

ANÁLISIS CINEMÁTICO DEL RONDAT FLIC-FLAC

KINEMATIC ANALYSIS OF THE RONDAT FLIC-FLAC

Ligia Diener-González¹. Patricio Robles-Calderón².

¹Magíster en Entrenamiento Deportivo. Facultad de Educación. Universidad Mayor, Chile.
Dr. (c) Ciencias del Deporte. Universidad de Murcia, España. ligia.diener@mayor.cl

²Profesor Escuela Ingeniería Eléctrica. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. patricio.robles@pucv.cl

Correspondencia: Ligia Diener-González. ligia.diener@mayor.cl

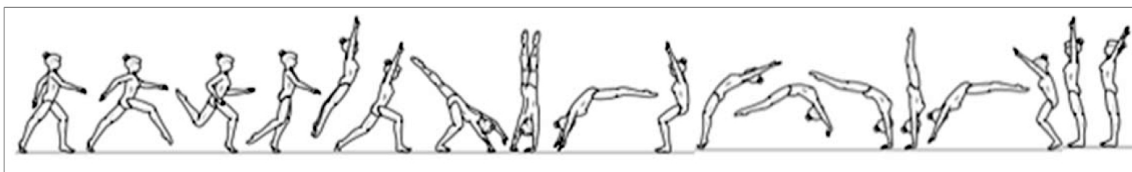
Código UNESCO: 5801 Teoría y Métodos Educativos

Clasificación Consejo Europa: 5. Didáctica y metodología

Recibido el 20 de enero de 2019

Aceptado el 12 de septiembre de 2019

DOI: <http://dx.doi.org/10.24310/10.24310/riccafd.2019.v8i3.7487>



RESUMEN

El objetivo del presente artículo es mostrar un análisis de los indicadores cinéticos y cinemáticos del ejercicio flic-flac de Rondat. Se ha realizado una investigación cualitativa y sistemática de la literatura correspondiente de los últimos veinte años considerando las siguientes fuentes: Google Academic, Elsevier, Medline, ScienceDirect y Journal of Human Kinetics. Los resultados obtenidos muestran que los valores de los indicadores de fuerza e inercia, así como los indicadores cinemáticos relacionados con la velocidad, el movimiento del centro de masa, el momento angular y el ángulo de torsión entre el hombro y el tronco, determinan la correcta ejecución del ejercicio flic-flac de Rondat. Esperamos que estos resultados sean útiles para capacitadores e investigadores de ejercicios acrobáticos como los analizados en el presente artículo.

Palabras clave: Rondat, flic-flac, gimnasia, técnica, cinemática, biomecánica.

SUMMARY

The objective of the present article is to show an analysis of the kinetic and cinematic indicators of Rondat flic-flac exercise. A qualitative and systematic re-

search of the corresponding literature of the last twenty years has been made considering the following sources: Academic Google, Elsevier, Medline, ScienceDirect and Journal of Human Kinetics. The obtained results show that the values of force and inertia indicators, as also the cinematic indicators related with velocity, motion of the center of mass, angular momentum and torsion angle between shoulder and trunk, determine the correct execution of the Rondat flic-flac exercise. We expect that these results will be useful for trainers and researchers of acrobatic exercises like the analyzed in the present article.

Key words Rondat, flic-flac, gymnastics, technique, mechanics, kinematics, biomechanics.

INTRODUCCIÓN

Apuntando al tratado en ocho libros de Aristóteles datado alrededor del siglo IV A.C., podemos entender la Física como la ciencia que se encarga del estudio de la energía, la materia y el espacio-tiempo así como las interacciones de estos tres conceptos entre sí. El concepto proviene del latín “physica” relativo a la “naturaleza” (Bekker, 1837).

Para su estudio la física se puede dividir en tres grandes ramas: la Física clásica, la Física moderna y la Física contemporánea (Jeans, 1948). La Física clásica estudia aquellos fenómenos que ocurren a una velocidad relativamente pequeña comparada con la velocidad de la luz en el vacío y cuyas escalas espaciales son muy superiores al tamaño de átomos y moléculas. En el campo de estudio se encuentran la: Mecánica, Termodinámica, Ondas mecánicas, Óptica, Electromagnetismo (Física de Isaac Newton). Física moderna vinculada a aquellos fenómenos que se producen a una velocidad aproximadamente igual a la velocidad de la luz o valores cercanos a ella o cuyas escalas espaciales son del orden del tamaño del átomo o inferiores, esto es: Relatividad: Mecánica cuántica, Física de partículas, Gravitación (Física de Albert Einstein). Física contemporánea que se encarga de los fenómenos no-lineales, de la complejidad de la naturaleza, de los procesos fuera del equilibrio termodinámico y de los fenómenos que ocurren a escalas demoscópicas y nanoscópicas (Física del Siglo XX).

Conocemos la Física clásica gracias al físico y filósofo Isaac Newton quien enunció las tres leyes básicas de la fuerza clásica: 1ª ley: “todo cuerpo se encuentra en reposo, a menos que se vea obligado a modificar su estado por fuerzas fijadas sobre él”, 2ª ley: “el cambio en el movimiento de un cuerpo se encuentra directamente proporcional a la fuerza total que actúa sobre él, además de ser inversamente proporcional a su volumen”, 3ª ley: “toda fuerza siempre estará acompañada de otra fuerza con igual magnitud, pero con dirección contraria” (Newton, 1962).

Una de las ramas de la física clásica es la Mecánica que estudia y analiza el movimiento y reposo de los cuerpos, y su evolución en el tiempo, bajo la acción de fuerzas. Esta dio origen otras disciplinas como la estática que estudia el equilibrio

entre fuerzas; y la dinámica que estudia el movimiento atendiendo a las fuerzas que las origina (Donskoi, 1959). Para el estudio en particular de la dinámica se utiliza la cinética y la cinemática. La cinética se encarga de analizar movimientos bajo la influencia de fuerzas, es decir, tomando en consideración también las causas del movimiento. En cambio, la cinemática, estudia el movimiento en sí, sin atender a las causas que lo originan. En la práctica, la cinemática y la cinética reside en la forma de analizar un cuerpo, máquina o componente. La cinemática describe y analiza el efecto del movimiento sobre los cuerpos sin tener en cuenta las causas. En este caso, lo importante es analizar los aspectos geométricos del movimiento en cada momento, analizando la trayectoria, la velocidad y la aceleración. Solo comprendiendo a la perfección la cinemática de un cuerpo es posible aplicar la cinética, que por medio de ecuaciones matemáticas aplica las leyes de Newton como su base de estudio. (Ibañez, Martín, & Zamarro, 1989; Kreigbaum & Barthels, 1990). El estudio de la Cinemática ha sido de mucha utilidad, cuando se desea conocer los indicadores físicos que intervienen en el vector de posición de un cuerpo en función de magnitudes escalares (trayectoria, tiempo) y magnitudes vectoriales (desplazamiento, velocidad, aceleración).

