

Physical Activity and Health

Comportamiento de la Pelvis, el Centro de Gravedad y la Cadera de Hombres y Mujeres Durante la Marcha Normal

Pelvis, center of gravity and hip movement of men and women during normal gait

Gomez Jiménez, María., López de Subijana Hernández, Cristina., Veiga Fernández, Santiago.

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte (INEF), Universidad Politécnica de Madrid.

Dirección de contacto: María Gómez Jiménez maria.gomez@upm.es

Fecha de recepción: 4 de Septiembre de 2015

Fecha de aceptación: 15 de Octubre de 2015

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue analizar las diferencias entre hombres y mujeres en los movimientos de la pelvis en el plano frontal, del centro de gravedad y la de cadera durante el ciclo de la marcha. Se solicitó a 33 hombres y 29 mujeres caminar a velocidad libremente seleccionada. Se grabaron tres ciclos a cada sujeto utilizando el sistema Vicon de captura de movimiento, y 19 marcadores reflectantes colocados en puntos anatómicos. Los resultados mostraron que los hombres realizaban mayor amplitud de movimiento lateral del centro de gravedad que las mujeres, mientras que las mujeres mostraron mayor amplitud de basculación lateral de la pelvis que los hombres. Además, las mujeres mostraron mayor aducción de cadera en la amortiguación ($p < 0.001$). Hombres y mujeres seleccionan estrategias diferentes para realizar el cambio de peso durante la marcha normal, los hombres mueven el tronco lateralmente, y, por el contrario, las mujeres realizan más basculación lateral de la pelvis combinada con una mayor aducción de cadera. El conocimiento de estas estrategias podría aplicarse a la evaluación, diferenciada por sexo, de las compensaciones producidas durante el proceso de rehabilitación, en planes de reentrenamiento, o en el abordaje del déficit de equilibrio y prevención de caídas.

Palabras Clave: cinemática, transferencia peso, sistema optoelectrónico.

ABSTRACT

The aim of the present study was to analyze the differences between men and women at movements of the pelvis in the center of gravity and hip. Thirty-three men and twenty-nine women were asked to walk barefoot along a 10-m walkway at a self-selected walking speed. Three gait cycles were recorded using a 3D optoelectronic motion capture system (Vicon Motion System) with nineteen reflective markers bilaterally attached to anatomical landmarks. The results showed that men had higher side-to-side movement of center of gravity than women, whereas women presented higher pelvic obliquity movement than men. Women also showed a greater hip adduction during loading response ($p < 0.001$). Men and women selected different ways of weight transfer during gait, men moved the trunk laterally, and women permitted the pelvic lateral drop in frontal plane with a higher hip adduction. The knowledge of the selected way of weight transfer during gait could be useful to evaluate, men and women, movement compensations during rehabilitation, functional recovery or balance disorders.

Keywords: kinematics, weight transfer, optoelectronic system.

INTRODUCCIÓN

El estudio de la trayectoria del centro de gravedad durante el ciclo de la marcha resulta ser un parámetro discriminante entre marcha normal y marcha patológica, utilizado frecuentemente como método diagnóstico en procesos de rehabilitación, recuperación funcional y reentrenamiento. La trayectoria normal descrita por el centro de gravedad durante el ciclo de la marcha se corresponde con una doble curva suave y ondulante en dirección cráneo-caudal de 5 cm y medio-lateral de 4 cm de amplitud, lo que permite trasladar el cuerpo en línea recta con el menor gasto de energía posible (Neumann, 2002; Perry y Burnfield, 2010; Saunders, Inman y Eberhart, 1953; Viel y Plas, 2002). Saunders et al., en 1953 definió cuales eran los determinantes básicos de la marcha no patológica que consideraba para el mantenimiento de la suavidad de la trayectoria sinusoidal del centro de gravedad en los planos sagital y frontal. Los determinantes principalmente se referían a la rotación de la pelvis en el plano transversal; la basculación lateral de la pelvis en el plano frontal; y el desplazamiento lateral de la pelvis relacionado con la aducción y abducción de la cadera. La pérdida o el compromiso de alguno de estos determinantes, produciría compensaciones y una marcha poco eficiente.

