Traducción de artículo
DOI: https://doi.org/10.23754/telethusa.171904.2024

Descripción Biomecánica de la Técnica de Zapateado en el Flamenco

Biomechanical Description of Zapateado Technique in Flamenco

Wanda Forczek-Karkosz, PhD (1)
Robert Michnik, PhD (2)
Katarzyna Nowakowska-Lipiec, PhD (2)
Alfonso Vargas-Macías, PhD (3)
Irene Baena-Chicón, PhD (4)
Sebastián Gómez-Lozano, PhD (5)
Joanna Gorwa, PhD (6) Contacto: gorwa@awf.poznan.pl
(1) Department of Biomechanics, Faculty of Physical Education and Sport, University of Physical Education in Krakow. Cracovia, Polonia.
(2) Department of Biomechatronics, Faculty of Biomedical Engineering, Silesian University of Technology. Gliwice, Polonia.
(3) Centro de Investigación Flamenco Telethusa. Cádiz, España.
(4) Departamento de Flamenco, Conservatorio Superior de Danza María de Ávila. Madrid, España.
(5) Grupo de Investigación de Artes Escénicas, Universidad Católica San Antonio de Murcia, UCAM. Murcia, España.
(6) Department of Biomechanics, Chair of Theory and Methodology of Sport, Faculty of Sport Sciences, Poznan University of Physical Education. Poznan, Polonia.

TRADUCCIÓN

Antonia Lucena Ramírez (7). Contacto: antonia.lucenaramirez@alum.uca.es
(7) Investigadora independiente.

https://doi.org/10.3390/ijerph18062905
Artículo original publicado en 2021 en la revista International Journal of Environmental Research and Public Health -IJERPH- 18(6): 2905

Resumen

El objetivo principal de esta investigación ha sido estudiar la alineación del cuerpo del bailaor(a), mientras realiza el zapateado durante el baile, para proporcionar una descripción detallada al servicio de los profesionales del flamenco: profesores, instructores y estudiantes de diferentes niveles. Se analizó la técnica de zapateado de una bailaora profesional. El análisis biomecánico se basó en treinta ciclos de seis secuencias de repeticiones consecutivas de zapateado. Se realizaron mediciones cinemáticas utilizando el sistema Vicon, mientras que la medición de las fuerzas de reacción del suelo (GRF), se realizaron con una plataforma de fuerza Kistler. Se analizaron los siguientes parámetros: el tiempo de cada zapateado; el valor máximo del componente vertical de GRF, en relación al peso corporal (BW), para la secuencia de zapateados; el impulso de GRF; la cinemática de la pelvis y las articulaciones de las extremidades inferiores; y la forma de onda del sonido de los golpes de los zapateados. Los valores medios de la componente vertical de GRF oscilaron entre 0.6 y 2.7 BW. La inclinación pélvica anterior máxima fue de 29º, con un rango de movimiento (RoM). Esta movilidad estuvo acompañada por un RoM de cadera de 20° y un RoM de rodilla de ~40° durante la flexión. Las conclusiones proporcionan información práctica para que docentes y estudiantes de baile flamenco puedan tenerla en consideración.

Palabras Clave

Técnica, juego de pies, patrimonio cultural inmaterial, flamenco, zapateado.

Abstract

The main purpose of this study was to identify a dancer's body alignment while performing flamenco footwork to provide a detailed description that could be used by flamenco practitioners: teachers, instructors and students of different levels of advancement. The zapateado technique performed by a professional flamenco dancer was analyzed. The biomechanical analysis was based on 30 cycles composed of six repeating sequences of strikes. Kinematic recordings were performed using a Vicon system, while the measurement of the ground reaction forces (GRF) was accomplished with a Kistler force plate. The following parameters were analyzed: the time of each foot strike, the maximal value of the vertical component of GRF normalized to body weight (BW) for subsequent footwork steps, the impulse of the GRF and the kinematics of pelvis and lower limb joints, and an exemplary waveform view of the sound of footwork strikes was shown. The average values of the vertical component of GRF ranged between 0.6 and 2.7 BW. The maximal anterior pelvic tilt was 29°, with a 6° range of motion (RoM). This mobility was accompanied by 20° hip RoM and by ~40° knee RoM throughout flexion. The conclusions provide practical information that a teacher and flamenco student should receive.

Keywords

Technique, footwork, intangible cultural heritage, flamenco, zapateado.

Rev Cent Investig Flamenco Telethusa
2024 • 17(19) • pp.17-29

Introducción

La proyección del Patrimonio Cultural Inmaterial (PCI) se centra en las tradiciones orales, las artes escénicas, los rituales, el conocimiento, las artesanías tradicionales y los eventos festivos. Este tipo de patrimonio se transmite a través del conocimiento y las habilidades de una generación a la siguiente, y es un factor importante en el mantenimiento de la diversidad cultural [1].

El flamenco es uno de los elementos más característicos de la cultura española y pertenece al PCI. Considerando su popularidad, sólo en España encontramos alrededor de 300 escuelas, academias, conservatorios o centros dedicados a la enseñanza del baile flamenco. El mayor número de practicantes se encuentra en cuatro de las diecisiete Comunidades Autónomas: Andalucía, Murcia, Madrid y Cataluña. El flamenco también es muy popular en todo el mundo [2,3], y se puede bailar tal cual o aplicando algunos de sus pasos (por ejemplo, diferentes técnicas) a otros bailes, es el caso del pasodoble que pertenece a los bailes de salón de estilo Latino Americano y utiliza técnicas del baile flamenco.

Dentro del flamenco hay muchos estilos diferentes (palos), cada uno de ellos con su compás característico. El bailaor debe seguir ese patrón rítmico con su zapateado. En cuanto a la ejecución del baile, el compás es tan importante, como la estética de los movimientos en el flamenco. Por todo ello, los profesores, sobre todo en España, insisten en la importancia de seguir el ritmo. Otro aspecto que también afecta a la musicalidad es el soniquete y la sutileza de los sonidos (matices) en el zapateado [2]. Los sonidos que el bailaor realiza dependen también de la intensidad con la que se golpea el suelo, usando diferentes técnicas, golpeando con la planta (el antepié), el golpe (con el pie completo) o el tacón (el talón). En general, el aprendizaje de las diferentes técnicas del baile es un desafío permanente. Es un proceso continuo de acierto y error repleto de dificultades [4]. Por lo tanto, debemos preguntarnos: Qué es realmente importante durante el estudio del baile flamenco.

El flamenco, como uno de los elementos más reconocibles de la cultura española, se ha convertido en un fenómeno mundial y en 2010 fue incluido en la lista PCI. El arte flamenco se generó por la interacción cultural entre varias naciones asentadas en el sur de España y comprende tres ámbitos: cante, toque (guitarra) y baile. El fenómeno flamenco está basado, desde su origen, en la interacción personal entre el maestro y el estudiante. El espíritu y la filosofía del flamenco deben transmitirse de generación en generación. Aunque los bailes también pueden enseñarse de muchas otras formas, como la notación textual, el video y la notación gráfica [5].

