

Procedimiento para el análisis biomecánico de la variabilidad del movimiento en el lanzamiento de disco

Procedure for the analysis of the biomechanics of the variability of the movement in the discus throwing

Procedimento para a análise biomecânica da variabilidade do movimento no lançamento do disco

Rayner Toledo Ríos^{1*}  <https://orcid.org/0000-0003-2077-0363>

Mario Luis Medina Cabrera¹  <https://orcid.org/0000-0001-6176-9508>

Jonathan Roberto Rodríguez Espín²  <https://orcid.org/0000-0002-6178-1723>

Denis Lara Caveda³  <https://orcid.org/0000-0003-4844-5618>

Alberto Bautista Sánchez¹  <https://orcid.org/0000-0003-3526-1553>

¹Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Las Villas, Cuba.

²Escuela América Puyo. Pastaza, Ecuador.

³Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez". Sancti Spíritus, Cuba

*Autor para la correspondencia: rayner@uclv.cu

Recibido: 30 de agosto de 2020.

Aprobado: 7 de septiembre de 2020.

RESUMEN

El análisis sobre la técnica de los movimientos deportivos desde el estudio de la variabilidad del movimiento es un nuevo acercamiento a la evaluación, diagnóstico y control de las técnicas deportivas. Se conoció de la existencia de diversas investigaciones sobre la técnica del lanzamiento del disco, sin embargo, estas no han enfocado sus análisis desde la variabilidad, ni han ofrecido procedimientos para hacer el análisis desde esta perspectiva. El objetivo de esta investigación es establecer un procedimiento para el estudio de la variabilidad de la técnica en el Lanzamiento de Disco. El estudio se centró en un caso del sexo masculino que cuenta con 15 años y que entrena lanzamiento del disco en la Escuela de Iniciación Deportiva Escolar (Eide) de Villa Clara. Cuba. En la investigación se utilizaron métodos del nivel teórico y empírico tales como el estudio de casos, el estudio biomecánico y el análisis estadístico-matemático. Se logra comprobar que solo dos parámetros mostraron alta variabilidad en los nueve lanzamientos efectuados, mientras que el resto si logra una desviación estándar menor y por tanto poca variabilidad en los movimientos, además, existió una alta satisfacción de los usuarios con el procedimiento utilizado. El índice obtenido al aplicar la técnica IADOV indica que existe satisfacción de los usuarios introductores con los indicadores determinados.



Palabras clave: Gesto; Movimiento; Procedimiento; Técnica; Variabilidad.

ABSTRACT

The analysis on the technique of the sport movements from the study of the variability of the movement is a new approach to the evaluation, diagnosis and control of the sport techniques. It was known of the existence of diverse investigations on the technique of the Launching of the Disk, however these they have not focused their analyses from the variability; neither they have offered procedures to make the analysis from this perspective. The objective of this paper is: to establish a procedure for the study of the variability of the technique in the Launching of Disk. The study was centered in a case of the masculine sex that has 15 years and that it trains Launching of the Disk in the School of Initiation Sport Scholar of Villa Clara. Cuba. As the research methods of the theoretical and empiric level were used as the study of cases, the study of the Biomechanics and the statistical-mathematical analysis. it is possible to verify that single two parameters showed high variability in the 9 made launchings, while the rest if it achieves a deviation standard smaller and therefore little variability in the movements, also, a high satisfaction of the users existed with the used procedure. The index obtained when applying the technical IADOV indicates that the introductory users' satisfaction exists with the certain indicators.

Keywords: Gesture; Movement; Procedure; Technique; Variability.

