

## Análisis biomecánico en la marcha deportiva entre deportistas de iniciación y alto rendimiento

### Biomechanical analysis in sports walk among beginners and high performance athletes

Kevin Paúl Criollo Romero,<sup>I</sup> Francis Daniel Espinoza Saltos,<sup>I</sup> Santiago Calero Morales,<sup>I</sup> Enrique Chávez Cevallos,<sup>I</sup> Isabel María Fleitas Díaz<sup>II</sup>

<sup>I</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Ecuador.

<sup>II</sup> Universidad de Ciencias de la Cultura Física y el Deporte "Manuel Fajardo". Cuba.

---

#### RESUMEN

**Introducción:** El reglamento de la especialidad de marcha deportiva es estricto, y uno de los más polémicos, estando direccionado a la evolución del gesto técnico del atleta y su velocidad de ejecución, causando dificultad para percibir si el atleta perdió contacto con el suelo o flexiona la rodilla.

**Objetivo:** Analizar las diferencias biomecánicas entre deportistas principiantes o de iniciación, y deportistas de alto rendimiento en la marcha deportiva, conociendo la incidencia en su rendimiento.

**Métodos:** Se estudió dos muestras independientes que entrenan en la pista de "Los Chasquis", Quito, Ecuador (Alto Rendimiento: 1 sujeto; Principiantes: 4 sujetos), comparando los valores en grados con la prueba U de Mann-Whitney ( $p \leq 0,05$ ), datos obtenidos de diversos análisis de video a través del software Kinovea.

**Resultados:** Todas las variables analizadas de la fase de apoyo simple (Tracción y Sostén), la fase de apoyo doble (Impulso y Fase de apoyo doble), longitud del paso en cm, el tiempo de ejecución (s), y el centro de gravedad del eje X y eje Y no mostraron diferencias significativas al comparar los ángulos del deportista del alto rendimiento y los de iniciación, aunque se presentaron diferencias en los rangos promedios con un menor ángulo de movimiento para el atleta de alto rendimiento.

**Conclusiones:** No se encontraron diferencias significativas entre las dos muestras independientes estudiadas, aunque existieron rangos promedios diferentes que deben ser analizados integralmente. Se destaca la importancia de la frecuencia y amplitud de zancada del deportista, además de la impecable ejecución técnica de las fases de la marcha.

**Palabras clave:** Marcha deportiva; biomecánica; atletas de alto rendimiento; atletas de iniciación.

## ABSTRACT

**Introduction:** The regulation of the sports walk specialty is strict, and one of the most controversial, being directed to technical gesture evolution of athlete and his execution speed, causing difficulty to perceive if the athlete lost contact with the ground or flexed knee.

**Objective:** To analyze the biomechanical differences between beginners and high-performance sports athletes, knowing the performance impact.

**Methods:** We studied two independent samples that exercise in the training track "Los Chasquis", Quito, Ecuador (High Performance: 1 subject, Beginners: 4 subjects), comparing the degrees values with the Mann-Whitney U test ( $p \leq 0.05$ ), data obtained from various video analysis through the Kinovea software.

**Results:** All the analyzed variables of simple support phase (Traction and Mainstay), the double support phase (Impulse and Double support phase), step length in cm, the execution time (s), and the severity center of X-axis and Y-axis did not show significant differences when comparing the high performance athlete angles and initiation athletes, although there were differences in the average ranges with a lower movement angle for the high performance athlete.

**Conclusion:** No significant differences were found between the two independent samples studied, although there were different average ranges that should be analyzed comprehensively. It emphasizes the frequency importance and stride amplitude of athlete, in addition to impeccable technical execution of the sports walk phases.

