



Artículo Original / 091008-2016

Variación de la posición del centro de gravedad en una bailaora profesional durante el zapateado flamenco

Variations of the center of mass position in a female professional flamenco dancer during flamenco footwork

Wanda Forczek, PhD (1)

Irene Baena Chicón (2)

Alfonso Vargas-Macías, PhD(3) Email:vargas@flamencoinvestigacion.es

(1) Departamento de Biomecánica. Universidad de Educación Física. Cracovia, Polonia.

(2) Departamento de Baile Flamenco. Conservatorio Profesional de Danza, Pepa Flores. Málaga, España.

(3) Departamento de Actividad Física y Salud. Centro de Investigación Flamenco Telethusa. Cádiz, España

Recibido: 13 abr 2016 Revisión editorial: 22 abr 2016 Revisión por pares: 11 may 2016 Aceptado: 21 may 2016 Publicado online: 25 may 2016.

Resumen

El centro de gravedad es el punto donde confluyen las fuerzas resultantes del peso de todos y cada uno de los segmentos corporales. El estudio de la trayectoria de este punto es de gran relevancia para determinar parámetros de carácter cinemáticos, dinámicos y el nivel de eficiencia en la ejecución del gesto técnico. El objetivo de este trabajo es estudiar con un sistema de captura del movimiento por cámaras de infrarrojo, la variación de posición del centro de gravedad de una bailaora profesional de baile flamenco durante un test de zapateado flamenco. Se trata de un estudio de caso único, una bailaora profesional de flamenco (33 años, 59 kg, 1.65m) que ha ejecutado el test de zapateado ZAP-3, en el que se repiten secuencias de 6 zapateados con ambos pies durante 15 segundos. El test ha sido registrado con un sistema óptico de captura del movimiento Vicon (Oxford Metrics Ltd.; Oxford, UK) compuesto por 5 videocámaras de infrarrojo. La participante portaba 35 marcadores colocados según una modificación del modelo de Golem. Entre los resultados obtenidos se encuentra el rango de movimiento de la trayectoria del centro de gravedad: 0.136 m en movimientos anteroposteriores, 0.105 m en laterales y 0.018 m en verticales. La trayectoria del centro de gravedad durante cualquier actividad guarda una estrecha relación con el gasto energético empleado y es especialmente importante en el baile flamenco. Los resultados obtenidos muestran oscilaciones suaves del centro de gravedad durante el zapateado en los tres planos. Esto refleja la estrategia del sujeto para optimizar el gasto energético gracias a una eficiente reequilibración corporal. El hecho de mantener una posición estable mientras se realizan zapateados a tan alta frecuencia, refleja una alta competencia de la bailaora que es profesional desde hace 17 años.

Palabras Clave Baile flamenco, Frecuencia de zapateado, Biomecánica, Infrarrojos, Vicon.

Abstract

The center of mass is the point where the forces of the weight of all and each of the body segments converge. The study of its trajectory is of great importance to determine the kinematic and the dynamic parameters as well as the level of efficiency in the technical gesture. The aim of this paper is to study the center of mass trajectory of a female professional flamenco dancer during a flamenco footwork test. It is a case report where a female professional flamenco dancer (33 years, 59 kg, 1.65m) has participated. The footwork test ZAP-3 was made. It consists of sequences of 6 repeated steps with both feet during 15 seconds. The test has been recorded with an optical motion capture Vicon system (Oxford Metrics Ltd.; Oxford, UK) and 5 infrared video cameras have been used. A total of 35 markers have been placed on the participant according to a modification of the Golem model. The results show the following ranges of the center of mass trajectory: 0.136 m in anteroposterior movement, 0.105 m in lateral and 0.018 m in vertical displacements. Center of mass position during any kind of movement is important regarding the process of energy expenditure. This plays a crucial role in flamenco dancing. The results of our study revealed smooth oscillations of the center of mass in all three planes. It reflects the subject's strategy to optimize the energy waste due to an efficient body balancing. Stable position while performing very dynamic footwork shows high proficiency of the subject who has been a professional dancer for 17 years.

Keywords Flamenco dancing, Footwork frequency, Biomechanics, Infrared, Vicon

Introducción

El centro de gravedad (CDG) de un objeto o cuerpo es el lugar en el que se anulan todas las fuerzas derivadas de su peso. Es por tanto un punto de equilibrio en el que se concentra todo el peso del objeto o cuerpo si fuera comprimido desde todas direcciones a la vez¹.

