

Estudio biomecánico del ritmo de carrera en 400 metros con vallas de un atleta de la primera categoría

Frank Gutiérrez Morfa

Universidad de Ciencias de la Cultura Física y el Deporte “Manuel Fajardo” de La Habana. Cuba. Licenciado en Cultura Física. xmorfa@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-7268-3088>

Julio César Pérez Suzarte

Universidad de Ciencias de la Cultura Física y el Deporte “Manuel Fajardo” de La Habana. Cuba. Licenciado en Cultura Física. Master en Metodología del Entrenamiento Deportivo para la Alta Competencia. Profesor Auxiliar. juliopsuzarte@gmail.com <https://orcid.org/0000-0003-2823-6528>

Rosendo Junquera Ferrer

Universidad de Ciencias de la Cultura Física y el Deporte “Manuel Fajardo” de La Habana. Cuba. Licenciado en Cultura Física. Máster en Metodología del Entrenamiento Deportivo para la Alta Competencia. Profesor Instructor. rosendojunqueraferrer@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-9663-8284>

Mario Sergio Rodríguez del Toro

Centro de Estudios para la Actividad Física, el Deporte y la Promoción de la Salud (CEADES). Cuba. Licenciado en Cultura Física Profesor instructor. mariodeltoro27@gmail.com <https://orcid.org/0000-0003-2186-9509>

Arnaldo Herrera Ponce

Universidad de Ciencias de la Cultura Física y el Deporte "Manuel Fajardo" de La Habana. Cuba. Licenciado en Educación, Especialidad Matemática. Máster en Administración y Gestión de la Cultura Física y el Deporte. arnaldoherreraponce@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-9516-7935>

Recibido: 15/IX/2022
Aceptado: 11/I/2023
Publicado: 1/IV/2023

Resumen: La individualización de la preparación técnica de los deportistas, la búsqueda de las particularidades de los movimientos que resulten óptimas específicamente para cada atleta, depende en gran medida de la valoración de las características cinemáticas de los movimientos. Por tal motivo, esta investigación tiene como objetivo analizar las variaciones biomecánicas del ritmo en la carrera de 400m c/v. A tales efectos se estudió el comportamiento del ritmo en la carrera de 400m con vallas, en un atleta de la primera categoría de la Academia Provincial de Atletismo "Pedro Marrero". En la investigación se emplearon métodos teóricos (inductivo, deductivo, simulación) y empíricos (observación, medición), análisis documental, videografía y esquemas de posturas en consonancia con el objetivo planteado, así como las técnicas biomecánicas correspondientes. Los resultados obtenidos, contribuyen de manera eficiente al perfeccionamiento técnico de las acción físico - deportiva investigada.

Palabras clave: atletismo; biomecánica deportiva; ritmo; técnica.

Biomechanical study of the race rhythm in 400 meters with hurdles of an athlete of the first category

Abstract: The individualization of the technical preparation of athletes, the search for the particularities of the movements that are optimal specifically for each athlete, depends to a large extent on the assessment of the kinematic characteristics of the movements. For this reason, this research aims to analyze the biomechanical variations of the rhythm in the 400m c/v race. For this purpose, the behavior of the rhythm in the 400m hurdles race was studied in an athlete of the first category of the Provincial Academy of Athletics "Pedro Marrero". The research used theoretical methods (inductive, deductive, simulation) and empirical (observation, measurement), documentary analysis, videography and posture schemes in line with the proposed objective, as well as the corresponding biomechanical techniques. The results obtained contribute efficiently to the technical improvement of the physical - sports action investigated.

Keywords: athletics; sports biomechanics; rhythm; technique

Estudo biomecânico do ritmo de corrida nos 400 metros com barreiras de um atleta da primeira categoria.

Resumo: A individualização da preparação técnica dos atletas, a busca das particularidades dos movimentos que são ideais especificamente para cada atleta, depende em grande parte da avaliação das características cinemáticas dos movimentos. Por este motivo, esta pesquisa visa analisar as variações biomecânicas do ritmo na corrida de 400m c/v. Para tal, estudou-se o comportamento do ritmo na corrida de 400m com barreiras de um atleta da primeira categoria da Academia Provincial de Atletismo "Pedro Marrero". Na investigação foram utilizados métodos teóricos (indutivo, dedutivo, simulação) e empíricos (observação, medição), análise documental, videografia e esquemas posturais de acordo com o objetivo declarado, bem como as técnicas biomecânicas correspondentes. Os resultados obtidos contribuem de forma eficiente para o aprimoramento técnico da ação físico-esportiva investigada.