**Key words:** sports walk; biomechanics; high performance athletes; initiation athletes.

---

## INTRODUCCIÓN

La historia del atletismo está relacionada con la historia de la humanidad. Las carreras, saltos y lanzamientos, pruebas que han estado presentes en juegos, rituales y celebraciones, y que se ha perpetuado hasta la actualidad, cataloga el atletismo como deporte base por su amplio desarrollo de capacidades y habilidades motrices básicas, y por ende es base de la evaluación motriz en todos los rangos etarios.<sup>1-6</sup> Entre una de las especialidades del atletismo se encuentra la marcha atlética, la cual no posee una connotación natural, ya que marchar no tiene relación con caminar, si no para desplazarme a la mayor velocidad posible manteniendo el contacto del pie con el suelo.<sup>7</sup>

El reglamento de esta especialidad es estricto y uno de los más polémicos en este deporte, conforme la evolución del gesto técnico del atleta y su velocidad de ejecución ha causado gran dificultad para percibir si el atleta perdió contacto con el suelo o flexiona la rodilla.<sup>7,8</sup>

La marcha deportiva o marcha atlética es una disciplina del atletismo, la cual fue adaptada al calendario olímpico en 1908.<sup>7</sup> El deporte ha ido tomando gran popularidad en todo el mundo, provocando nuevos modelos de preparación deportiva para potenciar el rendimiento técnico en deportistas de alto nivel.<sup>9,10</sup> En el proceso que conlleva el perfeccionamiento de dicha técnica, el control postural juega un papel fundamental,<sup>11,12</sup> con frecuencia en la práctica deportiva se producen transiciones de movimiento que va de una postura a otra determinado por la estabilidad estática y dinámica del cuerpo, que para el caso de la marcha deportiva, la ubicación correcta del centro de gravedad,

el ángulo de movimiento de bazos, cadera y pies, entre otros son variables estudiadas que posibilitan caracterizar ventajas y limitantes de diversas variables que inciden en el rendimiento deportivo,<sup>13</sup> permitiendo una mayor economía y eficacia en la carrera. El dominio de una técnica eficaz definirá el nivel competitivo del marchista, permitiendo una mayor eficacia en los movimientos, a la vez que cumple con las normas de competición. Por consiguiente, obtener resultados deportivos altos obedece a una técnica óptima.<sup>14,15</sup>

La ciencia permite valorar la técnica de la marcha deportiva desde la biomecánica de los movimientos, permitiendo caracterizar y mejorar la técnica del movimiento a través del método científico.<sup>16,17</sup> Todo estudio biomecánico aborda diversos métodos para el análisis del movimiento, que para el presente estudio incluirá la cinemática de los movimientos, permitiendo medir parámetros a partir de las imágenes de la ejecución del movimiento técnico.<sup>18</sup> La cinemática es un parámetro de evaluación de la biomecánica que se enfoca en el detalle de movimientos (desplazamientos) sin tomar en cuenta la causa que los produce,<sup>19</sup> la naturaleza de mismo está compuesto de carácter óptico, ya que a través de imágenes obtenidas de fotografías y videos, establece mediciones del desplazamiento de segmentos, el tiempo de ejecución y el centro de gravedad, contribuyendo al estudio biomecánico cuantitativo del movimiento humano.

El ciclo de la marcha atlética se establece desde la ejecución de una extremidad inferior, empezando desde el contacto del talón con el suelo y su terminación hasta el siguiente contacto del mismo talón; por consiguiente, el ciclo de la marcha atlética es idéntico a la normal<sup>20,21</sup> en la que establece dos fases:

- La primera se nombra Fase de apoyo: el tiempo en que el pie se encuentra en contacto con el suelo representa el 50 % del ciclo.
- La segunda se nombra Fase de Oscilación: es el tiempo en el que el pie se encuentra suspenso en el aire, representa un aproximado del 50 %.

De acuerdo a la dificultad de ejecución de la técnica de esta disciplina del atletismo, y como implica en su rendimiento y reglamentación,<sup>22</sup> se vio la necesidad de realizar un estudio biomecánico con respecto al análisis de ángulos de movimientos de las principales articulaciones, longitud de paso en una fase de la marcha y su centro de gravedad. El estudio se realizó a atletas de iniciación y de alto rendimiento de la marcha deportiva en la ciudad de Quito-Ecuador.