El baile flamenco no solo es espiritual y muy emocional, sino que también necesita una técnica de baile muy exigente donde el ritmo juega un papel esencial. Incluso las técnicas más simples, en apariencia, son el resultado de las interacciones dinámicas entre los diferentes segmentos del cuerpo. El movimiento más característico del flamenco es el zapateado, realizado con los tradicionales zapatos de tacón. El zapateado es un movimiento percutivo repetitivo realizado con metatarso, pie plano y tacón [6]. Por lo tanto, se puede afirmar que los bailaores actúan como un batería [7] y el flamenco se considera, pues, una danza percutiva. El zapateado durante el baile genera una serie de ondas de choque que imponen exigencias inusuales al sistema musculoesquelético del bailaor [8]. El pie es el primer órgano que tiene que lidiar con las ondas de choque generadas por el impacto del tacón y/o metatarso. Las circunstancias que rodean al pie, los zapatos y el suelo, por ejemplo, tienen una gran importancia para atenuar, en cierta medida, estas ondas de choque [8]. Sin embargo, los mecanismos naturales de amortiguación, vendrían proporcionados por la alineación correcta del cuerpo. La absorción de las ondas de choque se realiza en primer lugar a nivel articular, por lo que se precisa de una mayor activación muscular para estabilizarlas [9]. Bailaores de flamenco mostraron una mayor incidencia de trastornos funcionales y lesiones en las rodillas, lumbares y cervicales, tal vez esto se deba a que la técnica del baile flamenco requiere una semiflexión de las rodillas, sin incorporar saltos verticales ni inclinaciones, lo que permitiría amortiguar las vibraciones que causan impacto en la columna vertebral [10].

Gracias a los avances tecnológicos de las últimas décadas se han podido conocer mejor los movimientos del cuerpo durante el baile. La biomecánica es una herramienta que proporciona información sobre el movimiento humano, pero también ayuda a comprender las fuerzas que actúan sobre el cuerpo y las interacciones que tienen lugar dentro de los segmentos corporales [11]. Sin embargo, teniendo en cuenta los resultados de Forczek et al. [12], la tecnología utilizada en los estudios biomecánicos del flamenco es muy sencilla, consecuentemente aún quedan bastantes cuestiones técnicas por investigar.

Teniendo en cuenta los exhaustivos análisis científicos del rendimiento técnico realizados en diversos estilos de danza, como los clásicos [13-15], la danza moderna [16-18], la danza irlandesa [19] y toda una serie de danzas folclóricas de diversas regiones del mundo [20], se echa en falta un profundo análisis técnico del baile flamenco en la literatura científica [12].

El objetivo principal de este estudio es identificar la alineación del cuerpo de la bailaora durante la ejecución del zapateado flamenco y proporcionar una descripción detallada al servicio de los que practican el baile flamenco: profesores, monitores y alumnos de diferentes niveles de perfeccionamiento. Este es el primer estudio que proporciona un enfoque integral para presentar simultáneamente resultados cinemáticos, dinámicos y ondas de audio generadas durante el zapateado, una de las técnicas más usada en la coreografía flamenca.

Material y Método

Nuestra investigación abarca un registro sincronizado de variables cinemáticas y dinámicas junto con señales auditivas generadas por los pies durante el zapateado.

• Declaración Ética

El estudio recibió la aprobación del Comité Ético de la Universidad Católica de San Antonio de Murcia, España (número: 6777.2017), y la investigación se llevó a cabo de acuerdo con los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki. La bailaora de flamenco dio su consentimiento informado para participar en la investigación.

• Materiales

Los análisis biomecánicos y acústicos se basaron en 30 ciclos compuestos por 6 secuencias repetidas de zapateados, ejecutados con la pierna derecha e izquierda (en total, 180 elementos) realizados por una bailaora profesional de flamenco (34 años; altura 1.65 m; peso 58 kg; IMC 21.30 kg/m2). Su experiencia practicando flamenco era de 31 años (16 años como profesional).

• Registro Biomecánico

La tarea de la participante fue realizar el test de zapateado ZAP 3 [21]: una secuencia de 6 pasos de zapateado con el pie derecho y el pie izquierdo (consultar la descripción detallada de la prueba ZAP 3 en la sección de Resultados). La duración del test fue de 15 s. Cada zapateado se realizó para obtener la mejor calidad posible de sonido, ejecutado lo más rápido posible y con un sonido rítmico melódico. La prueba se realizó con los zapatos específicos de tacón alto (6 cm de altura) dos veces: 1. cuando el pie derecho (el dominante) percutía sobre una placa de fuerza; 2. cuando el pie izquierdo (no dominante) zapateaba sobre la placa de fuerza.

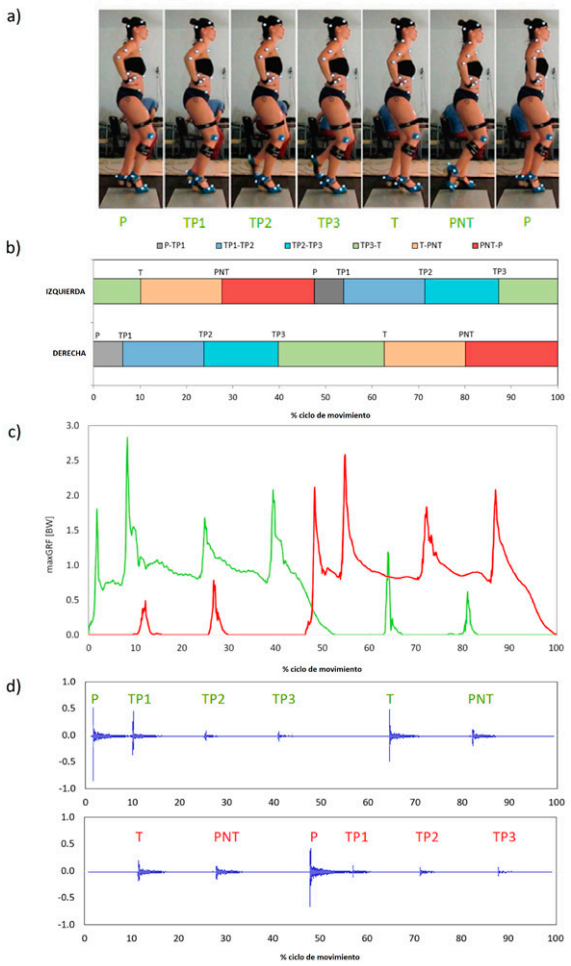

Fig. 1 Ciclo test ZAP-3 de flamenco: (a) posición del cuerpo; (b) duración media entre zapateados; (c) muestra de la componente vertical de la fuerza de reacción del suelo (GRF); (d) muestra de la forma de onda del sonido de los zapateados.

• Registro y Análisis de Datos

Las grabaciones cinemáticas se realizaron utilizando un sistema de captura de movimiento basado en video de 5 cámaras (frecuencia de

Rev Cent Investig Flamenco Telethusa
2024 • 17(19) • pp.17-29

grabación de 120 Hz) (Vicon 250; Oxford Metrics Ltd.; Oxford, Reino Unido), mientras que la medición de las fuerzas de reacción del suelo (GRF) se realizó con una plataforma de fuerza Kistler (frecuencia de 1000 Hz). Se fijaron 35 marcadores reflectantes infrarrojos al cuerpo del sujeto de acuerdo con el protocolo de Golem: 4 se colocaron en la cabeza, 4 en el tronco, 3 en la pelvis, 7 en cada miembro superior y 5 en cada miembro inferior.