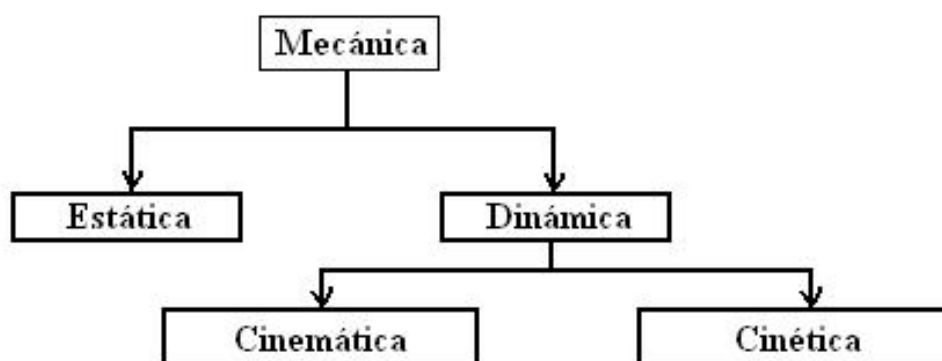


Figure 1. Áreas de estudio de la mecánica.

Existe también una relación entre la física y el deporte, conocida como biomecánica, y se entiende como la ciencia de las leyes del movimiento mecánico en los seres vivos. La biomecánica como ciencia pura, basa sus principios en la física clásica y en especial en una de sus ramas, la mecánica. En la mayoría de todo análisis biomecánico se deben aplicar los principios y las leyes de la mecánica clásica, este apoyo continuo sobre la mecánica clásica es el sustento de la objetividad en el análisis que se desea establecer (Donskoi & Zatsiorski, 1988).

En el caso de la Gimnasia Artística (GA), las características específicas de cada elemento tienen base en el análisis biomecánico a través del cual es posible identificar la técnica deportiva (TD) (Arampatzis & Brüeggmann, 1998), especificar errores en el rendimiento (Živčić & Šadura, 1996) (Nakamura & Kato, 1999), y determinar las características biomecánicas del aparato gimnástico (Daly & Bass, 2001). La investigación biomecánica en GA puede realizarse utilizando métodos biomecánicos y métodos tomados de otros campos del conocimiento

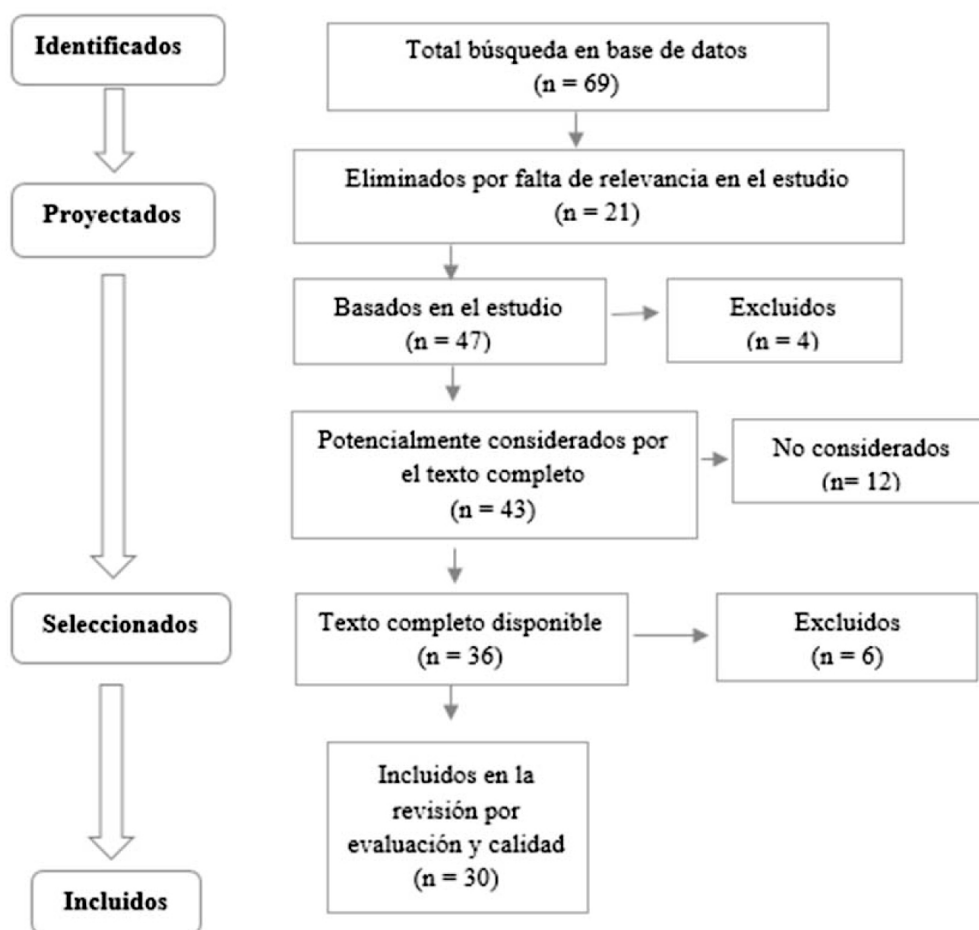
tales como; pedagógico, mecánico, fisiológico, psicológico y médico, entre otros (Potop, 2007). El aumento del nivel de objetividad va desde los criterios pedagógicos hacia los biomecánicos, ésta es la razón por la cual los criterios biomecánicos se usan para dividir elementos de gimnasia en partes. Por lo tanto, la estructura técnica de los elementos de gimnasia contiene tres niveles: períodos, etapas y fases (Suchilin, 2010).