El propósito del trabajo es analizar las diferencias biomecánicas entre deportistas principiantes y de alto rendimiento en la marcha deportiva, estudiando la incidencia en su rendimiento. Los resultados obtenidos permitirán apoyar el desarrollo teórico y práctico del entrenamiento de los deportistas de iniciación estudiados, con el fin de favorecer al impulso de estos atletas al alto rendimiento a mediano y largo plazo.

## **MÉTODOS**

Se tomó como muestra de estudio a cuatro atletas de iniciación y uno de alto rendimiento en marcha deportiva, los cuales entrenan en la pista atlética Los Chasquis. La muestra de atletas de iniciación es un grupo mixto, con una edad que oscila entre los 14-19 años, con una frecuencia de entrenamiento de 5 días a la semana, durante sesiones de 2 h. Por otro lado, la deportista de alto rendimiento con 10 años de longevidad deportiva posee como principal logro deportivo ser vice campeón en el mundial juvenil pasado, además de otros campeonatos nacionales y Gran Prix.

Para el análisis biomecánico de la investigación se utilizó como herramienta el programa KINOVEA, se realizó la grabación de la técnica de todo el grupo a estudiar y posteriormente se lo ingresó al software mencionado, determinando con exactitud los grados de amplitud de las articulaciones del codo y de la rodilla en las diferentes fases de la marcha deportiva, además de su centro de gravedad y la amplitud de paso en una fase de la marcha, dando paso al estudio estadístico entre ambas muestras utilizando la prueba *no paramétrica U de Mann-Whidney* ( $p \leq 0,05$ ).

Además, con la precisión del video en el programa Kinovea se determinaron otros aspectos fundamentales que inciden en la ejecución de la técnica, tales como: forma de apoyo del pie en la fase de apoyo simple y apoyo doble, impulso para el nuevo ciclo del movimiento, entre otros, datos útiles para realizar la comparación y análisis pertinente a la investigación, pudiendo concluir la incidencia de éstos aspectos en el rendimiento deportivo de los atletas.

Para una mayor comprensión del estudio de las fases de la marcha deportiva, cada paso de la marcha estudiada comprende dos fases:

- Fase de apoyo simple: comprendida por tres subfases: tracción, sostén e impulsión.
- La Tracción: momento en que la pierna de apoyo entra en contacto con el suelo, el pie hace contacto con el suelo desde el limite externo del talón pasando por el metatarso, este movimiento debe marcar una línea recta para favorecer una mayor longitud de paso e impulso más fuerte.
- Sostén: es el enlace entre tracción e impulso, la pierna de apoyo se mantiene extendida a nivel de la articulación de la rodilla.
- Impulsión: el movimiento se trasfiere desde el metatarso hasta la punta del pie del dedo gordo, la pierna libre termina su movimiento pendular realizando una extensión hacia adelante con el tobillo en flexión dorsal.
- Fase de doble apoyo: momento en los dos pies se encuentran en el contacto con el suelo, los pies deben hacer contacto con el suelo sobre una línea recta para dirigir el impulso hacia el centro de gravedad, desplazando el cuerpo hacia la dirección deseada. La pierna anterior se encuentra con la rodilla extendida, el otro pie se apoya muy suavemente de talón por delante de la vertical del cuerpo.

Para una mejor idea sobre fases mencionadas es visualizada una imagen en la [figura 1](#).



**Fig. 1.** Ángulo de la fase de apoyo simple (Tracción).

## RESULTADOS

En la [tabla 1](#) se indica los resultados obtenidos con el programa del Kinovea, delimitando los ángulos de movimiento de codo y rodilla en las diferentes fases de la marcha deportiva, en la que se destaca dos tipos de muestras, alto rendimiento y deportista de iniciación con su respectiva correlación.