En el caso del cuerpo humano, articulado y con extremidades, el CDG es el punto donde confluyen todas las fuerzas resultantes de todos sus segmentos corporales². La ubicación del CDG en el cuerpo humano no es un lugar fijo sino que variará en función de la disposición espacial de sus diferentes segmentos^{1,3}. En posición anatómica el CDG estaría centrado en una sección transversal a nivel de la quinta vértebra lumbar⁴ o la segunda vértebra sacra⁵ según la literatura científica consultada. Si se modifica la disposición corporal, la ubicación del CDG variará, de forma que podría localizarse incluso fuera del mismo^{1,3}.

Pero la ubicación del CDG puede variar en función de muchos otros factores. Entre ellos la edad, los niños pequeños tienen mayor proporción de peso en la cabeza que los adultos y menos en el tren inferior, de forma que su CDG está más cerca a la cabeza que en los adultos⁶. Las diferencias anatómicas entre el hombre y la mujer también condicionan la posición del CDG, en el hombre suele estar a un 56,18% de su talla mientras que en la mujer está algo más bajo, a un 55,44%³. Un mayor nivel de hipertrofia en el tren superior o inferior también puede influir en la altura del CDG⁷. De igual forma, el uso de implementos o material deportivo puede repercutir en la variación de la posición del CDG³.

El estudio de la trayectoria que describe el CDG es un recurso muy usado en biomecánica deportiva. Ayuda a determinar la eficiencia en la ejecución del gesto y valorar si el gasto energético empleado es acorde a las exigencias motrices de la actividad⁸. A su vez, es de gran relevancia para determinar parámetros deportivos de carácter cinemáticos y dinámicos⁹⁻¹².

El baile flamenco es una actividad física que exige grandes demandas de esfuerzo equiparables a deportes de élite¹³. Como consecuencia de ello, la práctica profesional de esta danza está muy relacionada con casos de lesiones, principalmente en el pie y la espalda¹³⁻¹⁷. Por ello, conocer el comportamiento del CDG es una información muy relevante que permite ampliar el repertorio descriptivo de esta actividad y ayudar

a entender las peculiaridades técnicas de esta danza con la intención de mejorar el rendimiento de los profesionales del baile flamenco.

Técnicamente, la coreografía del baile flamenco se divide en dos partes bien diferenciadas: braceado y zapateado. En el braceado, el protagonismo expresivo se centra en el tronco y brazos. La ubicación del CDG dependerá de la posición de estos segmentos corporales llegando a situaciones extremas como en los quiebros, como consecuencia de la hiperextensión de tronco que se adquiere en estas figuras. Por el contrario, durante el zapateado, el protagonismo escénico se traspa al tren inferior. Los pies y el sonido producido al golpear el suelo de forma rítmica y controlada toman el protagonismo. En las escobillas, fases rápidas del zapateado, se alcanzan frecuencias de hasta 12 zapateados por segundo (zap/s)¹³ y los pies adquieran velocidades de hasta 5,78 m/s¹⁸.

El baile flamenco es una actividad física que se realiza con un calzado rígido de tacón, que normalmente oscila entre 0.05 y 0.07 m. Zapatear a altas frecuencias con un calzado así, requiere de una pequeña semi-flexión de caderas y rodillas, acompañada de una ligera retroversión pélvica¹³. Además, la estética escénica del flamenco requiere que en las fases de zapateado la espalda está erguida y las caderas se mantengan a la misma altura del suelo, sin subidas ni bajadas bruscas ni movimientos de reequilibración. La espalda tiende a permanecer recta, anulando la curvatura lumbar y evitando vaivenes laterales que compensen la alternancia de la ejecución de un pie con el otro^{13,14}. Por ello, el estudio de la trayectoria del CDG es de gran importancia para este tipo de baile ya que aporta información biomecánica muy relevante para optimizar la carrera profesional de esos bailaroes.

Hasta donde tenemos conocimiento, el único estudio sobre la variación de posición del CDG en el baile flamenco, estima que durante el zapateado la altura en el plano sagital oscila 0.0322 ± 0.0115 m. a una frecuencia media de 11,44 zap/s¹⁹.