La mecánica en el estudio del movimiento humano determina en la TD un objetivo general de rendimiento (OGR), el cual corresponde a su característica principal implicada en el cumplimiento de dicha tarea motora (Morante & Izquierdo, 2008). El estudio de las variables mecánicas implicadas en una TD se desprende de cada una de sus fases, en las que se establece un propósito mecánico (PM) como gran característica mecánica utilizada para conseguir su efectividad, cada PM origina indicadores cinéticos (ICn) e indicadores cinemáticos (ICm) siendo los aspectos evaluables en el ámbito del deporte. (Ibañez-Mengual, Martín-Rodríguez, & Zamarro-Minguell, 1989; Kreigbaum & Barthel, 1990).

El rondat flic-flac (RFf) es un ejercicio de Gimnasia Artística que se utiliza en la modalidad de suelo, viga y salto. Es un elemento acrobático utilizado en el esquema de suelo y en viga como elemento de entrada o salida, además es un pre requisito para la enseñanza del Yurchenko en salto (Federation International Artistic Gymnastic, 2017). Forma parte del grupo de elementos acrobáticos con apoyo de manos, con fase de vuelo y batida simultánea de los pies (Etapé Tous, 2002). Los movimientos acrobáticos más difíciles en el suelo dependen de la ejecución eficiente de las habilidades de transición; el rondat y el flic-flac, actuando como aceleradores antes del despegue. El despegue hacia atrás inicia los impulsos lineales y rotacionales para saltos múltiples con múltiples posiciones corporales (Geiblinger, Morrison & McLaughlin, 1995).

MÉTODO

El objeto de esta investigación fue evidenciar cuales son las variables cinéticas y cinemáticas que intervienen en la ejecución del elemento RFf de GA. Se realizó una revisión sistemática cualitativa de los últimos 20 años en cinco bases de datos de literatura específica: *Google Académico*, *Elsevier*, *Medline*, *ScienceDirect* y *Journal of Human Kinetics*. Las palabras claves utilizadas fueron: *rondat flic-flac*, *gimnasia*, *mecánica*, *física*, *dinámica*, *cinemática*, *biomecánica*, siendo los criterios de selección: coherencia con la temática en cuestión, artículos de revisión e investigación experimental. Se excluyeron estudios vinculados a publicaciones no formales como resúmenes y/o comunicaciones cortas, referentes directos no escritos en inglés y cuya temática no abordara directamente la temática cinemática. A partir de las referencias seleccionadas se construyó el presente artículo de revisión acerca del análisis en la cinética y cinemática del Rondat fli-flac. En la Figura 1 se puede observar una descripción del proceso de selección de los instrumentos y en la Tabla 1 un resumen de la literatura técnica utilizados para la revisión.

Figura 1. Resumen de la revisión. Proceso de selección de los instrumentos utilizados en la revisión.**Tabla 1.** Revisión de la literatura técnica.

1Nº	Autor	Muestra	Método	Objeto de estudio	Resultado
1	Aldazabal, I. (2010)	No tiene	Método de investigación cualitativa y cuantitativa	Cinética	Análisis cinética en saltos.
2	Araújo, C. (2004)	No tiene	Método de investigación cualitativa	Mecánica en Gimnasia	Ayudas mecánicas en gimnasia.
3	Bermejo, J. (2013))	46 libros, 26 artículos y 2 tesis doctorales	Revisión bibliográfica cualitativa	Biomecánica	Técnica deportiva es un movimiento ideal relativo al deporte y al deportista, se ejecuta siguiendo una secuencia de patrón lógico establecido en función de las reglas internas y externas al deporte y en función de los conocimientos previos en mecánica y las experiencias prácticas.

4	Bessem, M., Monèm, J., Samiha, A., Helmi, C. & Zouhair, T. (2013)	5 gimnastas de alto nivel	Plataforma de fuerza sincronizada con un sistema de análisis de movimiento 2D.	Cinética y cinemática del rondat flic-flac	El round-off junto con flic-flac es la óptima serie que garantiza un alto salto mortal.
5	Boldrini, S., Carrara, P., Serrao, J., Amadio, A. & Mochizuki, L. (2016)	40 artículos con variables de mano y salto	Revisión bibliográfica cualitativa	Energía cinética y energía potencial	Durante la preparación, el gimnasta corre para aumentar la energía cinética y aumentar la energía mecánica a las rotaciones lineales y angulares que se realizarán en el 2º vuelo.
6	Bradshaw, Hume, Calton, & Aisbett (2010)	13 gimnastas australianos de alto rendimiento	Sistema de retroalimentación de salto en gimnasia a medida	Velocidad y tiempo de contacto	Las medidas de velocidad de contacto con una alfombra integrada en la placa de golpe, pueden utilizarse confiablemente para evaluar salto en gimnasia.
7	Bradshaw, E. (2004)	5 gimnastas élite 13 a 15 años	Sistema de captura 2D	VARIABLES CINEMÁTICAS	Incluir ejercicios que mejoran la capacidad de carrera, durante la ejecución del salto.
8	Bradshaw, E. & Sporrow, W. (2001)	5 ensayos para 5 gimnastas	Se colocaron dos tiras de referencia con intervalos alternos de 50cm en blanco y negro, a cada lado del área de aproximación más una plataforma elevada para dos jueces calificados.	VARIABLES IMPORTANTES DEL SALTO	Una mayor velocidad de aproximación conduce a un aumento de la velocidad de redondeo ($p \leq 0.01$), dando como resultado un rápido y corto despegue de la tabla ($p \leq 0.01$).
9	Diener & Aedo (2017)	32 papers de revisión	Revisión sistemática cualitativa	CINEMÁTICA EN EL SALTO EN EXTENSIÓN	Los indicadores cinemáticos que influyen en el salto en extensión son; trayectoria de centro de masa, altura del centro masa, tiempo de contacto con el trampolín, ángulo relativo coxofemoral.
10	Donskoi, D & Zatsiorski, V. (1988)	No tiene	Método de investigación cualitativa y cuantitativa.	BIOMECÁNICA DEL DEPORTE	Los principios y las leyes de física se apoyan continuamente sobre la mecánica clásica y es el sustento de la objetividad en el análisis que se desea establecer.
11	Farana, R., Jandacka, D., Uchytíl, J., Zahradník, D. & Irwin, G. (2017)	6 gimnastas nacionales	Sistema de captura 3D sincronizado dinámico inverso.	CINÉTICA Y CINEMÁTICA DEL FLIC-FLAC	En la posición exterior de manos en flic-flac, el codo se expone a lesiones al incrementar la carga cinética y biofísica.
12	Federación Internacional de Gimnasia-FIG. (2017)	Niveles Internacionales	Método de expertos y aprobado por el Comité Ejecutivo FIG, actualizado después del Curso Intercontinental de Jueces GAF (12 al 18/diciembre/2016).	CÓDIGO DE PUNTUACIÓN EN GIMNASIA ARTÍSTICA	Código de puntuación para juegos olímpicos, campeonatos del mundo, competencias regionales e intercontinentales y eventos con participantes internacionales.
13	Geiblinger, H., Morrison, E. & McLaughlin, P. (1995)	10 hombres y 8 mujeres gimnastas	2 video cámaras, Data 3D Cinemático de 50 Hz.	DINÁMICA DEL TAKE-OFF EN DOBLE SALTO MORTAL	El factor más determinante en el vuelo del mortal es la velocidad vertical del centro de masa, siendo 4.2 m/s para hombres y 3.54 m/s para mujeres dentro del take-off.