Palavras-chave: atletismo; biomecânica esportiva; ritmo; técnica.

Introducción

El desarrollo alcanzado en las diversas formas de preparación del deportista en la actualidad se debe en gran medida a los avances de la ciencia y la tecnología vinculadas al deporte, por su positiva influencia en la enseñanza, control y evaluación de las acciones físico - deportivas.

Al respecto, una de las ciencias que ha retomado su valor, especialmente en aquellas disciplinas deportivas en las que la ejecución técnica de las acciones motoras tiene especial relevancia para el resultado deportivo, es la biomecánica deportiva, considerada por Donskoi y Zatsiorsky (1988) como la ciencia de las leyes del movimiento mecánico en los sistemas vivos.

Una de las disciplinas que motiva y justifica estudios desde un enfoque biomecánico es el atletismo, practicado universalmente, que se sustenta en actividades que no requieren medios sofisticados para ejercerlo. En sus diversas especialidades se exige superar no solo a los adversarios sino las propias facultades individuales de los atletas en relación con el tiempo, la

Estudio Biomecánico del ritmo de carrera en 400 metros con vallas de un atleta de la primera categoría/ Biomechanical study of the race rhythm in 400 meters with hurdles of an athlete of the first category/ Estudo biomecânico do ritmo de corrida nos 400 metros com barreiras de um atleta da primeira categoria.

distancia o la altura en cada salida al escenario competitivo y, como acota Cañizares (2013), todos los grandes juegos deportivos del planeta toman de él sus elementos básicos: velocidad, resistencia física, flexibilidad y fuerza.

Dada las particularidades de las carreras de 400m c/v expresado en la literatura de Müller y Ritzdorf (2000), ha sido sugerente, por los entrenadores de la Academia Provincial de Atletismo “Pedro Marrero”, la aceptación de investigaciones en el campo de la biomecánica para el perfeccionamiento de la ejecución técnica de esta acción físico - deportiva en los atletas juveniles que entrenan en esta instalación.

El ritmo de carrera según Müller y Ritzdorf (2000) que coincide con lo investigado por Ruiz et al. (2011) constituye uno de los indicadores en el proceso de entrenamiento de la carrera 400m c/v. En entrevista con los entrenadores, sobre la base de sus experiencias, se evidencian problemas asociados con la estabilidad de los resultados de los atletas objeto de estudio, infiriéndose que son afectados por variaciones en el comportamiento de la duración del recorrido entre vallas, lo cual está determinado por un inadecuado ritmo de la carrera.

Estos aspectos requieren juzgar el nivel de ejecución de esta acción motora con mayor precisión, a partir del control de las características biomecánicas cinemáticas lo cual coincide con el planteamiento de los autores Ruiz et al. (2011). Otros elementos aportados por los entrenadores permiten constatar que los controles de la preparación de los vallistas, se ajustan a las pruebas de evaluación de capacidades físicas, control de pasos entre vallas y los resultados en período de entrenamiento y competencias, pero no se pudo encontrar estudios anteriores a esta obra con enfoque biomecánico, que contribuyan al análisis del ritmo de la carrera.

Por otro lado, la revisión del Programa de Preparación del Deportista (Junquera et al. 2017) permite reflejar que, aunque las orientaciones metodológicas indican evaluar distancias e intervalos de tiempo precisos a fin de controlar la ejecución detallada de la acción técnica y la manifestación del ritmo del que ejecuta, dicho programa no se refiere a cómo medir esas magnitudes que son por naturaleza medibles.

Las consideraciones anteriores presuponen la necesidad de introducir procedimientos que permitan analizar cuantitativamente el nivel de desempeño técnico de los atletas de vallas largas

que contribuyan al aseguramiento del control pedagógico, dirigido al logro de los objetivos generales de la categoría.

Métodos

En el área de velocidad, específicamente en 400m c/v de la Academia Provincial de Atletismo “Pedro Marrero” en el municipio Playa, entrenan cuatro atletas de la categoría juvenil, quienes constituyen la población de la presente investigación. Para el desarrollo de la investigación se tomó como muestra un atleta, teniendo en cuenta como criterio de selección las posibilidades para continuar transitando por la pirámide del alto rendimiento.

Métodos teóricos:

Inductivo y deductivo: tales procesos lógicos se dan durante la caracterización y comprensión de la realidad estudiada. Están presentes especialmente en la precisión de las diferentes etapas de la estructura del movimiento.