**Tabla 1.** Valores de los ángulos de la rodilla y codo en las fases de la marcha deportiva

Fase de la técnica de la marcha			Fase de apoyo simple						Fase de apoyo doble	
Tipo de muestra	Nombre	Edad	Tracción		Sostén		Impulso		Ángulo del codo	Ángulo de la rodilla
			Ángulo del codo	Ángulo de la rodilla	Ángulo del codo	Ángulo de la rodilla	Ángulo del codo	Ángulo de la rodilla		
Atleta de alto rendimiento	Jonathan Amores	18	113	179	114	180	90	165	94	136
Deportista formativo	Camila Caiza	15	137	190	136	191	84	158	89	133
Deportista formativo	Flor Loya	15	119	180	122	180	109	164	112	147
Deportista formativo	Jonathan Andrade	15	117	183	120	180	114	157	112	144
Deportista formativo	Roberto Zambrano	19	253	181	253	183	272	176	276	138
			p= 0,400	p= 0,400	p= 0,100	p= 0,800	p= 0,800	p= 0,800	p= 0,800	p= 0,800

En la [tabla 2](#) se establece la longitud de paso y el tiempo de ejecución que tiene los deportistas, realizando la fase completa de la marcha deportiva, el centro de gravedad en eje X y eje Y y su respectiva correlación. La [figura 2](#) visualiza los cálculos del centro de gravedad estudiados en un sujeto de nivel inicial.

**Tabla 2.** Valores de la longitud de paso, tiempo de ejecución en fase completa de la marcha deportiva y centro de gravedad de los deportistas

Tipo de muestra	Longitud de paso (cm.)	Tiempo de ejecución (seg.)	Centro de gravedad eje (x)	Centro de gravedad eje (y)
Atleta de alto rendimiento	169	400	121,61	97,94
Deportista formativo	193	500	126,61	96,26
Deportista formativo	195	400	127,27	109,85
Deportista formativo	203	600	138,24	106,98
Deportista formativo	215	1785	155,92	86,00
Correlación	p= 0.400	p= 0.400	p= 0.400	p= 1.00



Fig. 2. Centro de gravedad en la fase de sostén.

## DISCUSIÓN

En la [tabla 1](#) se indica los resultados de la prueba estadística U de Mann-Whidney en los ángulos de codo y rodilla en cada una de las fases de la marcha. En la fase de tracción el resultado con respecto al ángulo codo y rodilla ( $p= 0,400$ ), demostrando que no existe significación asintótica; por lo tanto, el ángulo de flexión de codo y rodilla en esta fase no influye en su rendimiento técnico con respecto al atleta de alto rendimiento de forma significativa, aunque los Rangos Promedios (RP) evidenciaron una igualdad entre ambos ángulos del codo y de la rodilla para la variable tracción (RP: 3). En la fase de sostén el resultado con respecto al ángulo codo ( $p= 0,100$ ) y rodilla ( $p= 0,800$ ) demuestra que no existe nivel de significancia; por consiguiente, en esta fase no influye en su rendimiento técnico con respecto al atleta de alto rendimiento. Los rangos promedios fueron iguales en el ángulo del codo (RP: 3) para atletas de iniciación y alto rendimiento, mientras que en el ángulo de la rodilla el rango promedio fue menor en el alto rendimiento (RP: 2) que en los atletas de iniciación (RP: 3,25).