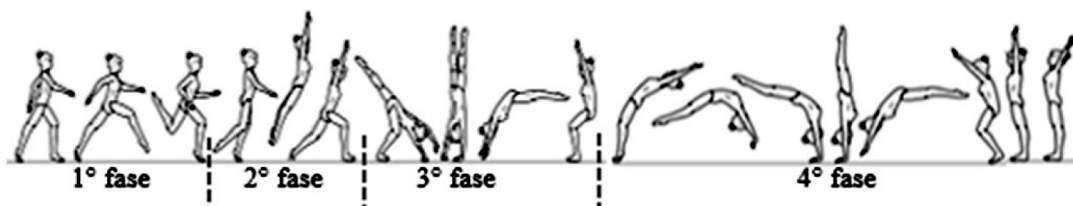
14	Hassan, H.S., Hanna, S.J. & Ameen, F.M. (2015)	40 estudiantes Universidad de Diyala	Método de experimento utilizando diseño cuasi-experimental a través de una plataforma de salto.	Biomecánica del salto	La información biomecánica teórica que se les dio a los estudiantes impacto positivamente en su habilidad y desempeño, a través de la plataforma de salto.
15	Hedbávný, P. & Kalichová, M. (2015)	14 gimnastas de 18 a 25 años	Método de análisis cinemático en 3D.	Velocidad	Con la máxima velocidad en la fase de despegue del trampolín, la gimnasta es capaz de utilizar mejor la técnica con el fin de ejecutar correctamente la entrada a la mesa de salto.
16	Ibáñez, J. (1989)	No tiene	Método de investigación cuantitativa.	Variables físicas	Análisis de la cinemática.
17	Izquierdo, M. (2008)	No tiene	Método de investigación cualitativa y cuantitativa.	Biomecánica	Análisis biomecánico en actividad física.
18	Jackson, M. (2010)	1 gimnasta	Se desarrolló un modelo de simulación en la fase de contacto con la mesa del salto en gimnasia.	Cinemática del salto	El momento angular disminuía siempre durante la fase de contacto con la mesa de salto, aunque las reducciones eran menores cuando se maximizaba la rotación después del vuelo.
19	Jemni, N. (2013)	No tiene	Método de investigación cuantitativa.	Variables físicas	Análisis de la cinemática y cinética en gimnasia.
20	Koh, M. (2007)	1 gimnasta	Método experimental a través de selección combinada de parámetros.	Cinemática	El ángulo de ataque a la mesa de salto se mantuvo bajo y el momento angular previo a vuelo tuvo que ser incrementado con mayores ganancias.
21	Kreighbaum, E. & Barthel, K. (1990)	24 libros, 13 artículos.	Revisión bibliográfica cualitativa.	Conceptualización de biomecánica	Tareas de la biomecánica en el deportista son: Describir las técnicas deportivas., corregir defectos de la técnica deportiva, proponer técnicas más eficientes y eficaces.
22	Mkaouer, B., Jemni, M., Amara, S., Chaabene, H. & Tabka, Z. (2013)	5 gimnastas de alto nivel	A través de una plataforma de fuerza sincronizada con un sistema de análisis de dos dimensiones para recopilar los datos cinéticos y cinemáticos.	Cinemática y cinética del salto	Mayor elevación del centro de masa en la fase de vuelo permite mejorar el rendimiento y amenizar el riesgo de caídas. La serie de óptima sería rondat, flic-flac a salto en extensión, lo que daría mejor altura en el salto.
23	Newton, I. (1962)	No tiene	Método de investigación cuantitativo y experimental.	Mecánica clásica	Leyes de la Física.
24	Penitente, G. (2007)	14 gimnastas	Método experimental a través de sistema de coordenadas en 3D.	Cinemática del centro de masa	Los gimnastas utilizan el tablero para evitar la gran disminución de la velocidad horizontal del CM y aumentar la velocidad vertical de esta.
25	Penitente, G. (2014)	16 gimnastas italianas	Método experimental a través de modelo determinista.	Cinética de las fases del Yurchenko	La fase posterior al vuelo es la fase más importante de la bóveda.

26	Penitente, G., Merni, F. & Sands, W. (2011)	5 gimnastas italianas de 10 a 14 años	Análisis descriptivo con Sistema optoelectrónico (Vicon Motion 460) de 100Hz y Modelo de 45 puntos.	Cinemática del Centro de masa	Los mejores logros de un una mayor velocidad en el take-off fue de (3.4 m.s-1). La gimnasta más avanzada mostro una alta trayectoria en la fase de vuelo de 1.0 m.s-1.
27	Requejo, Ph.; McNitt-Gray, J. & Flashner, H. (2004)	3 gimnastas de elite	Modelo dinámico multi-variante experimentalmente validado.	Cinemática del hombro	La modificación en la torsión del hombro durante la fase de vuelo permite a gimnastas mantener la cinemática del tren inferior.
28	Takei, Y. (2007).	23 gimnastas	Método de análisis cinemático en 3D, filmados en cámara de 16-mm a 100 Hz.	Cinemática del mortal agrupado	El punto de aterrizaje y la distancia horizontal oficial del vuelo posterior representaron el 86% de la variación en los puntajes de los jueces.
29	Uzunov, V. (2011)	1 artículo	Revisión bibliográfica cualitativa.	Mecánica de las fases del Yurchenko	Modelo de progresiones que se basa en obtener buena altura en la entrada del trampolín con una rotación rápida en el rondat y pre-vuelo más un alto ángulo de ataque contacto a la mesa.
30	Uzunov, V. (2015).	16 artículos	Descripción cualitativa.	VARIABLES CINEMÁTICAS DEL YURCHENKO	Los factores clave del rendimiento del yurchenko son: un control de la velocidad horizontal durante el obstáculo y pre-elemento, un alto ángulo del cuerpo en el contacto del trampolín, máximo angular en entrada a la mesa, aceleración en la rotación del mortal más distancia de aterrizaje.