Análisis y síntesis: permite el abordaje de la temática de investigación mediante procesos de aproximaciones sucesivas, donde se identifican y caracterizan los elementos que forman la realidad estudiada, a la vez que se les integra como totalidad sistémica. En particular, el análisis y la síntesis están presentes cuando se estudian los factores que influyen en la ejecución del ritmo en la carrera de 400 c/v.

Simulación - modelado: En este caso se trata del proceso mediante el cual la realidad estudiada es llevada a una representación mental, abstracta, que refleja una determinada estructura y una lógica funcional de la ejecución del ritmo en la carrera de 400 c/v.

Métodos empíricos:

Observación: simple, como forma de dirigir la percepción hacia el objeto de estudio, para valorar la ejecución del ritmo de pasos efectuado por el atleta desde la arrancada hasta la primera valla, entre vallas y desde la última valla hasta la meta.

Fue realizada de manera directa (durante el proceso de obtención del video) e indirecta (apoyado en la videografía y el esquema de posturas obtenido), para ello se utilizó el “software Kinovea” a través del cual se llevó a cabo el análisis de la destreza motora de forma cuantitativa y

Estudio Biomecánico del ritmo de carrera en 400 metros con vallas de un atleta de la primera categoría/ Biomechanical study of the race rhythm in 400 meters with hurdles of an athlete of the first category/ Estudo biomecânico do ritmo de corrida nos 400 metros com barreiras de um atleta da primeira categoria.

cualitativa, a partir del conocimiento y la experiencia que poseen el entrenador y los investigadores acerca del movimiento estudiado.

Según León (2019) la videografía computarizada es utilizada para los sistemas de análisis del movimiento a partir de imágenes de video que permiten digitalizar las coordenadas de los puntos notables seleccionados en el cuerpo y realizar cálculos de traslación, velocidad y aceleración de los diferentes segmentos corporales, de los ángulos articulares, y del centro de gravedad del cuerpo.

La aplicación de esta metodología se efectuó mediante las siguientes etapas:

1. Preparación previa.
 - Selección y caracterización de los atletas.
 - Preparación de los medios y condiciones para la filmación.
 - Determinación de las variables de estudio
2. Filmación.
 - Ejecución de la carrera de 400m c/v, en condiciones competitivas.
3. Edición y digitalización de las imágenes.
 - Edición de las videgrabaciones.
 - Digitalización de los movimientos a partir de la utilización de software de análisis de movimientos, estableciendo los puntos anatómicos, que posibilitan la medición de los indicadores declarados en la investigación.
4. Análisis de los resultados.
 - Obtención de los resultados de los indicadores estudiados.
 - Análisis de los resultados de los indicadores estudiados.

El movimiento fue reconstruido por medio del modelo biomecánico obtenido en el citado “software” y se analizaron los parámetros siguientes:

- Longitud de pasos.
- Número de pasos.
- Tiempo.

- Frecuencia de pasos.
- Ritmo de pasos.
- Velocidad.
- Evolución angular.

Indicadores para el estudio del ritmo:

En el presente estudio se consideraron los indicadores que influyen, desde el punto de vista cinemático, en la carrera de 400m c/v. Sobre la base de la revisión bibliográfica esta investigación estudió el comportamiento de los indicadores asociados a las características cinemáticas de esta acción motora (ritmo de la carrera) destacando aquellos que incidieron positiva o negativamente en el comportamiento del ritmo de la carrera de los 400m c/v. del atleta objeto de estudio.

Suárez (2009) expresa que cuando el cuerpo se mueve desde el punto de vista cinemático, se debe tener en cuenta cinco variables primarias, las cuales coinciden con las planteadas por Gómez et al. (2019) y Calero y Chávez (2016).

- Las características temporales.
- La posición del cuerpo.
- El desplazamiento del cuerpo.
- La velocidad del cuerpo.
- La aceleración del cuerpo.

Estas pueden ser vistas en dos dimensiones en el plano (X- Y), o tridimensionalmente en el espacio (X - Y - Z).

Es oportuno aclarar que las características cinemáticas estudian el movimiento de los cuerpos sin atender las causas que lo originan y se dividen en: características espaciales, temporales y espacio-temporales, las mismas fueron estudiadas en correspondencia con el tipo de acción motora analizada, estableciéndose además los símbolos para su identificación y unidades de medida.

Características Cinemáticas Espaciales:

- Longitud de los pasos (Lp), expresada en metros.