El objetivo de este trabajo es estudiar con un sistema de captura del movimiento por cámaras de infrarrojo, la variación de posición del CDG de una bailaora profesional de baile flamenco durante un test de zapateado flamenco.

Material y Método

Muestra

En el estudio ha participado una bailaora de flamenco (33 años, 59 kg, 1.65 m), profesional desde hace 17 años y que dedica unas 17 horas semanales al baile flamenco. La altura del tacón empleado durante la prueba de campo ha sido de 0.06 m. La bailaora ha recibido información del proceso de estudio y ha firmado un escrito de consentimiento. El estudio ha sido aprobado por el Comité Ético de la Universidad Católica San Antonio de Murcia (España).

Método y Diseño de la investigación

Se trata de un estudio de caso único en el que la bailaora ejecutó el test de zapateado ZAP-3^{13,16}. Esta prueba consiste en repetir durante 15 s, una secuencia de zapateados a la máxima velocidad y con el mayor sentido rítmico posible. La secuencia de zapateados es familiar para los profesionales de flamenco porque es usada con otras durante, los calentamientos y en su preparación física y técnica. Consiste en un encadenamiento de 6 zapateados, formado por cuatro gestos técnicos distintos que se repiten alternativamente con cada pie:

- 1º: Zapateado de planta (P): con un antepié manteniendo el retropié elevado
- 2º: Zapateado de Tacón-plata (TP): ese mismo pie mantiene su antepié en el suelo mientras golpea con el tacón.
- 3º: Zapateado de Tacón (T): el pie contrario golpea con el tacón manteniendo el antepié elevado.
- 4º: Zapateado de Tacón-planta (TP): con el mismo pie que el 2º golpe.
- 5º: Zapateado de Punta (PNT): zapateado con el mismo pie derecho que el 3º golpe.
- 6º: Zapateado de Tacón-planta (TP): con el mismo pie que el 2º golpe.

Una vez finalizada la secuencia se repite con el pie contrario. La prueba se llevó a cabo en el Laboratorio de Biomecánica de la Universidad de Educación Física de Cracovia (Polonia). El trabajo ha consistido en un estudio de fotogrametría tridimensional con un sistema óptico de

captura del movimiento Vicon (Oxford Metrics Ltd.; Oxford, UK). El sistema estaba compuesto por 5 videocámaras de infrarrojo que registraban los movimientos de 35 marcadores colocados sobre la piel y vestimenta de la participante. Para la colocación de estos marcadores se siguió una modificación del modelo de Golem, la distribución de los marcadores fue la siguiente: 4 en la cabeza, 4 en el tronco, 3 en la pelvis, 7 en cada extremidad superior y 5 en cada extremidad inferior.

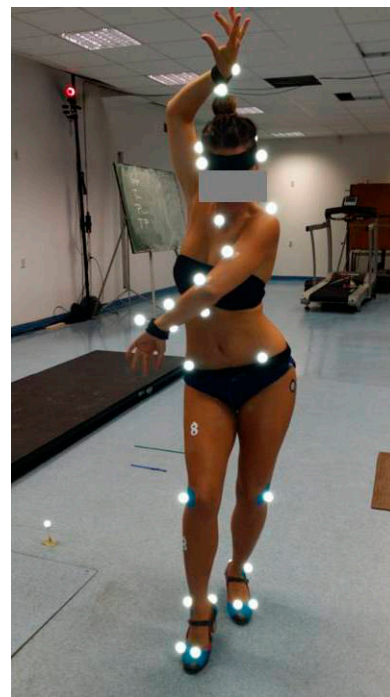


Fig. 1 Muestra de la colocación de los marcadores.

Previamente, los siguientes datos antropométricos de la participante fueron registrados: longitud de ambas piernas, anchura de ambas rodillas, anchura del tobillo izquierdo y anchura de la pelvis (tomando como referencia la distancia entre las espinas ilíacas anterosuperiores).

Antes de la realización del test, se registraron los valores medios de la posición estática del CDG de la participante (S). Posteriormente, durante el test de zapateado ZAP-3, se registraron los valores instantáneos y medias del desplazamiento lateral, vertical y horizontal del CDG (ensayos dinámicos - D).

Análisis estadístico

Se ha realizado un análisis estadístico descriptivo con distribución de frecuencias de las variables analizadas, todos los valores obtenidos están normalizados y expresados en porcentaje. Se ha empleado el software Microsoft Office Excel 2007 (Microsoft, Redmond, WA, USA).