En la fase de impulso se refleja con respecto al ángulo de codo y rodilla ( $p= 0,800$ ) la no existencia de significación; por consiguiente, en la fase de impulso no influye en su rendimiento técnico con respecto al atleta de alto rendimiento para la variable estudiada. Por otra parte, los rangos promedios en el ángulo del codo fueron menores en el alto rendimiento (RP: 2) que en los atletas de iniciación (RP: 3,25), al igual que el ángulo de rodilla, presentando los mismos rangos promedios que los antes mencionados. En la fase de doble apoyo el resultado con respecto al ángulo de codo ( $p= 0,800$ ) y rodilla ( $p= 0,800$ ) no presentaron significación; por tanto, en esta fase no influye su rendimiento técnico con respecto al atleta de alto rendimiento. Los rangos promedios del ángulo del codo y la rodilla presentaron la misma distribución para atletas de alto rendimiento e iniciación que los antes mencionados.

En la [tabla 2](#) indica la longitud de paso, el tiempo de ejecución de la fase completa de la marcha deportiva y su centro de gravedad. En la longitud de paso ( $p= 0,400$ ) se determina que no existe significación; por tanto, dicho parámetro no influye en su rendimiento técnico respecto al atleta de alto rendimiento, presentando el atleta de alto rendimiento menor rango promedio (2) que los atletas de iniciación (RP: 3,25). En el tiempo de ejecución ( $p= 0,400$ ) se determina la no existencia de diferencias significativas; por consiguiente, no existe diferencias en el tiempo de ejecución con



respecto al atleta de alto rendimiento, presentando los mismos rangos promedios el alto rendimiento y los atletas de iniciación que el presentado por la longitud del paso antes analizado. Con respecto al centro de gravedad, el eje x ( $p= 0,400$ ) demuestra que no existe significación; por consiguiente, no existe diferencias en el eje x con respecto al centro de gravedad con respecto al atleta de alto rendimiento, mientras que el eje y ( $p= 1,00$ ) demuestra igualmente la no existencia de significación; por lo tanto, no existen diferencias con respecto al eje y del centro de gravedad entre las muestras independientes. En ambos ángulos los rangos promedios fueron menores en el alto rendimiento (RP: 2) que en los atletas de iniciación (RP: 3,25).

Si bien el análisis biomecánico permite caracterizar la técnica deportiva,<sup>16,17</sup> y en ocasiones no es posible delimitar las diferencias entre los modelos estudiados, se coincide con numerosos autores de que el rendimiento deportivo es multifactorial.<sup>23</sup> En dicho sentido, si bien existen diferencias marcadas entre la técnica de la marcha deportiva con la marcha normal,<sup>13</sup> el análisis de la marcha deportiva en atletas de diferentes niveles, al menos para la presente investigación, puede que no presente diferencias al analizar variables aisladas, pero las diferencias en los distintos rangos promedios teniendo presente todas las variables analizadas infiere la necesidad de mejorar la mayor cantidad de parámetros en función de igualar la técnica deportiva del atleta de alto rendimiento.

Las limitaciones de la presente investigación se relacionan con el tamaño de muestra investigado, recomendándose ampliar la investigación a un espectro mayor de sujetos de la categoría estudiada.

## **CONSIDERACIONES FINALES**

No se encontró una diferencia significativa entre las dos muestras independientes debido a la poca cantidad de muestras estudiadas. No obstante, se destaca la importancia de la frecuencia y amplitud de zancada del deportista, además de la impecable ejecución técnica de las fases de la marcha, dado que el deporte analizado es meramente técnico por las exigencias en la competición, además que estos parámetros delimitan el nivel de rendimiento del deportista.

## **Declaración de conflicto de intereses**

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Broqué YY, Castro AD, Vázquez LL. La expresión corporal como alternativa del Deporte para Todos. Selección de ejercicios. Lecturas: Educación Física y Deportes. 2018;239(239):77-86.
2. Guevara PV, Calero S. La técnica de carrera y el desarrollo motriz en aspirantes a soldados. Rev Cubana de Investigaciones Biomédicas. 2017;36(3):1-14.