RESULTADOS

Del estudio de la mecánica de la TD Rff se determinó un OGR como característica principal implicada en el cumplimiento de dicha tarea motora (Morante & Izquierdo, 2008). Cada una de las fases arrojó un PM como característica mecánica utilizada en la efectividad de la TD. Cada PM origina ICn e ICm siendo aspectos evaluables en el ámbito deportivo. (Ibañez-Mengual, Martín-Rodríguez, & Zamarro-Minguell, 1989; Aedo-Muñoz & Bustamante-Garrido, 2012).

El OGR del Rff es la optimización de las velocidades para alcanzar una gran cantidad de Energía cinética necesaria para lograr una gran magnitud de momento angular (Mkaouer et al., 2013). Las fases de la TD se seleccionaron en base a un estudio realizado por Roman Farana, Daniel Jandacka & Jaroslav Uchtyl, (2017) quienes investigaron la técnica desde el round-off: 1. carrera 2. take-off 3. round-off 4. flic-flac. Como se expresa en la siguiente figura, cada gesto técnico tiene un objetivo determinado (OGR) que destaca su característica mecánica (PM) gracias a los indicadores cinéticos y cinemáticos que lleva a cabo su función.





1° Fase

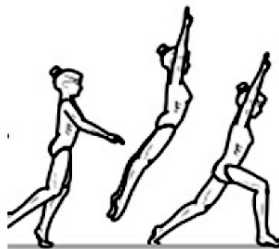
Carrera

Generar suficiente velocidad y carrera (Federation International Artistic Gymnastic, 2017).

PM Cómoda velocidad de aproximación.

ICm Velocidad, distancia de carrera.

ICn Cantidad de movimiento.



2° Fase

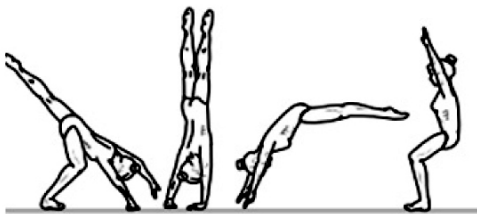
Take-off

Optimizar la velocidad de despegue alcanzando una gran cantidad de energía cinética necesaria (Geiblinger et al., 1995)

PM Alcanzar una gran cantidad de energía cinética.

ICm Velocidad.

ICn Fuerza.



3° Fase

Round-off

Mantener el centro de masa (CM) cerca del suelo para eliminar las desaceleraciones y permitir una mayor rotación del tronco (60° ángulo de cadera) (Uzunov, 2011).

PM Mantener CM cerca del suelo.

ICm Trayectoria del CM, ángulo de rotación relativa del tronco, velocidad angular del tronco.

ICn Inercia, momento de inercia.



4° Fase

Flic-flac

Mostrar una flexión rápida de los hombros por encima de 180° para tocar el suelo con las manos a través de un poderoso empuje y regresar rápidamente con ambos pies (Koh, 2007).

PM Energía elástica de contacto.

ICm Velocidad del CM, ángulo de flexión relativa del hombro, tiempo de contacto con el suelo, porcentaje de deformación del suelo, momento angular.

ICn Inercia, fuerza, momento de inercia, momento de fuerza.

Figura 2. Análisis cinético del ejercicio Rondat Flic-flac
Variables mecánicas de las fases del Rondat Flic flac con su respectivo propósito mecánico e indicadores cinéticos y cinemáticos.

DISCUSIÓN

La investigación arrojó que en la primera fase de carrera lo que más importa es obtener un buen enfoque lo que permite optimizar la velocidad de carrera que luego se traducirá en las correspondientes velocidades verticales, horizontales y rotacionales. La carrera establece la prioridad para la dinámica global del ejercicio y permite que la ejecución sea rápida y ordenada, un mayor potencial para realizar un ejercicio dinámico y explosivo. El último paso de la carrera es característicamente más largo y marcado por una caída en la velocidad anterior, es acá donde la gimnasta debe convertir toda esa energía cinética en explosiva y sin perder velocidad cambiar la dirección del movimiento hacia arriba por medio de un round-off. La característica clave de la técnica del round-off es la rápida rotación de los pies desde la parada de manos, lo que permite reorientar rápidamente la trayectoria del gimnasta desde un movimiento lineal a uno angular. Utilizando la misma energía cinética obtenida en el round-off, la gimnasta rota rápidamente su CoM para llegar nuevamente con sus manos al suelo, para lograr esto la fuerza relativa de la articulación del hombro debe ser suficiente para soportar la fuerza del suelo, la que debe ser explosivamente sorteada. Esto se llama también “bloquear” el hombro con un ángulo de hombro abierto (180°) y rápido empuje del suelo.

La altura y desplazamiento del CoM son determinantes en la ejecución de la fase del Flic-flac, la capacidad del gimnasta para mantener un cuerpo estirado en el aire depende de su momento angular y trayectoria de vuelo, solamente la gimnasta puede acelerar la rotación de la columna reduciendo la inercia con su tren inferior. Un aterrizaje sin error y puntual es un buen indicador de control del ejercicio round-off flic-flac.

Analisis dinámico y energético

Para las tres primeras fases que se muestran en la Figura 2, se puede realizar un análisis dinámico de energía como se describe a continuación, para determinar si la energía se involucra en el salto y el desplazamiento del centro de la masa del cuerpo de gimnasta. El movimiento se puede describir como un desplazamiento del centro de masa del cuerpo tanto en la horizontal como en la dirección vertical, combinado con una rotación alrededor de este centro de masa.