La pelvis, durante el ciclo de la marcha, describe un movimiento sincronizado y de poca amplitud en los tres planos del espacio. En el plano sagital, la pelvis presenta una anteversión en posición estática de aproximadamente 10° que aumentará otros 4° durante el ciclo de la marcha. En el plano frontal, la pelvis presenta un movimiento de basculación lateral de 4° hacia el lado de la extremidad oscilante durante la fase previa a la oscilación, que tiene como función principal el reducir el movimiento vertical ascendente del centro de gravedad durante el apoyo monopodal. Además, en el plano transversal la pelvis realiza una rotación de aproximadamente 5° hacia delante durante la fase terminal de la oscilación y el contacto inicial, y 5° hacia atrás en la fase terminal de la fase de apoyo (Perry y Burnfield, 2010). Además, la cadera realiza un movimiento de abducción y aducción de $\pm 7^\circ$ desde la posición neutra. Durante la amortiguación del peso, tras el contacto inicial, la cadera realiza una aducción bajo el control de la contracción excéntrica del glúteo medio y menor, en el apoyo medio la cadera abduce, volviendo a la posición neutra, hasta la fase final de apoyo, realizando, posteriormente, una mayor abducción durante el despegue del pie del suelo (Neumann, 2002; Perry y Burnfield, 2010).

El término “marcha normal”, descrito por numerosos autores, engloba patrones de hombres y mujeres, a pesar de que la influencia del sexo en los patrones de la marcha y las diferencias cinemáticas entre hombres y mujeres ha sido estudiado frecuentemente. Estos estudios han determinado que el movimiento de la pelvis, en concreto la basculación lateral en el plano frontal, mayor en las mujeres, resulta ser uno de los mayores discriminantes entre patrones de la marcha de hombres y mujeres (Bruening, Frimenko, Goodyear, Bowden y Fullenkamp, 2015; Mather y Murdoch, 1994; Murray, Drought y Kory, 1964; Murray, Kory y Sepic, 1970; Smith, Lelas y Kerrigan, 2002; Troje, 2002). Por tanto, la trayectoria del centro de gravedad, directamente relacionada con el movimiento de la pelvis, debería estar influenciada también por el sexo.

El objetivo del presente estudio fue analizar las diferencias entre hombres y mujeres en los movimientos de la pelvis en el plano frontal, del centro de gravedad y la de cadera durante el ciclo de la marcha. La hipótesis que se formula sería que si la basculación lateral de la pelvis difiere considerablemente entre hombres y mujeres para describirse como uno de los mayores discriminantes en la marcha entre sexos, ésta debería condicionar de igual manera el movimiento del centro de gravedad y por lo tanto al movimiento de abducción y aducción de la cadera en el plano frontal.

MÉTODO

Se seleccionaron y analizaron a 62 sujetos, 29 mujeres (26.10 ± 8.18 años; 55.88 ± 4.97 kg y 165.30 ± 4.96 cm) y 33 hombres (24.00 ± 4.37 años; 72.15 ± 6.84 kg y 177.42 ± 6.07 cm). 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.

Se solicitó a los sujetos caminar descalzos en un pasillo de marcha de 10 metros de longitud a velocidad libremente seleccionada, velocidad normal. 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 optoelectrónico 3D de captura de movimiento VICON (Vicon Motion System, Oxford, UK) compuesto por 6 cámaras infrarrojas a 120 Hz, en el laboratorio de Biomecánica Deportiva de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte (UPM), y un total de 19 marcadores reflectantes (14 mm de diámetro) colocados de forma bilateral en puntos anatómicos siguiendo el modelo Plug in Gait de VICON (Figura 1). Se situaron marcadores en la parte posterior del talón, en las cabezas del 2º metatarsiano, en maléolo externo de tobillos siguiendo el eje transmalleolar, 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 espinas ilíacas anterosuperiores (EIAS), espinas ilíacas posterosuperiores (EIPS), apófisis espinosa de la 7ª vértebra cervical y 10ª vértebra dorsal, y en la escotadura yugular.