3. Herrmann C, Gerlach E, Seelig H. Development and validation of a test instrument for the assessment of basic motor competencies in primary school. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*. 2015;19(2):80-90.
4. Verdura HR, Caveda DL, Soriano CE. El profesor de la iniciación deportiva y la evaluación de su desempeño. *Lecturas: Educación Física y Deportes*. 2018;22(237):64-9.
5. Rodríguez ÁF, Páez RE, Altamirano EJ, Paguay FW, Rodríguez JC, Calero S, et al. Nuevas perspectivas educativas orientadas a la promoción de la salud. *Educación Médica Superior*. 2017;31(4):1-13.
6. Mejía IA, Morales SC, Orellana PC, Lorenzo AF. Efecto de las actividades físicas en la disminución del estrés laboral. *Revista Cubana de Medicina General Integral*. 2017;36(3):1-12.
7. Sant JR. *Metodología y técnicas de atletismo*. Editorial Paidotribo. Barcelona: Paidotribo; 2005.
8. Pavei G, Cazzola D, La Torre A, Minetti A. The biomechanics of race walking: literature overview and new insights. *European journal of sport science*. 2014;14(7):661-70.
9. da Silva Pimentel G, Santana F. Respostas fisiológicas em atletas praticantes de atletismo através do teste de potência aeróbica. *Lecturas: Educación Física y Deportes*. 2018;22(238):14-25.
10. Przednowek K, Wiktorowicz K. Prediction of the result in race walking using regularized regression models. *Journal of Theoretical and Applied Computer Science*. 2013;7(2):45-58.
11. Cappozzo A. *The mechanics of human walking USA: North-Holland*; 1991.
12. Frómeta E, Barcia AE, Montes JV, Lavandero GC, Valdés GR. Rendimiento y balance postural en fondistas sordos expertos y novatos: Estudio de casos. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*. 2017;36(2):41-52.
13. Andrade JB, Villarroja-Aparicio A, Morales SC. Biomecánica de la marcha atlética: Análisis cinemático de su desarrollo y comparación con la marcha normal. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*. 2017;36(2):53-69.
14. Ozolin N, Markov D. *Atletismo: tomo 1 La Habana: Editorial Científico-Técnica*; 1991.
15. McGarry T, O'Donoghue P, de Eira Sampaio AJ, Sampaio J. *Routledge handbook of sports performance analysis USA: Routledge*; 2013.
16. Blazevich AJ. *Sports biomechanics: the basics: optimising human performance*. 3rd ed. UK: A&C Black; 2013.
17. León S, Calero S, Chávez E. *Morfología funcional y biomecánica deportiva*. 2nd ed. Quito: Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE; 2016.



18. Gatti R, Tettamanti A, Gough PM, Riboldi E, Marinoni L, Buccino G, et al. Action observation versus motor imagery in learning a complex motor task: a short review of literature and a kinematics study. *Neuroscience letters*. 2013;540:37-42.
19. Robertson G, Caldwell G, Hamill J, Kamen G, Whittlesey S. *Research methods in biomechanics*. 2nd ed. USA: Human Kinetics; 2013.
20. Cairns M, Burdett R, Pisciotta J, Simon S. A biomechanical analysis of racewalking gait. *Med. Sci Sports Exerc*. 1986;18(4):446-53.
21. Murray P, Guten G, Mollinger L, Gardner G. Kinematic and electromyographic patterns of olympic race walkers. *Am J Sports Med*. 1983;11(2):68-74.
22. IAAF. *Asociación Internacional de Federaciones de Atletismo, Reglas de Competición* Monaco: IAAF Athletics; 2013.
23. Rodríguez-Rosell D, Pareja-Blanco F, Aagaard P, González-Badillo JJ. Physiological and methodological aspects of rate of force development assessment in human skeletal muscle. *Clinical physiology and functional imaging*. 2018;38(5):743-62.

Recibido: 5 de enero de 2018.

Aprobado: 7 de febrero de 2018.

*Santiago Calero Morales*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Ecuador.  
Correo electrónico: [sscalero@espe.edu.ec](mailto:sscalero@espe.edu.ec)