Las señales acústicas generadas por los pies durante el zapateado se registraron con una cámara Casio EXILIM de alta velocidad EX-ZR1000, a 240 fps.

Se pidió a la participante que realizara la prueba ZAP-3 dos veces, para colocar tanto el pie derecho como el izquierdo en la plataforma de fuerza. Antes de la prueba, identificamos la pierna derecha como la dominante de la bailaora [22]

• Variables Analizadas

Todas las magnitudes cinemáticas, dinámicas y acústicas se presentan en ciclos sucesivos definidos como el tiempo transcurrido entre dos golpes consecutivos de Planta (P) realizados con la misma extremidad (Figura 1a) durante la prueba ZAP-3. Un único ciclo consistía en 6 zapateados consecutivos.

Se analizaron los siguientes parámetros:

- Tiempo de cada zapateado durante el test ZAP-3 —t_{GRF} [s];
- Valor máximo de la componente vertical de la fuerza de reacción del suelo (GRF) normalizada al peso corporal (BW) para los correspondientes zapateados—maxGRF [BW]
- Valor de la carga de la fuerza de reacción del suelo para los correspondientes zapateados—LR_{GRF} [BW]:

$$LR_{GRF} = \frac{maxGRF}{t_{GRF}}$$

- Cinemática de las articulaciones de la pelvis y los miembros inferiores durante la prueba ZAP-3: la inclinación lateral pélvica, la anteversión pélvica, la rotación pélvica, la abducción-aducción de cadera, la flexión-extensión de cadera, la rotación de cadera, la flexión-extensión de rodilla, la dorsiflexión plantar y la inversión-eversión en la articulación del tobillo.

Además, se decidió realizar un análisis cualitativo de la forma del modelo de onda del sonido del zapateado durante la ZAP-3.

• Análisis estadístico

Para el análisis de la fuerza de reacción del suelo, se utilizaron los siguientes descriptores estadísticos: media, desviación estándar, valores máximos y mínimos. La normalidad de distribución de todas las variables se comprobó con la prueba de Shapiro-Wilk. Las diferencias entre los valores de los parámetros analizados para los 6 diferentes zapateados durante la prueba ZAP3, (P, TP1, TP2, TP3, T, PNT) se evaluaron mediante ANOVA. Cuando se detectaron diferencias significativas, se realizaron pruebas post-hoc mediante la prueba de Conover-Iman. Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete Statistica 13.1 (StatSoft). Los resultados obtenidos se consideran significativos para $p \leq 0,05$.

Resultados

• Descripción del test de zapateado ZAP-3

El primer paso que se realiza en el test se denomina Planta (P) en la jerga flamenca. Lo realiza la pierna de apoyo. Sin embargo, el apoyo cambia de una extremidad a otra. Esta transferencia del peso del cuerpo a la segunda extremidad se produce rápidamente y se inicia antes de que P suceda y finaliza cuando se ha completado. En el momento del impacto del pie, la rodilla está flexionada y extendida, y el impacto del contacto con el suelo lo genera el antepié, con todas las cabezas metatarsales. Cuando la extremidad pasa al plano posterior, el tobillo está relajado pero con el pie en ligera flexión plantar. Esta pierna asume la responsabilidad de apoyo mientras se prepara para realizar el segundo zapateado que se producirá dejando caer el talón sobre el suelo. Esto se denomina Tacón de Planta (TP1). El golpe se realiza con el antepié apoyado en el suelo. El retropié se eleva proximalmente para tomar impulso y para golpear el suelo haciendo un sonido audible. Justo después de que la

otra pierna realice su zapateado, llamado Tacón (T), la pierna de apoyo repite un Tacón de Planta (TP2) cuando el antepié está en el suelo. El último paso dado en esta posición por la pierna de apoyo, mientras el antepié está terminando su movimiento, es el Tacón de Planta (TP3), cuando el talón cae al suelo después de que la segunda pierna realice el zapateado de Punta (PNT). El quinto golpe de pie de la extremidad derecha (la que no es de apoyo) lo proporciona el talón, el impacto del talón, el llamado Tacón (T), contra el suelo para hacer el sonido por delante del plano frontal. Este sucede con la flexión y extensión de la articulación de la rodilla y el pie en dorsiflexión. El último sonido también se realiza flexionando y extendiendo la rodilla, que apenas es levantada del suelo hacia el plano posterior, ya que, el impulso para golpear el suelo hacia atrás es suficiente. El pie está en flexión plantar, y el golpe se da golpeando la punta del pie en el suelo detrás de la base de sustentación. Este zapateado se denomina Punta (PNT) (Figuras 1 y 2, Tabla 1).