1. Movimiento del centro de masa.

Este movimiento se puede describir mediante una dinámica similar a la del lanzamiento de un proyectil como se muestra en la figura 3:

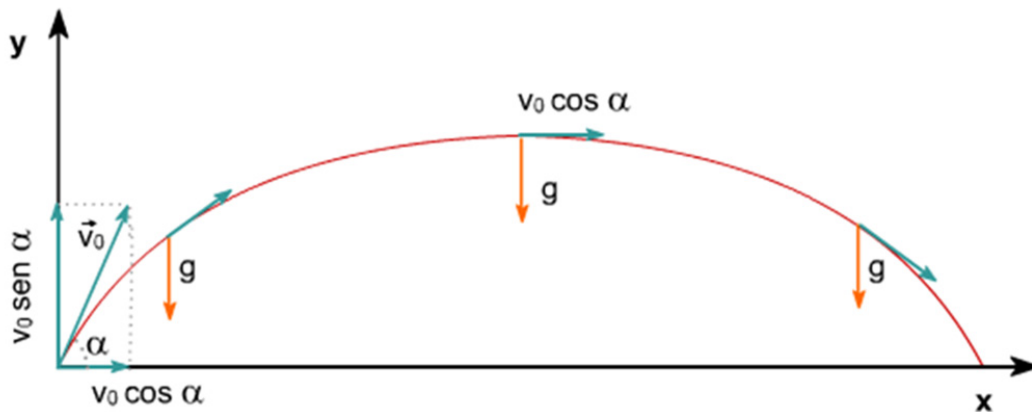


Figura 3. Descripción dinámica de la fase Rondat.

Si \vec{v}_0 es el vector de velocidad inicial al comienzo de la segunda fase y los componentes correspondientes a lo largo de los ejes x e y son $v_{x0} = v_0 \cos \theta$ and $v_y = v_0 \sin \theta$ con $v_0 = |\vec{v}_0|$, la dinámica del centro de masa obtenido de la ley de Newton está dado por las siguientes ecuaciones:

$$(1) \quad x(t) = v_{x0} t$$

$$(2) \quad y(t) = v_{y0} t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$(3) \quad v_y(t) = v_{y0} - g t$$

En las ecuaciones (2) y (3) g es la aceleración de la gravedad (9.81 m / s²).

De las ecuaciones anteriores se obtiene que, para valores dados de v_0 y α , la altitud máxima H y el desplazamiento horizontal D se pueden expresar como:

$$(4) \quad H = \frac{v_{y0}^2}{2g} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

$$(5) \quad D = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

De las ecuaciones (4) y (5) obtenemos la siguiente relación entre H y D

$$(6) \quad \frac{H}{D} = \frac{1}{4} \tan \alpha$$

2. Rotación sobre el centro de masa.

El momento de inercia del cuerpo con respecto a un eje perpendicular al plano xy y que pasa a través de su centro de masa puede calcularse aproximadamente si este cuerpo se modela como un cilindro de masa M, radio R y longitud L. La expresión resultante es:

$$(7) \quad I = MR^2/4 + ML^2/12$$

3. Estimación de la energía requerida.

La energía mecánica asociada a las fases 1 a 3 se calcula como una suma de la energía cinética de traslación y de rotación de la siguiente manera:

$$(8) \quad E = \frac{Mv_0^2}{2} + I\omega_r^2/2$$

Donde $\omega_r = 2\pi/T$ es la frecuencia angular de rotación (rad / s) en el plano xy con respecto al centro de masa, y T es el tiempo requerido para un desplazamiento horizontal $D = v_{x0}T$. Para la cuarta fase podemos Considerare que la energía requerida es casi similar a la de las fases anteriores.

4. Resultados Numéricos

En la Figura 4 trazamos la energía total que el gimnasta debe tener al comienzo de la segunda fase para alcanzar un desplazamiento horizontal D al final de la tercera fase.

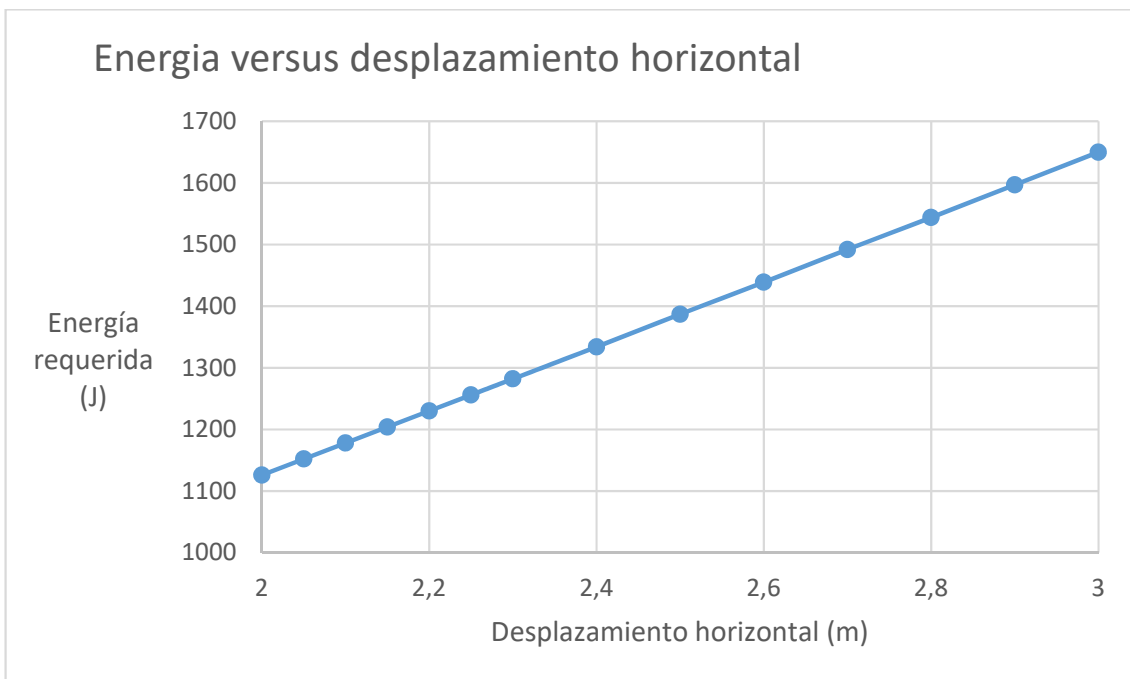


Figura 4. Energía total en la segunda fase en relación con el desplazamiento horizontal D de la tercera fase.

