Society of London B*, *258*, 273-279. doi:10.1098/rspb.1994.0173
- Murray, M. P., Drought, A. B., & Kory, R. C. (1964). Walking patterns of normal men. *Journal of Bone and Joint Surgery*, *46*(A), 335-360. doi:10.2106/00004623-196446020-00009
- Murray, M. P., Kory, R. C., & Sepic, S. B. (1970). Walking patterns of normal women. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *51*, 637-650.
- Nigg, B. M., Fisher, V. & Ronsky, J. L. (1994). Gait characteristics as a function of age and gender. *Gait & Posture*, *2*, 213-220. doi:10.1016/0966-6362(94)90106-6
- Perry, J. (1992). *Gait analysis normal and pathological function*. Thorofare, NJ: SLACK Inc.
- Pierrynowski, M. R., & Galea, V. (2001). Enhancing the ability of gait analyses to differentiate between groups: scaling data to body size. *Gait & Posture*, *13*, 193-201. doi:10.1016/S0966-6362(01)00097-2
- Ranavolo, A., Donini, L. M., Mari, S., Serrao, M., Silvetti, A., Iavicoli, S., ... Draicchio, F. (2013). Lower-limb joint coordination pattern in obese subjects. *BioMed Research International*, *2013*, 14-23. doi:10.1155/2013/142323
- Roislien, J., Skare, Ø., Gustavsen, M., Broch, N.L., Rennie, L. & Orpheim, A. (2009). Simultaneous estimation of effects of gender, age and walking speed on kinematic gait data. *Gait & Posture*, *30*, 441-445. doi:10.1016/j.gaitpost.2009.07.002
- Smith, L. K., Lelas, J. L., & Kerrigan, D. C. (2002). Gender differences in pelvic motions and center of mass displacement during walking: stereotypes quantified. *Journal of Women's Health and Gender-Based Medicine*, *11*, 453-458. doi:10.1089/15246090260137626
- Spyropoulos, P., Pisciotto, J. C., Pavlou, K. N., Cairns, M. A., & Simon, S. R. (1997). Biomechanical gait analysis in obese men. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *72*, 1065-1070.
- Troje, N.F. (2002). Decomposing biological motion: a framework for analysis and synthesis of human gait patterns. *Journal of Vision*, *2*, 371-387. doi:10.1167/2.5.2