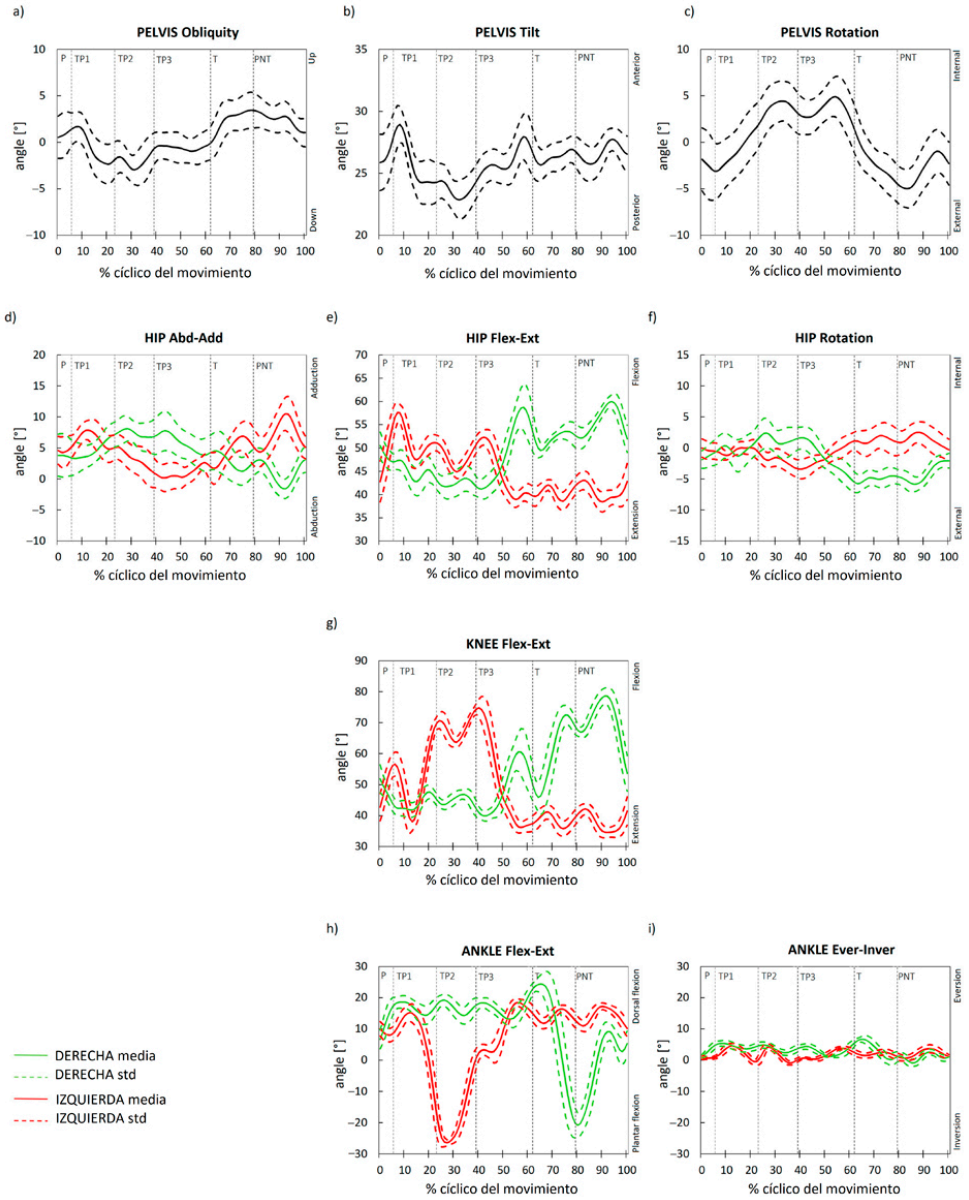

Figura 2. Cinemática del movimiento corporal en la prueba Zap-3: (a) inclinación lateral de la pelvis, (b) anteversión pélvica, (c) rotación de la pelvis, (d) abducción-aducción de cadera, (e) flexión-extensión de la cadera, (f) rotación de la cadera, (g) flexión-extensión de la rodilla, (h) flexión-extensión del tobillo, (i) eversión-inversión del tobillo.

Rev Cent Investig Flamenco Telethusa
2024 • 17(19) • pp.17-29

Tabla 1. Valor máximo del componente vertical de la fuerza de reacción del suelo y valor de la carga de la fuerza de reacción del suelo (GRF) adaptada al peso corporal para el test ZAP-3.

		maxGRF [BW]			LR_{GRF} [BW/s]		
		Media ± std	mín máx	Prueba de Shapiro-Wilk (p)	Media ± std	mín máx	Prueba de Shapiro-Wilk (p)
DERECHA	PAG	2,22 ± 0,60	0,84–2,98	**0,48**	115,11 ± 52,37	33,74–241,98	**0,28**
	TP1	2,71 ± 0,23	2,32–3,11	**0,97**	260,94 ± 66,23	159,35–387,01	**0,94**
	TP2	1,91 ± 0,42	1,35–3,11	0,01	166,98± 102,70	36,21–319,03	**0,17**
	TP3	1,88 ± 0,47	0,91–2,30	0,02	152,39 ± 62,70	55,87–230,35	**0,12**
	t	1,06 ± 0,30	0,34–1,38	**0,09**	113,88 ± 69,61	24,33–308,22	**0,04**
	PNT	0,59 ± 0,23	0,19–0,94	**0,86**	78,69 ± 48,76	6,95–186,55	**0,82**
IZQUIERDA	PAG	2,35 ± 0,42	1,46–3,08	**0,82**	117,77 ± 34,11	69,53–205,48	**0,17**
	TP1	2,71 ± 0,35	2,19–3,60	**0,15**	243,47 ± 87,74	95,09–414,82	**0,53**
	TP2	1,99 ± 0,14	1,69–2,20	**0,95**	96,78 ± 34,96	60,17–164,72	0,02
	TP3	2,42 ± 0,31	1,93–2,93	**0,81**	185,45 ± 37,15	137,88–253,65	**0,25**
	t	0,62 ± 0,24	0,24–1,01	**0,68**	47,02 ± 22,15	22,3–87,60	0,04
	PNT	0,65 ± 0,19	0,26–0,94	**0,81**	61,67 ± 21,95	19,96–111,24	**0,87**

El valor p para la distribución normal está en negrita; maxGRF-valor máximo del componente vertical de la fuerza de reacción del suelo; LR_{GRF}-valor de la tasa de carga de la fuerza GRF; BW-peso corporal; std-desviación estándar. Pasos del zapateado durante la prueba ZAP-3: P-Planta; TP1, TP2, TP3-Tacón de Planta; T-Tacón; PNT-Punta.

La prueba ANOVA de Friedman reveló diferencias estadísticamente significativas en el maxGRF y el impulso de la fuerza LRGRF entre las sucesivas pisadas (P, TP1, TP2, TP3, T, PNT) durante el test ZAP3 ($p \leq 0,05$). Las pruebas post hoc mostraron que los valores maxGRF son significativamente diferentes para casi todos los pares de zapateados. No hubo diferencias entre el maxGRF obtenido para P y TP3, y entre T y PNT para la extremidad inferior izquierda. También se observaron diferencias estadísticamente significativas para los valores de la tasa de carga entre la mayoría de los pares de zapateados analizados (Tabla 2).

Discusión

El principal objetivo de nuestro estudio ha consistido en analizar la técnica de zapateado del baile flamenco. Se ofrece una descripción detallada del conjunto de zapateados más comúnmente utilizado en la coreografía flamenca. Debido al zapateado repetitivo de los pies con zapatos de tacón alto contra el suelo, el flamenco se reconoce como baile percutivo en el que el bailaor es músico percusionista, que utiliza su cuerpo como instrumento para producir diferentes sonidos y ritmos mediante los pies golpeando el suelo, las manos dando palmas o impactando sobre su propio cuerpo [2].

• Cinemática

• Posición inicial del cuerpo-Cómo desarrollar la postura del baile flamenco

La actitud desafiante y el verdadero espíritu del flamenco se reflejan en la buena postura del bailaor. Este hecho permitirá una mayor libertad de movimiento para los brazos, la cabeza, el tronco y los pies para conseguir destacar y realizar el zapateado de forma impecable. También mejorará su confianza en la ejecución del baile. Por lo tanto, de pie, es necesario disociar a la altura de las caderas la parte superior del cuerpo de la inferior. Para mantener el pecho erguido, desafiante, orgulloso, debe elevarse conscientemente, alejándolo de las caderas; los hombros relajados permitirán que los omóplatos descansen ligeramente sobre la caja torácica. La cabeza debe estar erguida sobre el cuello extendido la mirada hacia delante, nunca hacia el suelo ni hacia los pies (Figura 1a).

Tabla 2. Resultados de la prueba post-hoc de Conover-Iman para maxGRF y LRGRF para los golpes de pie subsiguientes en la prueba ZAP3.