Se puede observar que la energía varía casi linealmente con la distancia alcanzada D. Para un valor típico de $D = 2,5$ m, la energía requerida es de 1383 [J] equivalente a 330 [cal]. Para la cuarta fase, esta energía es casi similar, por lo que podemos estimar que la energía total consumida por el gimnasta para hacer todo el ejercicio que se muestra en la Figura X es 2766 [J] o 660 [cal]. La Figura 5 muestra el alcance vertical (altura con respecto a la superficie) del centro de masa

frente al desplazamiento horizontal. Se puede ver que el alcance vertical aumenta linealmente con el desplazamiento horizontal de acuerdo con la ecuación. (6).

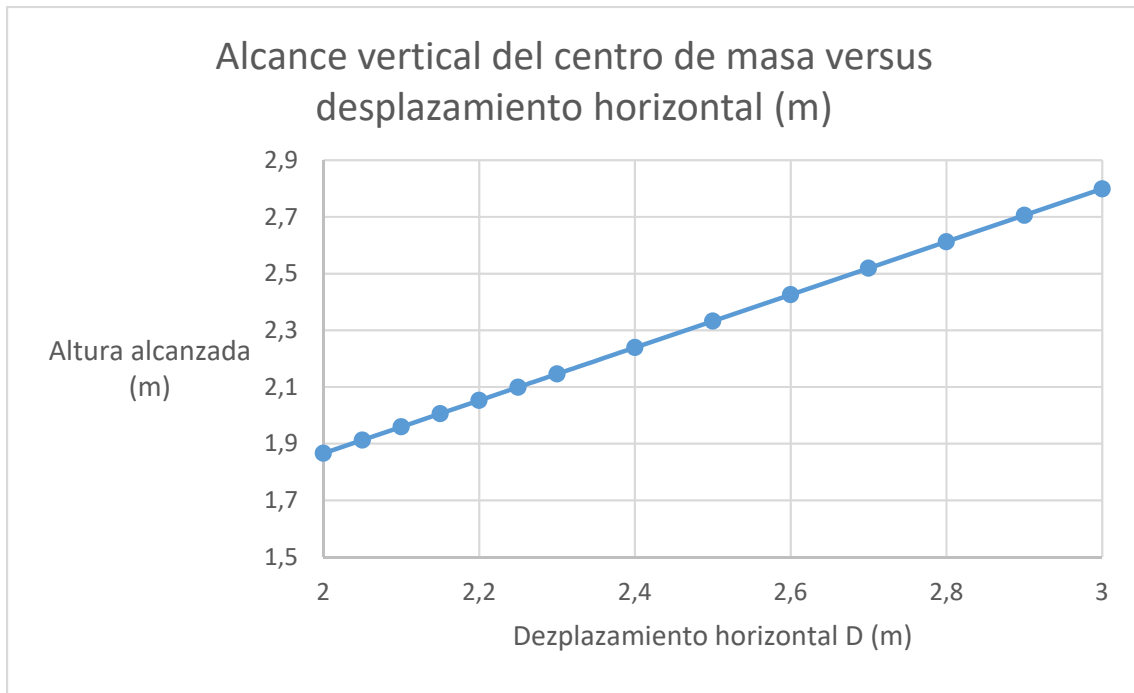


Figura 5. Alcance vertical COM (altura con respecto a la superficie) relativa al desplazamiento horizontal.

Valores de Parámetros

Para todos estos cálculos se han considerado los siguientes valores:

Peso y altura de la persona: 55 Kg, 1.7 m.

Radio R pf el cilindro equivalente que representa al gimnasta: 0,3 m

Ángulo de inclinación del cuerpo con respecto a la superficie (α): 75o

CONCLUSIÓN

El análisis de cada fase de la técnica deportiva Rondat flic-flac proporciona los indicadores cinéticos de fuerza e inercia, y la cinemática de la velocidad, la trayectoria del centro de masa, el momento angular, el ángulo de flexión relativo del hombro y el tronco, siendo la velocidad y Trayectoria del centro de masa más determinante según la revisión. Se observa que para ejecutar correctamente un Rondat, el desplazamiento horizontal o la trayectoria debe ser bastante amplia, no precisando necesariamente una altura alta, sino una velocidad, esto se traduce en la energía total que debe tener el gimnasta para alcanzar un desplazamiento horizontal. D al final de la tercera fase. Es decir, la energía total varía casi

linealmente con la distancia alcanzada en D y la energía mecánica asociada a las fases 1 a 3 es la suma de la energía cinética de traslación y rotación. De la misma manera, podemos considerar que para la cuarta fase la energía requerida es casi similar a la de las fases anteriores. Para cumplir con el propósito del motor, cada indicador requiere un entrenamiento individualizado en cada fase de la técnica deportiva. Vale la pena mencionar, a su vez, la particularidad de los ejercicios para entrenar cada variable cinemática, que debe ser familiar a la fase de gestos. Se espera que la información derivada de este estudio sea útil para los entrenadores e investigadores de gimnasia artística.