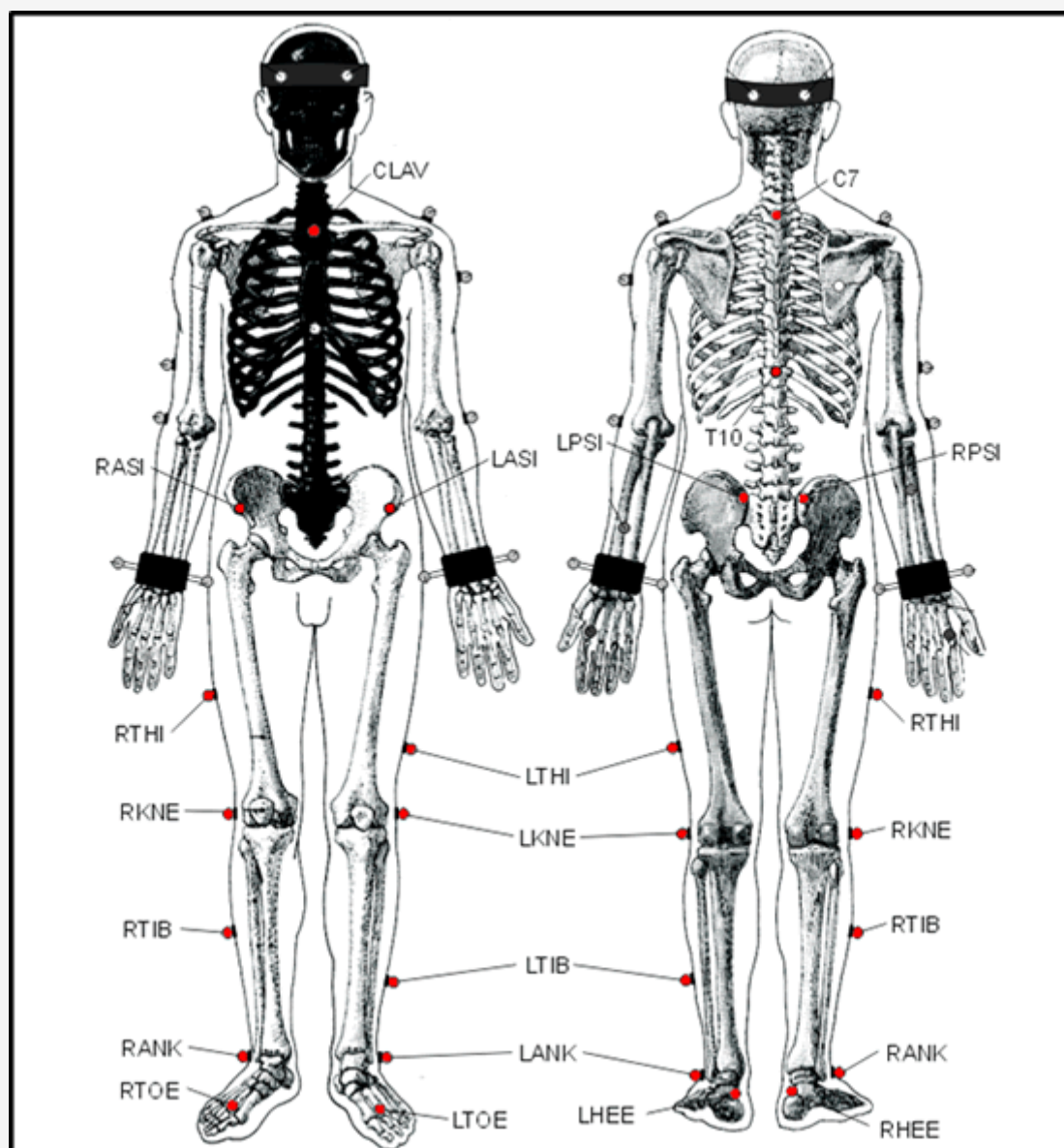


Figura 1. Modelo de marcadores Plug in Gait de Vicon
(Los marcadores utilizados en el presente estudio se muestran en rojo) (Vicon, 2003).

Las variables fueron obtenidas de una media de tres ciclos de la marcha de cada lado y normalizadas al 0-100% del ciclo. Se obtuvieron los parámetros cinemáticos del rango de movimiento del centro de gravedad en el plano frontal (movimiento lateral) (mm) y en el plano sagital (movimiento vertical) (mm); el rango de movimiento de la pelvis en los tres planos (°): sagital (anteversión y retroversión), frontal (basculación lateral) y transversal (rotación); y la cinemática de aducción-abducción (°) de la cadera mediante 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. También se analizó el parámetro espacial de ancho de paso normalizado en función al ancho de pelvis (distancia entre EIAS) por estar relacionado con la cinemática de la cadera en el plano frontal.

Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software SPSS v.19 (SPSS Inc., Chicago, IL, United States). Se calcularon medias y desviaciones estándar (Media $\pm$ DS). Se realizaron comparaciones de medias entre grupos independientes (hombres y mujeres) para todas las variables mediante una prueba t de Student. El nivel alfa de significación se estableció en $\alpha=0.05$ para las pruebas estadísticas.