maxGRF						
DERECHA						
	P	**TP1**	**TP2**	**TP3**	**T**	**PNT**
P		<0.05 *	0.02 *	0.09	<0.05 *	<0.05 *
TP1	<0.05 *		<0.05 *	<0.05 *	<0.05 *	<0.05 *
TP2	0.02 *	<0.05 *		0.52	<0.05 *	<0.05 *
TP3	0.09	<0.05 *	0.52		<0.05 *	<0.05 *
T	<0.05 *	<0.05 *	<0.05 *	<0.05 *		0.01 *
PNT	<0.05 *	<0.05 *	<0.05 *	<0.05 *	0.01 *	
IZQUIERDA						
	P	**TP1**	**TP2**	**TP3**	**T**	**PNT**
P		<0.05 *	<0.05 *	0.19	<0.05 *	<0.05 *
TP1	<0.05 *		<0.05 *	<0.05 *	<0.05 *	<0.05 *
TP2	<0.05 *	<0.05 *		<0.05 *	<0.05 *	<0.05 *
TP3	0.19	<0.05 *	<0.05 *		<0.05 *	<0.05 *
T	<0.05 *	<0.05 *	<0.05 *	<0.05*		0.6
PNT	<0.05 *	<0.05 *	<0.05 *	<0.05*	0.6	
LR_{GRF}						
DERECHA						
	P	**TP1**	**TP2**	**TP3**	**T**	**PNT**
P		<0.05 *	0.16	0.16	0.7	0.07
TP1	<0.05 *		<0.05 *	<0.05 *	<0.05 *	<0.05 *
TP2	0.16	<0.05 *		1	0.07	<0.05 *
TP3	0.16	<0.05 *	1		0.07	<0.05 *
T	0.7	<0.05 *	0.07	0.07		0.16
PNT	0.07	<0.05 *	<0.05 *	<0.05 *	0.16	
IZQUIERDA						
	P	**TP1**	**TP2**	**TP3**	**T**	**PNT**
P		<0.05 *	<0.05 *	<0.05 *	<0.05 *	<0.05 *
TP1	<0.05 *		<0.05 *	0.31	<0.05 *	<0.05 *
TP2	<0.05 *	<0.05 *		<0.05 *	<0.05 *	<0.05 *
TP3	<0.05 *	0.31	<0.05 *		<0.05 *	<0.05 *
T	<0.05 *	<0.05 *	<0.05 *	<0.05 *		0.42
PNT	<0.05 *	<0.05 *	<0.05 *	<0.05 *	0.42	

* p ≤ 0,05; maxGRF-valor máximo del componente vertical de la fuerza de reacción del suelo; LRGRF-valor de la carga de la fuerza GRF; BW-peso corporal; std-desviación estándar. Pasos del zapateado durante la prueba ZAP-3: P-Planta; TP1, TP2, TP3-Tacón de Planta; T-Tacón; PNT-Punta.

Rev Cent Investig Flamenco Telethusa
2024 • 17(19) • pp.17-29

- **Alineación del cuerpo durante el zapateado**

La percusión de los pies produce vibraciones en todo el cuerpo que deben ser atenuadas por las articulaciones y los músculos de las piernas para que la frecuencia e intensidad no provoque lesiones corporales [8]. La intensidad total del impacto en el suelo se reduce mediante reacciones de amortiguación en los tobillos, las rodillas y las piernas. Durante un zapateado ejecutado con sonoridad adecuada, nuestros registros revelaron que la componente vertical de la GRF en tobillo, rodilla y cadera oscilaban entre 0,6 y 2,7 BW (Figura 1a, c). Así pues, entre los elementos clave durante la ejecución del zapateado se encuentra una configuración adecuada de las articulaciones de las extremidades inferiores y la actividad pertinente de los músculos que las estabilizan [9]. «Los miembros inferiores, sus músculos y la parte abdominal del cuerpo son los principales responsables del éxito en la ejecución de la técnica del baile que se realice. La capacidad de contraerlos y relajarlos con rapidez determinan la dinámica necesaria para el baile flamenco; la capacidad de reaccionar a tiempo con grupos musculares específicos influye en la utilización racional de la energía del bailaor, así como la propia apariencia de los músculos en gran medida contribuye a la expresión estética de la interpretación del baile» [23].

Una postura correcta con las caderas y rodillas flexionadas, la espalda recta y los pies alineados con las caderas (Figura 1a) puede proporcionar mecanismos eficaces de amortiguación. En medio de este eje, tenemos la pelvis con una doble tarea: en primer lugar, es un nexo de unión entre los miembros inferiores y, en segundo lugar, sirve de base a la parte superior del cuerpo que se apoya en las articulaciones de la cadera [24]. En nuestro test de zapateado realizado con zapatos de tacón, la inclinación pélvica anterior máxima fue de 29º con un rango de movimiento (RoM) de 6º. Esta movilidad está acompañada por RoM de flexión de cadera de 20º. La rodilla se mantiene en un RoM de flexión (~40º).

Teniendo en cuenta la adaptación ergonómica en un zapateado rápido, la rodilla es el principal agente de absorción, amortiguando hasta cinco veces el impacto del pie contra el suelo [25]. La articulación de la rodilla, debido a la orientación del segmento espacial del fémur y la tibia, se encuentra en la mejor posición de todas las articulaciones de la extremidad inferior para ayudar a atenuar el GRF vertical [26]. Por lo tanto, Echegoyen et al. [6] remarcaron este problema en España, donde algunos profesores enseñan a los alumnos a realizar el zapateado sin flexión de rodilla o con mínima flexión de rodilla. Cuando la rodilla está extendida, se produce menos absorción a través de su sistema musculo tendinoso, aumentando la fuerza transmitida a las estructuras pasivas de la rodilla y las articulaciones superiores [6,27]. Además, la carga dinámica en el zapateado flamenco tiene un patrón inusual debido a los zapatos tradicionales de tacón que llevan los bailaores [8].

El control de la posición de la pelvis durante el zapateado requiere una actividad isométrica de la musculatura periférica, debido principalmente a la necesidad de estabilizar el tronco y la pelvis. En general, observamos oscilaciones espaciales limitadas de la pelvis en nuestra participante (Figura 2b). Según Haight [28], el mayor «respaldo» para la danza requiere de unos miembros inferiores fuertes y músculos fuertes del tronco. Los movimientos de la pelvis están limitados por los músculos de la cadera, mientras que la musculatura dorsal y abdominal controla la alineación del tronco sobre la pelvis. Las posturas y los movimientos que implican la extensión final forman parte integrante de la estética del baile flamenco. El análisis biomecánico del aparato locomotor humano reveló que las situaciones desfavorables son aquellas en las que los músculos se someten a una tensión isométrica prolongada y cuando los músculos estabilizan las bases del bio mecanismo multisegmento [14]. Parece que el flamenco se encuadra bien en el esquema de las cargas estáticas mencionadas. La estética flamenca requiere el control y la inmovilidad del tronco y el cuello durante el zapateado y una posición sostenida de la columna vertebral cercana al límite funcional [7,29]. Esto provoca una rigidez que puede ocasionar sobrecargas en la musculatura de la espalda. El uso de los músculos abdominales y extensores de la cadera (glúteos) es de gran importancia en el correcto proceso estabilizador de la pelvis [14].

Los músculos abdominales estabilizan el tronco y limitan la inclinación pélvica anterior que resulta perjudicial en caso de ser excesiva. Los resultados del estudio de Gorwa et al. (2020) muestran la importancia de la musculatura abdominal para mantener la pelvis estable en el plano sagital y la eficacia de su fortalecimiento, por lo que se recomienda sea evaluada en bailarines jóvenes [14]. Estos músculos tienen la misma importancia en el flamenco, donde la principal tarea del movimiento se realiza con las extremidades inferiores mientras se mantiene la pelvis estabilizada. Wilmerding et al. [29], cuyo estudio se

centró en determinar el grado y la magnitud de los cambios de angulación en la inclinación pélvica en jóvenes bailaores, demostró que 4 de los 16 sujetos que practicaban flamenco mostraban un aumento de la inclinación pélvica anterior, que se correlaciona con la lordosis lumbar. Un aumento de la lordosis lumbar se consideraría generalmente la acomodación biomecánica de la columna vertebral para ayudar a absorber la mayor carga de impacto vertical [30]. Una lordosis lumbar profunda provoca elevadas fuerzas de rozamiento y, consecuentemente, desgaste en los discos intervertebrales y las partes posteriores de las vértebras. Los bailaores expertos diferirían de los principiantes en el control postural de la pelvis, lo que sugiere que el control de la pelvis requiere una práctica prolongada [31]. La valoración de la coordinación de tronco y el control postural puede ser importante para determinar patrones de movimiento asociados a altos niveles de destreza y trabajo [32].