Resultados

Durante los 15 s de duración del test de zapateado, la bailaora zapateó a una frecuencia media de 12 zap/s llegando a contabilizar 180 zapateados en total.

En la figura 2 se recogen los desplazamientos hacia delante y hacia detrás del CDG en el plano transversal. En general se aprecia una trayectoria bastante suave durante todo el tiempo con un ligero aumento en el momento final. El rango de desplazamiento hacia delante y detrás fue de 0.136 m. La diferencia entre los valores medios de las posiciones estáticas y dinámicas fueron de 0.4293 m.

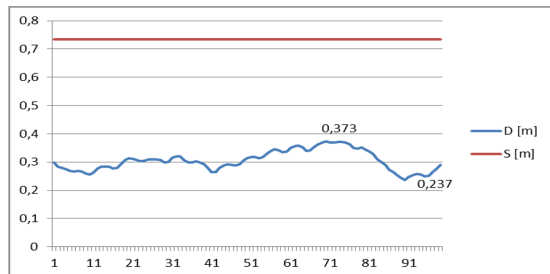


Fig. 2 Desplazamiento anteroposterior del CDG en estático (S) y en dinámico (D)

En la figura 3 se muestra las oscilaciones del CDG en el plano frontal, donde se identifican los movimientos realizados de izquierda a derecha. La trayectoria seguida por el CDG es regular con las subidas y bajadas lógicas derivadas del cambio de apoyo entre una y otra extremidad durante el zapateado. Se observa que el rango (la diferencia entre el valor máximo y mínimo) es de solo 0.105 m, mientras que las diferencias entre los valores medios en condiciones estáticas y dinámicas es de 0.24736 m.

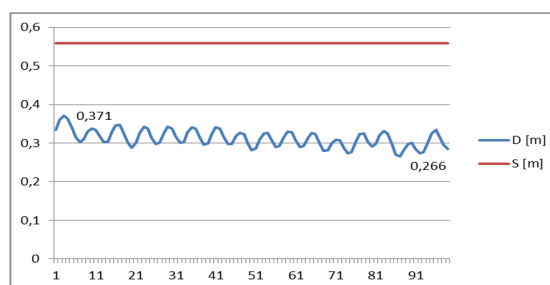


Fig. 3 Desplazamiento lateral del CDG en estático (S) y en dinámico (D)

En la figura 4 se muestran las oscilaciones del CDG en el plano sagital, donde pueden apreciarse los movimientos verticales llevados a cabo durante el test de zapateado. El rango de movimiento registrado es de 0.018 m, con valores máximos de 1.068 m de altura y mínimos de 1.050 m. Comparando el valor medio de este desplazamiento vertical con la posición del CDG en estático, observamos una diferencia de 0.01196 m.

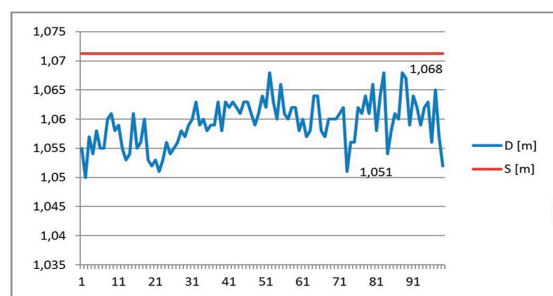


Fig. 4 Desplazamiento vertical del CDG en estático (S) y en dinámico (D)

Discusión

Los resultados relativos a la ejecución del zapateado durante el test, muestran que los niveles técnicos y físicos de la participante están dentro de los parámetros establecidos para profesionales del baile flamenco. Ha realizado 180 zapateados durante los 15 s que dura el test, equivalente a una frecuencia media de 12 zap/s, mientras que el número de zapateados estipulados para una población de bailaoras profesionales de flamenco oscila entre 159 y 176 zapateados, correspondiente a una frecuencia que oscila entre 10.6 y 11.73 zap/s¹³.

La trayectoria que describe el CDG durante la actividad física ha sido bastante estudiada en la bibliografía científica^{11,20-24}. El estudio del recorrido del CDG aporta gran información sobre la ergonomía de la técnica empleada y la optimización del gasto energético requerido^{11, 22}.