RESULTADOS

Los parámetros cinemáticos de la pelvis y el centro de gravedad presentaron diferencias entre hombres y mujeres en el rango de movimiento de la pelvis en el plano frontal ($p<0.001$) y el rango de movimiento del centro de gravedad en el plano frontal ($p<0.001$). Los hombres mostraron mayor amplitud de movimiento en el desplazamiento lateral del centro de gravedad (plano frontal) que las mujeres, mientras que las mujeres mostraron mayor amplitud de movimiento pélvico en el plano frontal que los hombres. No se mostraron diferencias en el rango de movimiento de la pelvis en planos sagital ($p=0.774$) y transversal ($p=0.692$), ni en el rango de movimiento del centro de gravedad en el plano sagital ($p=0.745$) entre hombres y mujeres (Tabla 1).

Tabla 1. Diferencias en cinemática de pelvis y centro de gravedad entre hombres y mujeres.

	Hombres		Mujeres		t(60)	p-value
	Media $\pm$ DS	IC 95%	Media $\pm$ DS	IC 95%		
CG plano frontal (mm)*	61.99 $\pm$ 11.24	57.98-66.21	48.90 $\pm$ 10.34	44.97-52.83	4.75	$p<0.001$
CG plano sagital (mm)	43.98 $\pm$ 8.43	40.87-47.04	44.75 $\pm$ 10.21	40.87-44.64	0.33	$p=0.745$
Pelvis plano frontal (°)*	11.81 $\pm$ 3.39	10.47-12.89	15.47 $\pm$ 3.34	14.20-16.74	4.27	$p<0.001$
Pelvis plano sagital (°)	3.32 $\pm$ 0.96	2.98-3.68	3.40 $\pm$ 1.05	3.00-3.80	0.29	$p=0.774$
Pelvis plano transversal(°)	9.27 $\pm$ 2.77	8.16-10.11	9.56 $\pm$ 3.03	8.41-10.71	0.40	$p=0.692$
* $p<0.05$ (diferencias entre hombres y mujeres)						

La cinemática de la cadera también mostró diferencias entre hombres y mujeres, las mujeres presentaron una mayor aducción ($p<0.001$) y una menor abducción ($p=0.011$). Además, las mujeres mostraron una menor abducción durante el momento del contacto inicial ($p<0.001$) (Tabla 2).

Tabla 2. Diferencias en cinemática de la cadera entre hombres y mujeres.

	Hombres		Mujeres		t(60)	p-value
	Media $\pm$ DS	IC 95%	Media $\pm$ DS	IC 95%		
Aducción Máxima (°)*	3.73 $\pm$ 2.45	2.85-4.60	8.30 $\pm$ 2.83	7.23-9.38	6.82	$p<0.001$
Abducción Máxima (°)*	-11.01 $\pm$ 2.39	-11.85-(-10.16)	-9.48 $\pm$ 2.19	-10.32-(-8.65)	2.61	$p=0.011$
Abducción Contacto Inicial(°) *	-2.88 $\pm$ 2.06	-3.61-(-2.15)	-0.22 $\pm$ 3.21	-1.44-1.00	3.94	$p<0.001$
* $p<0.05$ (diferencias entre hombres y mujeres)						

Los hombres mostraron un ancho de paso mayor que las mujeres durante el ciclo de la marcha ($p<0.001$). El ancho de paso normalizado en función del ancho de pelvis en los hombres se presentó un 10% mayor que en las mujeres, siendo de 0.55 ± 0.12 para los hombres y 0.49 ± 0.12 para las mujeres.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El análisis de las diferencias entre hombres y mujeres en el movimiento de la pelvis durante el ciclo de la marcha muestra, principalmente, que las mujeres realizan mayor basculación lateral de la pelvis que los hombres ($15.47 \pm 3.34^\circ$ para mujeres; $11.81 \pm 3.39^\circ$ para hombres), mientras, que no existen diferencias en la anteversión y retroversión de la pelvis o en la rotación de la pelvis en el plano transversal entre los sexos. Sin embargo, aunque los hombres muestran menor amplitud de movimiento en la basculación lateral de la pelvis que las mujeres, realizan un movimiento lateral del centro de gravedad mayor (61.99 ± 11.24 mm para hombres; 48.90 ± 10.34 mm para mujeres).