- **Descripción Detallada de la Actividad Locomotora durante el test ZAP-3**

En el zapateado intervienen muchos patrones de movimiento de diferentes partes del cuerpo, además de un elevado control muscular. En el momento en que el pie golpea el suelo, la extremidad debe estar en una posición óptima para absorber parte del impacto generado, preservando al mismo tiempo la estabilidad postural y realizar el zapateado con la intensidad y musicalidad adecuadas. Así pues, las posiciones características de cada articulación durante cada zapateado serán expuestas a continuación. Dado que análisis cualitativo reveló una enorme similitud en las ejecuciones de movimiento de las extremidades inferiores derecha e izquierda, nuestra descripción se centro en los datos de la pierna derecha. Durante el zapateado P, la pelvis está inclinada hacia delante (~26º), y la articulación de la cadera se flexiona (~50º), acompañada de la flexión de la rodilla (~50º) y la flexión plantar del tobillo (~7º). En TP1, la inclinación anterior de la pelvis aumenta hasta alcanzar 29º, y posteriormente disminuye en TP2 y TP3 cuando oscila entre 23º y 25º. La cadera se extiende ligeramente (hasta ~46º) y oscila entre 46º-42º en los zapateados TP2 y TP3. Al mismo tiempo, la rodilla reduce su flexión a 43º, y a lo largo de TP2 y TP3, cuando el talón se eleva, la flexión de la rodilla oscila entre 40º y 49º. La flexión plantar forma parte de la sinergia flexora primitiva (acompaña a la cadera y a la flexión de la rodilla). El aumento de la flexión plantar en TP1 a 19º se mantiene dentro de pequeñas fluctuaciones a lo largo de los dos siguientes zapateados (TP2, TP3). El zapateado T es precedido por la descarga de peso de la pierna, levantando el pie del suelo y moviendo la extremidad hacia delante para golpear el suelo con el tacón. Se acompaña de un aumento repentino de una anteversión pélvica (28º), que oscila entre 28º y 26º durante el zapateado PNT hasta que se inicia el siguiente golpe de P. La máxima anteversión pélvica antes del zapateado T va acompañada de una mayor flexión de la cadera (~60º), que reduce su flexión tras el impacto (a ~51º) y permanece estable en zapateado de PNT. A continuación, alcanza su máximo (~62º), preparando la extremidad para otro ciclo de pasos con el otro pie. Del mismo modo, justo antes del golpe T, la flexión de la articulación de la rodilla aumenta (a ~60º) para hacer avanzar la pierna e impactar por delante del cuerpo. Mientras golpea el suelo, la rodilla se extiende hasta ~46º y vuelve a flexionarse visiblemente para golpear el suelo con los dedos de los pies en PNT. Después, la flexión de la rodilla disminuye para prepararse para otro zapateado de P. La articulación del tobillo continúa en flexión plantar, alcanzando su máximo durante el zapateado de T (~26º). Posteriormente, se produce una disminución de la flexión plantar para alcanzar la dorsiflexión máxima en el zapateado de PNT (~20º). Acto seguido, el pie se prepara para para el zapateado P.

Para comprender en qué medida trabaja el cuerpo del bailaor flamenco durante el zapateado, tomamos como referencia el patrón motor de la marcha, la actividad cotidiana básica del ser humano. En posición anatómica la anteversión de la pelvis es de 10º. Durante la pisada típica en la marcha, la anteversión pélvica aumenta 4º, y toda la amplitud de movimiento que alcanza es de 40º[24]. Pero en nuestro test de zapateado, la anteversión pélvica es de 29º, con un RoM de 6º, esta movilidad va acompañada de 20º de la RoM de la cadera durante toda la flexión. La flexión de la cadera permite que la pelvis y el tronco permanezcan erguidos. El rango de flexión normal de la cadera durante la marcha libre es de 40º. El cambio de movimiento de flexión a extensión es gradual. Oscila entre 30º de flexión y 10º de extensión. La rodilla también permanece en el rango de movimiento de flexión (~40º). La flexión parcial de la rodilla sirve para compensar la elevación de los talones [29], y contribuye a una amortiguación controlada. El movimiento normal de la rodilla durante la marcha representa grados mayores y menores de flexión dentro del rango completo que va de 0º a 60º. Cuando la velocidad de marcha más rápida se asocia a una mayor flexión de la rodilla (especialmente en

Rev Cent Investig Flamenco Telethusa
2024 • 17(19) • pp.17-29

respuesta a la carga). El elemento más móvil de la unidad locomotora es la articulación del tobillo con 42º de rango completo de movimiento durante la marcha; sin embargo, en las actividades cotidianas, el RoM requerido en el plano sagital se reduce significativamente, con un máximo de 25º para caminar.

Simultáneamente, los movimientos del plano frontal y transversal de la pelvis son seguidos por la articulación de la cadera. En general, la pelvis muestra pequeñas oscilaciones (~6º) en el plano frontal, mientras que, al caminar, su amplitud de movimiento es de 8º. Durante la aceptación del peso al caminar, el lado contralateral de la pelvis desciende una media de 4º en el plano frontal. En la fase de pre-oscilación de la marcha, la pelvis homolateral baja unos 4º debido a que los abductores contralaterales ceden ante la alta demanda de la carga. Sin embargo, en un plano transversal, el RoM (~10º) del zapateado es similar a las oscilaciones de la marcha (5º hacia delante y 5º hacia atrás). La rotación máxima hacia delante contribuye a la longitud del paso de la extremidad adelantada. La rotación máxima hacia atrás corresponde a la extremidad retrasada.

Para un movimiento normal del pie, los planos de movimiento sagital y frontal deben ser suaves para otorgar estabilidad articular. La mayor parte de la eversión/inversión del tobillo se produce en la articulación subastragalina. Durante la marcha, su amplitud de movimiento en el plano frontal es de 6.3º de eversión y 8.3º de inversión [33]; nuestra participante mostró ~10º de RoM (8º de eversión y 2º de inversión). Durante la marcha, el movimiento del pie es equivalente al movimiento de todos los huesos de la extremidad inferior. Como mecanismo complejo que amortigua el cuerpo y se adapta a superficies irregulares, el pie proporciona tracción para el movimiento, conciencia de la posición articular y corporal para el equilibrio y se configura como la principal palanca para la propulsión [34].