Respecto a la trayectoria en el plano transversal del CDG de nuestra participante, los resultados obtenidos muestran que una vez iniciado el test, el rango de movimiento ha sido de 0.136 m. Teniendo en cuenta que durante este tiempo ha percutido 12 veces por segundo, el desplazamiento es mínimo. Salvo que por razones coreográficas se precise, en las fases rápidas de zapateados los bailaores tienden a permanecer en el mismo sitio, ello va a permitir alcanzar altas frecuencias de zapateados porque reducen los desplazamientos espaciales al mínimo. Aún así, es prácticamente imposible mantenerse fijo en el sitio y un mínimo deslizamiento anteroposterior es inevitable, especialmente a partir de la mitad del test, donde el agotamiento se ve reflejado en un aumento en la amplitud del rango tal y como puede apreciarse en la figura 2. Hasta donde tenemos conocimiento no existen estudios similares para comparar, pero estos datos van a permitir en un futuro valorar no solo la eficiencia de zapateado de los profesionales sino también su condición física, ya que a mayor nivel, más se retrasará y menor será el cambio en la tendencia de las curvas.

Por otro lado, los resultados de las oscilaciones del CDG en el plano frontal, muestra que el rango desplazamiento de izquierda a derecha es de 0.105 m, teniendo en cuenta que recoge los extremos de todos los desplazamientos y que a lo largo de 15 s han sido percutidos 180 zapateados, el resultado es bastante reducido. Por ciclos, las oscilaciones se reducen y varían desde 0.014 m la menor hasta 0.068 m la mayor. Cada oscilación de la gráfica representa el reinicio de una secuencia de zapateado. Cada 6 zapateados el pie que adopta el rol de apoyo se alterna, de forma que el CDG se desplaza hacia el lado del pie que ejecuta el zapateado 1º, 2º, 4º y 6º, mientras que el otro pie queda más libre para realizar el 3º y 5º golpe. Como ya se ha mencionado, la estética coreográfica del zapateado flamenco busca la rectitud del tronco y evita los vaivenes laterales durante la alternancia de pies^{13,14}. Como puede apreciarse en la figura 3, al comienzo de la prueba las oscilaciones en el plano frontal también eran más pequeñas y la posición más estable. A medida que se desarrolla el test, a partir de la mitad de la prueba, el cansancio empieza a pasar factura

y la oscilación lateral empieza a ser mayor. Al igual que en los desplazamientos anteroposteriores, no tenemos constancia de estudios similares en el baile flamenco, en cambio si existen datos para la marcha, donde el registro medio de los desplazamientos laterales es de 0.035 ± 0.009 m²⁰. Este resultado está dentro de los intervalos del zapateado mostrado anteriormente y pueden ser considerados normales teniendo en cuenta la alternancia de apoyos y golpes que se realizan durante el zapateado.

Finalmente, los resultados del desplazamiento del CDG en el plano sagital recogen un rango de oscilación vertical de 0.018 m (figura 4). Gómez-Lozano¹⁹ en un estudio similar del CDG obtuvo una variación de altura de 0.0322 ± 0.0115 m, bastante superior a nuestros resultados. Pensamos que además de las diferencias de la muestra, la discrepancia puede deberse al método empleado, ya que se tomaba como referencia el punto trocántereo. Al igual que en la marcha se aprecia una caída pélvica de 4º²², es posible que en el zapateado ocurra algo similar y por muy fija que los bailaores pretendan tener la pelvis, el resultado final se haya visto influenciado por la basculación del trocánter arrastrado por dicha caída pélvica.

Pero esta oscilación vertical es mayor a medida que aumenta el cansancio y la fatiga muscular impide un control más férreo de la posición. Al igual que en los planos anteriores, a medida que avanza la prueba, el cansancio provoca oscilaciones mayores que al inicio. En un principio, las oscilaciones registradas son aproximadamente de unos 0.01 m, y por tanto la posición más estable. Estos datos son aún mucho más estables que en la marcha o la carrera. Durante la marcha, el CDG describe un movimiento sinusoidal en los tres planos, que sitúa su punto más bajo en el momento en el que ambos pies están apoyados en el suelo durante el apoyo bipodal, y más alto, cuando la pierna de carga está en posición vertical durante la fase de apoyo monopodal. Esta altura del CDG en la marcha suele oscilar entre 0.032 m y 0.069 m^{20,21}. En cambio, durante la carrera, a pesar de seguir una tendencia similar a la marcha, la variación de altura es menor, oscilando entre 0.03 y 0.05 m²¹. El momento de menor altura coincide con la fase de contacto y el de mayor con la parte final del despegue²⁴. La altura del CDG, tanto en la marcha como en la carrera, dependen de diferentes factores, como la altura del individuo, la técnica de carrera y la velocidad de desplazamiento. A mayor velocidad, menor será la variación de la altura del CDG, el gesto será más ergonómico y menor el gasto energético²².