Estudio Biomecánico del ritmo de carrera en 400 metros con vallas de un atleta de la primera categoría/ Biomechanical study of the race rhythm in 400 meters with hurdles of an athlete of the first category/ Estudo biomecânico do ritmo de corrida nos 400 metros com barreiras de um atleta da primeira categoria.

Se determinó la longitud de pasos, la evolución angular de los diferentes segmentos corporales y la altura del centro de gravedad del cuerpo.

Características Cinemáticas Temporales.

- Duración de la carrera (T_c), expresada en segundos.
- Duración de la carrera entre vallas (T_v), expresada en segundos
- Frecuencia de pasos entre vallas (F_p), expresada en pasos por segundos.
- Ritmo entre vallas (R).

Características Cinemáticas Espacio-Temporales.

Mediante este esquema se valoró la velocidad media entre vallas expresada en m/así como la evolución angular de la cadera.

Resultados

El ritmo de carrera constituye uno de los aspectos fundamentales en los 400m c/v, para lograrlo Ruiz et al. (2011) y Cañizares (2013) coinciden en que debe de trabajarse en tres direcciones:

La primera se refiere a las carreras de velocidad y vallas cortas, pues garantizan el desarrollo de la potencia anaerobia aláctica y el perfeccionamiento de las habilidades técnicas durante la carrera y el pase de las mismas respectivamente.

La segunda se relaciona con los 400mp, ya que son la base principal para conocer el rendimiento en los 400m c/v a partir del tiempo de diferencia que tenga el vallista en estos dos eventos.

La tercera se vincula con los 500m c/v con el objetivo de buscar un mayor desarrollo de la potencia anaerobia láctica.

Los entrenadores establecen de forma empírica la estrecha relación existente entre los 400mp y los 400m c/v. Con el propósito de determinar desde el punto de vista biomecánico el coeficiente de correlación entre ambos eventos y valorar las características biomecánicas cinemáticas relacionadas con el ritmo, en la ejecución de la acción motora por el atleta objeto de estudio, se efectuó un control en los 400mp, y los 400m c/v obteniéndose los resultados presentados en la Tabla 1.

Tabla 1

Coeficiente de Correlación entre los 400mp y los 400m c/v

Atletas	400mp (X) I	400m c/v (Y) II	$X - \bar{X}$ III	$Y - \bar{Y}$ IV	$(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})$ V	$(X - \bar{X})^2$ VI	$(Y - \bar{Y})^2$ VII
1 (*)	48:20s.	53:13s.	-1.26	-1.48	1.86	1.58	2.19
2	49:32s.	54:30s.	-0.14	-0.31	0.04	0.01	0.09
3	49:53s.	54:33s.	0.07	-0.28	-0.01	0.0049	0.07
4	49:55s.	54:37s.	0.09	-0.24	-0.02	0.0081	0.05
5	49:21s.	54:40s.	-0.25	-0.21	0.05	0.06	0.04
6	49:25s.	54:45s.	-0.21	-0.16	0.03	0.04	0.02
7	49:33s.	55:10s.	-0.13	0.49	-0.06	0.01	0.24
8	50:01s.	55:20s.	0.55	0.59	0.32	0.30	0.34
9	50:10s.	55:42s.	0.64	0.81	0.51	0.40	0.65
10	50:15s.	55:48s.	0.69	0.87	0.60	0.47	0.75
Total	494.65s.	546.18s.			3.32	2.883	4.44

Nota: 1 (*) Atleta objeto de estudio.

Se debe señalar que se tomaron vallistas de otras instalaciones para poder cumplimentar el número de evaluados, pues una cifra inferior a 10 atletas introduciría grandes errores en los resultados.

Las columnas **I y II**. Muestran los tiempos de los atletas en 400mp (X) y 400m c/v (Y) respectivamente.

X e Y Identifican el promedio de los tiempos en los 400mp y los 400m c/v

Columnas **III y IV** Establecen la diferencia entre el tiempo y el promedio de cada evento.

Columna **V**. Identifica el producto de las diferencias calculadas en las columnas III y IV

Columnas **VI y VII**. Plantean las diferencias elevadas al cuadrado.