- **Los pies durante el zapateado**

Los bailaores son atletas de élite que realizan unos patrones únicos y específicos de movimiento [21,35,36]. En el flamenco, el zapateado debe realizarse muy rápido y con gran precisión, estabilizando el tronco y facilitando al mismo tiempo el movimiento de los brazos. La bailaora de nuestro estudio alcanzó una frecuencia media de 11,8 zapateados/s. Los movimientos de los pies son de gran importancia: cualquier golpe con cualquier parte del pie no es un acto de fuerza [25]. El zapateado requiere conocimientos específicos sobre cómo emplear la fuerza en el golpe. El movimiento debe realizarse de forma dinámica: el pie se dirige hacia el suelo. El baile flamenco es un baile hacia abajo, hacia el suelo, hacia la tierra, la energía más intensa en ese lugar concreto. El pie es la «raíz» entre el cuerpo y la tierra. Cualquier contacto con el suelo realizado con cualquier parte del pie durante el zapateado debe ser corto (ver Tabla 1). Entonces, el elevado impulso de fuerza asegura un desplazamiento dinámico y rápido del pie, siguiendo la 2ª ley de Newton. Las cargas verticales más dinámicas son las que registran los valores más altos de carga. Las bailaoras de flamenco llevan zapatos de tacón alto y realizan rápidos movimientos de pies que implican contracciones concéntricas tanto de los flexores plantares como de los flexores dorsales (en nuestro caso dentro de un rango de movimiento de 42º de amplitud). El cambio de la posición del tobillo puede disminuir la estabilidad lateral del mismo; por lo tanto, la alta frecuencia del zapateado se debe realizar con un desplazamiento muy limitado de los pies. Si el pie que realiza cualquier tipo de golpe se aleja demasiado, tendrá que recorrer una distancia mayor para continuar la técnica. Así, cuando el pie está alejado de la línea del cuerpo, aunque su masa sea sólo el 1,4% del peso corporal [37], aumenta el momento de inercia de toda la extremidad. El mayor tiempo necesario para desplazar el pie afecta a la calidad y cantidad de la frecuencia del trabajo de pies y a su «soniquete», hecho que puede conducir a una fatiga prematura. Esto puede alterar la estabilidad del cuerpo y provocar desplazamientos exagerados el centro de masa (COM). La posición correcta de la lordosis lumbar ayuda a la pelvis a estabilizarse y distribuir el peso corporal entre las extremidades inferiores, ya que ayuda a mantener el centro de masa del tronco por encima de las caderas [30]. En cuanto a las oscilaciones suaves de nuestro estudio en el segmento pélvico en , podemos suponer que la posición del COM permanece estable. Mantener la estabilidad es una tarea muy exigente en términos de actividad muscular, porque los movimientos realizados distan mucho de ser ergonómicos. Además, cualquier desequilibrio muscular puede afectar la capacidad del cuerpo para amortiguar las vibraciones. Para evitarlo, la pierna de apoyo debe estar estable para controlar la parte superior del cuerpo del bailaor y reducir los movimientos innecesarios.

- **Cinética**

Los zapatos tradicionales de tacón utilizados

por las bailaoras de flamenco no proporcionan una adecuada amortiguación [8,38]. Por lo tanto, al golpear el suelo, las bailaoras se ven sometidas a graves impactos sobre las estructuras de la pierna de apoyo debido a elevados picos de fuerza que son varias veces su peso corporal [6,19]. Como revelaron nuestros registros, los valores medios de la componente vertical de la fuerza de reacción al suelo oscilaban entre 0,6 y 2,7 BW. Cuando el antepié golpea el suelo (P), alcanza la GRF alcanza el doble del peso corporal. La fuerza de impacto inicia una rápida caída del talón (TP1), que genera un pico 2,7 veces el BW. Esto es seguido por los zapateados TP2 y TP3, con el antepié apoyado mientras el tacón golpea el suelo. El mayor impacto en ambos movimientos del pie alcanza el doble del BW. Poco después de la rápida transferencia del peso del cuerpo a la segunda extremidad, el tacón golpea nuevamente el suelo (T) delante del cuerpo, con el antepié levantado, y provocando un pico de fuerza vertical de la GRF igual al BW. Por último, el menor de los impactos, el realizado por la puntera en el zapateado de PNT (0,6 BW).

Por otro lado, durante la marcha, la magnitud de la componente vertical de la GRF varía con el cambio de posición de la extremidad. Se generan dos picos durante la fase de apoyo (~110 BW cada uno) separados por el valle (~80% BW) [24]. En cambio, el zapateado se realiza para producir sonido con el volumen y la musicalidad pertinente. Esto a su vez se consigue golpeando el suelo con la parte precisa del pie mientras el cuerpo se mantiene en la posición correcta. Analizando cualitativamente la onda sonora registrada en un solo ciclo de ZAP-3 (Figura 1d), se puede comprobar que los valores más altos de volumen sonoro se corresponden con los impactos del pie en el suelo en los que la componente vertical de la respuesta del suelo es la más alta (P, TP1).

Orientaciones para futuras investigaciones

Teniendo en cuenta que el análisis biomecánico se centra no sólo en las fuerzas que actúan sobre el cuerpo, la cinemática de los movimientos, sino también en la actividad muscular, de cara a futuros estudios, se debería incluir también la electromiografía en la investigación del flamenco. Esto ayudará a comprender cómo el sistema nervioso planifica y controla la absorción de impactos, lo cual es esencial para diseñar una estrategia que prepare a los músculos para absorber los impactos.

Conclusiones

Este es el primer estudio que evalúa de forma exhaustiva la postura corporal de una bailaora flamenca durante la ejecución del zapateado. Explicamos desde una perspectiva biomecánica el significado del trabajo coordinado de los segmentos corporales para generar los patrones rítmicos del zapateado. Esperamos que nuestros resultados puedan ayudar a los practicantes de baile flamenco para verificar su disposición corporal intuitiva mientras bailan.

• Información para tener en consideración

La enseñanza del baile flamenco requiere herramientas muy específicas para la formación del artista, pero al mismo tiempo debe proporcionar advertencias, a tener muy en cuenta, para reducir el riesgo de sobrecarga y de posibles lesiones. Los profesores e instructores de baile pueden aprender con esta investigación una técnica preventiva, más segura y eficaz para transmitir a sus alumnos.

1. Comenzar con una velocidad lenta: practicar despacio y progresivamente elementos individuales antes de unirlo todo para realizar gestos globales con la totalidad de elementos integrados.

2. Cuando aumente la velocidad, practicar el zapateado sólo a la máxima velocidad con la que se pueda realizar cada golpe de pie con precisión y con un sonido audible y limpio.

3. Presta especial atención a la alineación de todo el cuerpo. Gracias a la correcta posición del cuerpo, la ejecución dinámica, suave y rítmica del zapateado será segura para el bailaor.

4. Seguir siempre el compás es el requisito básico e indispensable.

5. Contraer de forma conscientemente los estabilizadores pélvicos (músculos abdominales y de la cadera).

Financiación

El estudio contó con el apoyo del Ministerio polaco de Ciencia y Educación Superior realizado en el marco del proyecto «Estudios biomecánicos de sistemas y procesos biológicos» (proyec-

to no. 07/030/BK_21/2054) y por el Centro de Investigación Flamenco Telethusa, número de proyecto PI/A1/2015.