Quizás por ello, la variación de altura del CDG durante el zapateado obtiene registros más bajos que en la marcha y la carrera, porque además de ser una exigencia estética, es un requisito biomecánico. La cadencia de paso durante la marcha es de 1,17 pasos por segundo^{24,25} y de 3 pasos por segundo en la carrera²², mientras que en nuestra muestra la cadencia de zapateado ha sido de 12 zap/s. Una frecuencia mucho mayor y por tanto implica una mayor estabilidad vertical del CDG. Es un bucle cerrado, a mayor estabilidad mayor frecuencia de zapateado se alcanza y a mayor frecuencia de zapateado conseguida, mayor estabilidad otorga.

Por otro lado, si se compara el valor medio del desplazamiento vertical del CDG con el valor de su posición en estático, observamos una diferencia de 0.01196 m. Esta disminución de altura es debida a la semiflexión de rodillas que se adopta durante las fases rápidas de zapateado^{13,16,26}. Esta variable es de gran relevancia porque grandes diferencias implicarían una flexión excesiva de rodillas que podría sobrecargar las estructuras de esta articulación. Por el contrario, una diferencia muy baja implicaría una flexión de rodillas muy reducida, consecuentemente las rodillas atenuarían menos vibraciones derivadas de los impactos y acabarían sobrecargando la espalda, especialmente la zona lumbar²⁶.

Los resultados obtenidos en este trabajo, en consonancia con otros estudios^{17,19}, nos hacen defender que el zapateado flamenco ejecutado por profesionales tiende a desarrollarse de la forma más ergonómica posible. Esta eficiencia decae a medida que va apareciendo los primeros síntomas de cansancio por el esfuerzo. No debemos obviar que la trayectoria del CDG durante una actividad física está íntimamente relacionada con el gasto energético empleado²⁷.

Conclusiones

La trayectoria del centro de gravedad durante cualquier actividad guarda una estrecha relación con el gasto energético empleado y es especialmente importante en el baile flamenco. Los resultados obtenidos muestran oscilaciones suaves del centro de gravedad durante el zapateado en los tres planos. Esto refleja la estrategia del sujeto para optimizar el gasto energético gracias a una eficiente reequilibración corporal. El hecho de mantener una posición estable mientras se realizan zapateados a tan alta frecuencia, refleja una alta competencia de la bailaora que es profesional desde hace 17 años.

Aplicación práctica

La preparación física y técnica de los bailarines profesionales de flamenco suele usar la limpieza del sonido percutado como referente de corrección técnica. Es importante que poco a poco se recurra a nuevas tecnologías, en concreto a vídeo grabación, y se observe la variación de altura de puntos anatómicos de referencia. Se recomienda que se use una marca a la altura de alguna vértebra lumbar o dorsal para tomarla como referencia. Cuanto menor sea la diferencia de altura de este punto mejor tenderá a ser la ejecución técnica del zapateado.