Discusión

Una vez realizados los cálculos matemáticos correspondientes se obtuvo que el coeficiente de correlación (r) entre ambos eventos fue: $r = 0,95$. Entre los 400mp y los 400m c/v se detectó una interrelación media estadística positiva. Esto significó que el mejoramiento del resultado en los 400 mp (disminución del tiempo) está relacionado con el mejoramiento del resultado en los 400m c/v (disminución del tiempo). Si el valor del coeficiente hubiera resultado negativo entonces

el análisis sería diferente. Finalmente se aplicó el Coeficiente de Determinación para valorar la estrechez de la interrelación.

$$D = r^2 \cdot 100 \%$$

$$D = (0,95)^2 \cdot 100 \%$$

$$D = 90 \%$$

Se concluye que el 90 % de la interrelación puede explicarse por la influencia mutua de estos eventos y el 10 % restante está dado por los efectos de otros factores no considerados.

Al observar la tabla se infiere que el atleta 1 según los resultados obtenidos en los 400mp (48:20s) puede bajar el tiempo logrado en los 400m c/v, esta afirmación está fundamentada en la correlación existente entre ambos eventos, no siendo igual para el resto de los competidores, además al comparar este resultado con el ranking nacional (actual) de la categoría, se puede constatar que el tiempo realizado está acorde con la misma, por otra parte debemos señalar que este control se llevó a cabo a inicios de la etapa de preparación general o sea que aún están lejos de su forma deportiva, también es bueno significar que la mejor marca de este atleta es de 53:10s. aunque en lo que va de año no la ha podido realizar se entiende que hubo un esfuerzo aceptable.

Independientemente de las tres direcciones señaladas con anterioridad el autor destacó que el ritmo entre vallas está condicionado por otros aspectos como el metabolismo de los sistemas energéticos, la resistencia a la fuerza explosiva, y elástica, control del ritmo, y las medidas antropométricas, por solo citar algunos ejemplos que, aunque no son objeto de estudio de esta investigación deben ser mencionados por la incidencia que ejercen sobre el ritmo de la carrera.

Conclusiones

Se cumplió el objetivo general de la investigación donde se logró Analizar las variaciones biomecánicas del ritmo en la carrera de 400m c/v de un atleta de la Academia Provincial de Atletismo “Pedro Marrero” en el Municipio Playa. Los resultados de la investigación nos permiten deducir y determinar las regularidades mecánicas que influyen positiva o negativamente en el resultado del ritmo en esta modalidad, lo cual nos permite establecer en otro momento, comparaciones con otras investigaciones realizadas en nuestro país o en el mundo.

Referencias

- Cañizares, R. G. (2013). Análisis biocinemático de los 400 metros con vallas. Un estudio de caso. *EFDeportes.com, Revista Digital*, Año 18, (184). <https://efdeportes.com/efd184/analisis-biocinematico-de-los-400-metros-con-vallas.htm>
- Calero M., S. y Chávez C., E. (2016). *Morfología funcional y Biomecánica deportiva*. Editorial Deportes. https://www.researchgate.net/publication/319701166_Morfologia_funcional_y_biomecanica_deportiva
- Donskoi, D. y Zatsiorsky, V. (1988). *Biomecánica de los ejercicios físicos*. Pueblo y Educación.
- Gómez Z., A. P., Ramírez G., S. e Infante R., N. M. (2019) La biomecánica al servicio de la actividad física en Holguín. *DeporVida*, 16(42), 89-102. <https://deporvida.uho.edu.cu/index.php/deporvida/article/view/569>
- Junquera, F. R.; Sánchez, J. L. y Palma, J. R. (2017). *Programa Integral Preparación del Deportista*. Atletismo. Comisión Nacional de Atletismo. INDER. Cuba.
- León P., S. (2019). Aportes de la morfología funcional a las ciencias del deporte en Cuba. *Revista Acción*, 15. <https://accion.uccfd.cu/index.php/accion/article/view/69>
- Müller, H. y Ritzdorf, W. (2000). *Correr, lanzar, saltar: la guía IAAF para la enseñanza del atletismo*. Sistema de certificación de entrenadores IAAF. IAAF. <https://pdfslide.net/documents/libro-iaaf-correr-saltar-y-lanzar.html?page=3>
- Ruiz, J. R.; De la Paz, L.; Morales, A. M. (2011). El ritmo de carrera en la prueba de 400 metros con vallas. Consideraciones teórico-metodológicas de su entrenamiento. *EFDeportes.com, Revista Digital*. Año 16, (161). <https://www.efdeportes.com/efd161/ritmo-de-carrera-en-400-metros-con-vallas.htm>
- Suárez, G. (2009). *Biomecánica deportiva y control del entrenamiento*. Funámbulos Editores. <https://vdocuments.pub/biomecanica-deportiva-y-control-del-entrenamiento.html?page=2>