REFERENCIAS

- Aedo-Muñoz, E., & Bustamante-Garrido, A. (2012). Conceptualización de la Biomecánica Deportiva y de la Educación Física. *Educación Física, Chile*, 270, 63–68.
- Aldazabal, I. (2010). *Análisis cinético de los saltos específicos en Gimnasia Rítmica Deportiva*. Universidad Europea de Madrid.
- Arampatzis A, B. G. (1998). A mathematical high bar-human body model for analyzing and interpreting mechanical-energetic processes on the high bar. *J Biomech.*, 31, 1083–1092.
- Araújo, C. (2004). *Manual de ayudas en Gimnasia*. Paidotribo.
- Bekker, I. (1837). *Física de Aristóteles*. Grecia.
- Bermejo, J. (2013). Revisión del concepto de Técnica Deportiva desde la perspectiva biomecánica del movimiento. *Revista Digital de Educación Física*, 25, 45–59.
- Boldrini, S. M., Carrara, P., Serrao, J. C., Amadio, A. C., & Mochizuki, L. (2016). Kinematic variables of table vault on artistic gymnastics. *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*, 30(1), 97–107. <https://doi.org/10.1590/1807-55092016000100097>.
- Bradshaw, E. (2004). Target-directed running in gymnastics: a preliminary exploration of vaulting. *Sports Biomechanics*, 3(1), 125–144. <https://doi.org/10.1080/14763140408522834>
- Bradshaw, E., Hume, P., Calton, M., & Aisbett, B. (2010). Reliability and variability of day-to-day vault training measures in artistic gymnastics. *Sports Biomechanics*, 9(2), 79–97. <https://doi.org/10.1080/14763141.2010.488298>
- Bradshaw, E. J., & Sparrow, W. A. (2001). the Approach, Vaulting Performance, and Judge'S Score in Women'S Artistic Gymnastics. *19 International Symposium on Biomechanics in Sports*, 54–57.
- Daly RM, Bass SL, F. C. (2001). Balancing the risk of injury to gymnastics: how effective are the counter measures? *Br J Sports Med*, 35, 1–19.
- Diener, L. (2017). Indicadores cinemáticos en el salto de extensión. *Revista Científica de La Educación Física y El Deporte. Arrancada.*, 17(31). Retrieved from <http://revistarrancada.cujae.edu.cu/index.php/arrancada/article/view/9-31>
- Donskoi, D & Zatsiorski, V. (1988). *Biomecánica de los ejercicios físicos*. (E. P. y Educación, Ed.). La Habana.
- Donskoi, D. (1959). *Biomecanica exercițiilor fizice*. (Editura Tineretului, Ed.). Timișoara.

- Estapé Tous, E. (2002). *La acrobacia en gimnasia artística: su técnica y su didáctica*. INDE.
- Federation International Artistic Gymnastic. (2017). *Olympic Code of Points*. United State American.
- Gabriella Penitente, Franco Merni, W. S. (2011). Kinematic Analysis of the Centre of Mass in the Back Handspring: A case study. *Gym Coach Journal of Coaching Sport Science in Gymnastics*, 4, 1–11.
- H. Geiblinger, W. E. M. & P. A. M. (1995). TAKE-OFF CHARACTERISTICS OF DOUBLE BACK SOMERSAULTS ON THE FLOOR. *Biomechanics Unit, Dep't of Physical Education and Recreation and Centre for Rehabilitation, Exercise and Sport Science, Victoria University of Technology*.
- Hassan, H. S., Hanna, S. J., & Ameen, F. M. (2015). Effect of theoretical biomechanics on open jump the platform jumps performance using jumps (vault) in artistic gymnastics. *Journal of Human Sport and Exercise*, 10(Special Issue 2), 21–24. <https://doi.org/10.14198/jhse.2015.10.Proc2.15>
- Hedbávný, P., & Kalichová, M. (2015). Optimization of velocity characteristics of the yurchenko vault. *Science of Gymnastics Journal*, 7(1), 37–49.
- Ibañez Mengual, J., Martín Rodríguez, E., & Zamarro Minguell, J. (1989). *Física*. Murcia: Universidad de Murcia.
- Isaac Newton. (1962). *Principia Mathematica*.
- Izquierdo, M., Echeverría, J. M., & Morante, J. C. (2008). Estructura y análisis del movimiento. In *Biomecánica y bases neuromusculares de la actividad física y el deporte* (Panamerica, p. 770). Madrid.
- Jackson, M. (2010). *The mechanics of the table contact phase of gymnastics vaulting*. Loughborough University.
- Jeans, J. (1948). *The growth of physical science*. (Brevarios, Ed.) (1°). Nueva York.
- Jemni, M. (2013). *The Science of Gymnastics*. (Routledge, Ed.). Taylor & Francis.
- Koh, M. (2007). Strategies in preflight for an optimal Yurchenko layout vault. *Journal of Biomechanics*.
- Kreigbaum E, B. K. (1990). *Kreigbaum E, Barthels K. Biomechanics. A qualitative approach for studying human movement*. (Mc.Millan). New York.
- Mkaouer, B., Jemni, M., Amara, S., Chaabene, H., & Tabka, Z. (2013). Kinematic and kinetic analysis of two gymnastics acrobatic series to performing the backward stretched somersault. *Journal of Human Kinetics*, 37, 17–26. <https://doi.org/10.2478/hukin-2013-0021>
- Morante, J. C., & Izquierdo, M. (2008). Técnica deportiva, modelos técnicos y estilo personal. In *Biomecánica y bases neuromusculares de la actividad física y el deporte* (Panamerica, p. 771). Barcelona.
- Nakamura T, Kato S, W. Y. A. (1999). A Case Study on the Forward Handspring of Beginning Gymnasts. *Bulletin of Institute of Health and Sports Sciences. University of Tsukuba.*, 1(22), 33–42.
- Penitente, G. (2007). Kinematics of the springboard phase in yurchenko-style vaults. In *XXV ISBS Symposium 2007*. Ouro Preto.

- Penitente, G. (2014). Performance Analysis of the female Yurchenko layout on the table vault. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 14(1), 84–97. <https://doi.org/10.1080/24748668.2014.11868705>
- Potop V. (2007). Reglarea conduitei motrice în gimnastica artistică feminină prin studiul biomecanic al tehnicii. *Ed. Bren, București.*, 140.
- Requejo, P. S., McNitt-Gray, J.L. y Flashner, H. (2004). Modification of landing conditions at contact via flight. *Biological Cybernetics*.
- Roman Farana, Daniel Jandacka, Jaroslav Uchytíl, D. Z. & G. I. (2017). The influence of hand positions on biomechanical injury risk factors at the wrist joint during the round-off skills in female gymnastics. *Journal of Sports Sciences*, 35(2).
- Suchilin, N. (2010). Gymnastics – theory and practice. “Sovetskij Sport” Publishing House, Moscow., 1, 5–25.
- Takei, Y. (2007). The roche vault performed by elite gymnasts: somersaulting technique, deterministic model, and judges’ scores. *Journal of Applied Biomechanics*, 23(1), 1–11.
- Uzunov, V. (2011). Teaching a Great Yurchenko Layout Vault. *Gym Coach*, 55(August), 12–21. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4033.7127>
- Živčić K, Šadura T, D. S. M. D. (1996). Kinematic descriptions basic techniques somersault forward. In *III Conference of sport* (pp. 161–165). Zagreb: Faculty of Kinesiology.