Referencias documentales

1. López JL. 2008. Control y análisis del equilibrio y la estabilidad en la actividad física y el deporte. En: Izquierdo M (eds). Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte. Madrid: Médica Panamericana. Pp 259-279.
2. Tipler A. 2000. Física preuniversitaria. Tomo I. 3 ed. Barcelona: Reverté.
3. Aguado X. 1993. Eficacia y técnica deportiva. Zaragoza: Inde.
4. Miralles R, Miralles I. 2007. Biomecánica clínica de las patologías del aparato locomotor. Barcelona: Masson.
5. Dufour M, Pillu M. 2006. Biomecánica Funcional. París: Masson.
6. Palmer CE. 1944. Studies of the Center of Gravity in the Human Body. Child Dev 15(2-3): 99-180.
7. Zatsiorsky VM. 2002. Kinetics of human motion. Champaign (USA): Human kinetics.
8. Staszkiwicz R, Ruchlewicz T, Forczek W, et al. 2010. The impact of changes in gait speed and step frequency on the extent of the center of mass displacements. Acta Bioeng Biomech 12(3): 13-20.
9. Kingma I, Toussaint H, Commissaris D, et al. 1995. Optimizing the determination of the body center of mass. J Biomech 28(9): 1137-1142.
10. Rabuffetti M, Baroni G. 1999. Validation protocol of models for centre of mass estimation. J Biomech 32(6): 609-613.
11. Chou L, Kaufman K, Hahn M, et al. 2003. Medio-lateral motion of the center of mass during obstacle crossing distinguishes elderly individuals with imbalance. Gait Posture 18(3): 125-133.
12. Schache A, Baker R, Vaughan C. 2007. Differences in lower limb transverse plane joint moments during gait when expressed in two alternative reference frames. J Biomech 40(1): 9-19.
13. Vargas A. 2009. El baile flamenco: estudio descriptivo, biomecánico y condición física. 2ª ed. Cádiz: Centro de Investigación Flamenco Telethusa.

14. Calvo JB, Alonso A, Pasadolos A, et al. 1998. Flamenco Dancing. Biomechanical Analysis and Injuries Prevention. En: Macara A: Continents in Movement. Proceedings of the International Conference. New trends in dance teaching. Oeiras (Portugal): MH Edições. Pp 279-285.
15. Capel A, Medina FS, Medina D, et al. 2009. Magnetic resonance study of lumbar disks in female dancers. *Am J Sports Med* 37(6): 1208-1213.
16. Vargas-Macías A, López -Castillo JM, Santos JR. 2010. Inestabilidad del pie y tobillo en el baile flamenco. *Rev Cent Investig Flamenco Telethusa* 5(5): 40-45.
17. Castillo-López JM, Vargas-Macías A, Domínguez-Maldonado G, et al. 2014. Metatarsal Pain and Plantar Hyperkeratosis in the Forefeet of Female Professional Flamenco Dancers. *Med Probl Perform Art* 29(4): 193-197.
18. Gómez R, González A, Costa JL, et al. 2012. Estudio cinemático de una bailarina de flamenco. *Rev Cent Investig Flamenco Telethusa* 5(5): 13-21.
19. Gómez-Lozano S, Forczek W, Baena-Chicón I, et al. En prensa. Variación de la altura del Centro de Gravedad en el Baile Flamenco: una aproximación fotogramétrica. En: VI Congreso Internacional Universitario de Investigación sobre Flamenco. Cartagena: UCAM.
20. Lida H, Yamamuro T. 1987. Kinetic analysis of the center of gravity of the human body in normal and pathological gaits. *J Biomech* 20(10): 987-995.
21. Lee CR, Farley CT. 1998. Determinants of the center of mass trajectory in human walking and running. *J Exp Biol* 201(21): 2935-2944.
22. Perry J, Burnfield JM. 2015. Análisis de la marcha. Función normal y patológica. Barcelona: Base.
23. Dugan SA, Bhat KP. 2005. Biomechanics and analysis of running gait. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 16(3): 603-621.
24. Ferro A. 2001. La carrera de velocidad. Metodología de análisis biomecánico. Madrid: Librerías Deportivas Esteban Sanz.
25. White SC, Lage KJ. 1993. Changes in joint moments due to independent changes in cadence and stride length during gait. *Hum Mov Sci* 12(4): 461-474.
26. Forczek W, Vargas-Macias A. 2015. Sagittal knee kinematics during Flamenco Dancing - preliminary studies [w:] Conference Proceeding: 4th Joint World Congress of ISPGR and Gait & Mental Function. Sevilla, España. https://d3lut3gzcp87s.cloudfront.net/download/eJwFwQEKgCAMAMAFbdiYZL!Z2jDKIDYlen13zX1uiHZcp7k8DkYgXb5xy2tQRkfmNaW9qsRMGqjGHKQsrD-Cr@rVJFQg=/Poster%20Abstracts_Web.pdf Consultado 18 may 2016.
27. Gordon KE, Ferris DP, Kuo AD. 2009. Metabolic and mechanical energy costs of reducing vertical center of mass movement during gait. *Arch Phys Med Rehabil* 90(1): 136-144.