Referencias Documentales

1. UNESCO-United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization. 2010. Decision of the Intergovernmental Committee: 5.COM 6.39. [Website]. https://ich.unesco.org/en/decisions/5.COM/6.39. Consultada 01 sep 2023.
2. Cuellar-Moreno M. 2016. Flamenco dance. Characteristics, resources and reflections on its evolution. Cogent Arts & Humanities 3(1): 1260825.
3. De Santiago PP. 2018. Flamenco: de la marginalidad social a la referencia cultural pasando por la apropiación política. Revista de Investigación sobre Flamenco La Madrugá 15: 91-115.
4. Diamond C. 2018. Being Carmen: Cutting Pathways towards Female Androgyny in Japan and India. New Theatre Quarterly 34(4): 307-325.
5. Ropero M. 1995. El término flamenco. Historia del Flamenco. Sevilla: Tartesos.
6. Santaella C. 2010. Ensino-aprendizagem da dança flamenca à luz da psicanálise. [Tesis doctoral]. Campinas: Universidade Estadual de Campinas. https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/779202. Consultada 01 sep 2023.
7. Cliff DP, Reilly JJ, Okely AD. 2009. Methodological considerations in using accelerometers to assess habitual physical activity in children aged 0–5 years. Journal of science and medicine in sport 12(5): 557-567.
8. Bejjani F, Halpern N, Pio A, Dominguez R, Voloshin A, Frankel V. 1988. Musculoskeletal demands on flamenco dancers: A clinical and biomechanical study. Foot Ankle 8(5): 254-263.
9. Brogden CM, Armstrong R, Page R, Milner D, Norris D, Greig M. 2018. Use of triaxial accelerometry during the dance aerobic fitness test: Considerations for unit positioning and implications for injury risk and performance. J Danc Med Sci 22(3): 115-122.
10. Bowen C, Weaver K, Relph N, Greig M. 2019. The Efficacy of Lower-Limb Screening Tests in Predicting PlayerLoad Within a Professional Soccer Academy. J Sport Rehabil 28(8): 860-865.
11. Moulder S, Armstrong R, Greig M, Brogden C. 2021. Effect of Kinesiology tape on tri-axial accelerometry during the Dance Aerobic Fitness Test. J Danc Med Sci 25(3): 191-199.
12. Pedersen ME, Wilmerding M, Kuhn BT, Enciñias-Sandoval E. 2001. Energy requirements of the American professional flamenco dancer. Med Probl Perform Artist 16(2) :47-52.
13. Vargas-Macías A. 2009. El Baile Flamenco: Estudio Descriptivo, Biomecánico y Condición Física. Cádiz: Centro de Investigación Flamenco Telethusa.
14. Vargas-Macías A, Montesinos JLG, Vicente JM, Lozano SG. 2008. La necesidad de la preparación física en el baile flamenco. Rev Cent Investig Flamenco Telethusa 1(1): 4-6.
15. Angioi M, Metsios G, Koutedakis Y, Wyon MA. 2009. Fitness in contemporary dance: a systematic review. Int J Sports Med 30(7): 475-484.
16. Bronner S, Ojofeitimi S, Spriggs J. 2003. Occupational musculoskeletal disorders in dancers. Phys Ther 8(2): 57-68.
17. Motta-Valencia K. 2006. Dance-related injury. Phys Med Rehabil Clin N Am 17(3): 697-723.
18. Baena-Chicón I, Gómez-Lozano S, Abenza-Cano L, García O, Fernández-Falero MR, Vargas-Macías A. 2020. Las algias como factor predisponente de lesión en estudiantes de baile flamenco. Cultura, Ciencia y Deporte 15(44): 245-53.
19. Forczek W, Baena-Chicón I, Vargas-Macías A. 2016. Variación de la posición del centro de gravedad en una bailaora profesional durante el zapateado flamenco. Rev Cent Investig Telethusa 9(10): 30-6.
20. Pedersen M, Elizabeth, Wilmerding V. 1998. Injury profiles of student and professional flamenco dancers. J Dance Med Sci 2(3): 108-14.
21. Ward DS, Evenson KR, Vaughn A, Rodgers AB, Troiano RP. 2005. Accelerometer use in physical activity: best practices and research recommendations. Med Sci Sports Exerc 37(11Suppl): S582-S588.
22. Wijndaele K, Westgate K, Stephens SK, et al. 2015. Utilization and harmonization of adult accelerometry data. Med Sci Sports Exerc 47(10): 2129-2139.
23. Domene PA, Easton C. 2014. Combined triaxial accelerometry and heart rate telemetry for the physiological characterization of Latin dance in non-professional adults. J Danc Med Sci 18(1): 29-36.
24. Cain KL, Gavand KA, Conway TL, Peck E, Bracy NL, Bonilla E, Sallis JF. 2015. Physical activity in youth dance classes. Pediatrics 135(6): 1066-1073.
25. Nagy P, Brogden C, Orr G, Greig M. 2022. Within-and between-day loading response to ballet choreography. Research in Sports Medicine 30(6): 616-627.
26. Armstrong R, Brogden CM, Milner D, Norris D, Greig M. Functional movement screening as a predictor of mechanical loading and performance in dancers. Journal of Dance Medicine & Science. 2019;22(4):203-208.
27. Voloshin AS, Bejjani FJ, Halpern M, Frankel VH. 1989. Dynamic loading on flamenco dancers: a biomechanical study. Hum mov sci 8(5):503-513.
28. Zhang N, Gómez-Lozano S, Armstrong R, Liu H, Vargas-Macías A. 2022. External load of flamenco Zap-3 footwork test: use of PlayerLoad concept with triaxial accelerometry. Sensors 22(13):4847.
29. Zhang N, Gómez-Lozano S, Armstrong R, Liu H, Vargas-Macías A. 2023. Ankle Active Range of Motion as an Essential Factor of Footwork Technique in the Prevention of Overuse Injuries in Flamenco Dancers. Arch Med Deporte 40(2): 77-84.
30. Smith MP, Horsch A, Standl M, Heinrich J, Schulz H. 2018. Uni-and triaxial accelerometric signals agree during daily routine, but show differences between sports. Scientific reports 8(1): 15055.
31. Migueles JH, Cadenas-Sanchez C, Ekelund U, Delisle Nyström C, Mora-Gonzalez J, Löf M, Ortega FB. 2017. Accelerometer data collection and processing criteria to assess physical activity and other outcomes: a systematic review and practical considerations. Sports medicine 47(9): 1821-1845.
32. Atallah L, Lo B, King R, Yang GZ. 2011. Sensor positioning for activity recognition using wearable accelerometers.

IEEE transactions on biomedical circuits and systems 5(4): 320-329.

33. Bredt SdGT, Chagas MH, Peixoto GH, Menzel HJ, de Andrade AGP. 2020. Understanding player load: Meanings and limitations. J Hum Kinet 71: 5-9.
34. Scanlan AT, Fox JL, Milanovic Z, Stojanovic E, Stanton R, Dalbo VJ. 2021. Individualized and fixed thresholds to demarcate PlayerLoad intensity zones produce different outcomes. J Strength Cond Res 35(7): 2046-2052.
35. Bullock GS, Schmitt AC, Chasse P, Little BA, Diehl LH, Butler RJ. 2021. Differences in PlayerLoad and pitch type in collegiate baseball players. Sports Biomech 20(8): 938-946.
36. Armstrong R, Brogden CM, Greig M. 2019. The Star Excursion Balance Test as a predictor of mechanical loading and performance in dancers. Gazz Med Ital Arch Sci Med 178(3): 98-105.
37. Armstrong R, Brogden CM, Greig M. 2020. Joint Hypermobility as a Predictor of Mechanical Loading in Dancers. J Sport Rehabil 29(1): 12-22.
38. Zhang N, Gómez-Lozano S, Armstrong R, Liu H, Vargas-Macías A (in press). The Effect of Lower Limb Balance Ability and Bilateral Asymmetry on Flamenco Footwork. Cultura, ciencia y deporte.