Además, en las mujeres, como consecuencia de la mayor basculación lateral de la pelvis hacia la pierna que oscila, se produce un aumento de la aducción de la cadera de la pierna de apoyo durante la fase de amortiguación (en torno al 15% del ciclo) en concordancia con los estudios de Cho, Park y Kwon (2004) y Bruening et al. (2015). Por otro lado, las mujeres realizan menor abducción de la cadera en el despegue del pie (62% del ciclo) y muestran menor abducción, también, durante el contacto inicial. Este hecho condiciona el ancho de paso. Es decir, los hombres, al presentar mayor abducción de cadera en el contacto inicial, tienen, también, mayor ancho de paso.

Algunos autores plantean la hipótesis de que estas diferencias en el movimiento de pelvis, centro de gravedad y cadera en el plano frontal entre hombres y mujeres puede deberse a una elección basada en aspectos socioculturales (Bruening et al., 2015), adaptaciones evolutivas (Troje, 2002), o, con mayor probabilidad, a una combinación de factores socio-culturales, anatómicos y biomecánicos. Hombres y mujeres seleccionan estrategias diferentes para realizar el cambio de peso de una pierna a la otra durante la marcha normal, los hombres realizan un movimiento lateral del tronco que conlleva un desplazamiento mayor del centro de gravedad en el plano frontal; mientras que las mujeres realizan una mayor basculación lateral de la pelvis combinada con una mayor aducción de cadera. Este hecho podría ser consecuencia de las diferencias morfológicas entre ambos sexos. Es decir, en los hombres las articulaciones de la cadera y de la pelvis suelen presentar un menor rango de movimiento que las mujeres. Por ello a la hora de afrontar el cambio de peso durante el ciclo de la marcha cada sexo elige su estrategia más eficiente. En ambos casos, los valores del presente estudio son mayores que los descritos en investigaciones previas (Neumann, 2002; Perry y Burnfield, 2010; Saunders et al., 1953; Viel y Plas, 2002).

Este estudio presenta algunas limitaciones. La primera está relacionada con el tamaño de la muestra al ser un número que no representaría a la población de referencia. La segunda está relacionada con el rango de edad de esta muestra. Al ser personas jóvenes, seguramente existan diferentes patrones de la marcha en función de la edad y del sexo de los sujetos.

Estos datos, además de describir y discriminar los patrones cinemáticos de la marcha normal, son determinantes para establecer las características y estrategias utilizadas por hombres y mujeres para el mantenimiento del equilibrio y la transferencia de peso de una pierna a otra durante la marcha. El conocimiento de estas estrategias tendría múltiples aplicaciones en la evaluación, diferenciada por sexo, de las compensaciones producidas durante el proceso de rehabilitación, fundamentalmente en planes de reentrenamiento tras lesiones o cirugías del miembro inferior, o en el abordaje del déficit de equilibrio y prevención de caídas en personas mayores. En definitiva, a la hora de abordar la marcha en los procesos de rehabilitación, resulta fundamental el respeto de las características intrínsecas del paciente.

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.
- 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.
- Mather, G. & Murdoch, L. (1994). Gender discriminations in biological motion displays base on dynamic cues. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 258, 273-279.
- Murray, M.P., Drought, A.B. & Kory, R.C. (1964). Walking patterns of normal men. *Journal of Bone and Joint Surgery American*, 46(A), 335-360.
- Murray, M.P., Kory, R.C. & Sepic, S.B. (1970). Walking patterns of normal women. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 51, 637-650.
- Neumann, D.A. (2002). Kinesiology of the musculoskeletal system: Foundations for physical rehabilitation. *St Louis: Mosby*.
- Perry, J. & Burnfield, J.M. (2010). Gait Analysis Normal and Pathological Function (2ª edición). *Thorofare, NJ: SLACK Inc*.
- Saunders, M., Inman, V.T. & Eberhart, H.D. (1953). The major determinants in normal and pathological gait. *Journal of Bone and Joint Surgery American*, 35, 543-558.

- 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 & Gender-Based Medicine*, 11, 453-458.
- Troje, N.F. (2002). Decomposing biological motion: a framework for analysis and synthesis of human gait patterns. *Journal of Vision*, 2, 371-387.
- Vicon (2003). Vicon user manual. *Oxford Metrics, Oxford*.
- Viel, E. & Plas, F. (2002). Movimientos del esqueleto: del inicio de la marcha a la velocidad de cruce. En E. Viel (Ed), *La marcha humana, la carrera y el salto. Biomecánica, exploraciones, normas y alteraciones* (pp. 1-26). Barcelona: Masson.