RESUMO

A análise da técnica dos movimentos esportivos a partir do estudo da variabilidade do movimento é uma nova abordagem para a avaliação, diagnóstico e controle das técnicas esportivas. Sabia-se da existência de várias investigações sobre a técnica do lançamento de disco, porém, estas não focalizaram sua análise a partir da variabilidade, nem ofereceram procedimentos para fazer a análise nesta perspectiva. O objetivo desta pesquisa é estabelecer um procedimento para o estudo da variabilidade da técnica de Lançamento de Disco. O estudo teve como foco um jovem de 15 anos que treina lançamento de disco na Escola de Iniciação ao Esporte Escolar (Eide), em Villa Clara. Cuba. A pesquisa utilizou métodos de nível teórico e empírico como o estudo de caso, o estudo biomecânico e a análise estatística-matemática. É possível verificar que apenas dois parâmetros apresentaram alta variabilidade nos 9 arremessos realizados, enquanto os demais obtiveram menor desvio padrão e, portanto, pouca variabilidade nos movimentos, além disso, houve alta satisfação dos usuários com o procedimento utilizado. O índice obtido pela aplicação da técnica IADOV indica que há satisfação dos usuários introdutores com os indicadores determinados.

Palavras-chave: Gesto; Movimento; Processo; Técnica; Variabilidade.

INTRODUCCIÓN

La Biomecánica es una disciplina ubicada entre las ciencias derivadas de las ciencias naturales, que se ocupa del análisis físico de sistemas biológicos, consecuentemente, de los análisis físicos de los movimientos del cuerpo humano. Estos movimientos son estudiados a través de leyes y patrones mecánicos en función de las características específicas del sistema biológico humano, incluidos los conocimientos anatómicos y fisiológicos (Kharmanda & El Hami, 2017; León, Calero, & Chávez, 2016).



Cada deportista, atendiendo a sus diferencias individuales, tanto a su estructura corpórea como en la ejecución de los gestos deportivos, tiene variabilidad en sus patrones y su relación con los de otros deportistas. De esta manera, investigar la variabilidad del movimiento en forma intra e inter individual es un nuevo acercamiento a la evaluación, diagnóstico y control de las técnicas deportivas (González-Catalá & Calero-Morales, 2017; Andrade, Villarroya-Aparicio, & Morales, 2017).

La variabilidad se traslada al ámbito del comportamiento motor para explicar las diferencias existentes en dicho comportamiento entre varios individuos e, incluso, en las acciones motrices realizadas por una misma persona. A partir del conocimiento de los parámetros cinéticos y neurofisiológicos que producen y regulan el movimiento humano, se ha podido demostrar la inexistencia de dos movimientos exactamente idénticos, existiendo diferencias inter individuales en la ejecución de una misma tarea motriz (Slifkin & Newell, 2000).

Otra forma de interpretación de este fenómeno de la variabilidad, es que los sistemas biológicos son autoorganizados en cuanto al ambiente y las restricciones de orden biomecánico y morfológico, (León, Calero, & Chávez, 2016) para encontrar la solución más estable en la producción de un movimiento específico (Thelen & Smith, 1996).

Bajo el anterior concepto, un incremento en la variabilidad de un patrón de movimiento significa una menor cooperación de los tres componentes del sistema referencial antes enunciado. Una disminución en la variabilidad del patrón de movimiento indicaría un comportamiento cooperativo y altamente estable del sistema. Esta línea de pensamiento indicaría en el plano deportivo, que para realizar el lanzamiento hay que tener en cuenta el ambiente o estado externo del momento del gesto y las limitaciones cinéticas, cinemáticas y neurofisiológicas del lanzador (Newell, Slifkin, & Piek, 1998).

La variabilidad en el movimiento humano puede ser conceptuada como las variaciones normales que ocurren en la ejecución motora a través de múltiples repeticiones de un gesto (Stergiou, Buzzi, Kurz, & Heidel, 2004).

En la literatura de control motor existe una variedad de lineamientos científicos sobre la variabilidad del movimiento humano. En concordancia con Schmidt (2003) y Schmidt (2005), la variación de un patrón de movimiento en un momento determinado, puede ser considerada como la consecuencia de errores en la habilidad de predecir los parámetros necesarios para utilizar un programa motor y, con la práctica de tareas específicas; la predicción de errores puede ser eliminada gradualmente y de esta forma optimizar la precisión y eficiencia del patrón motor, aplicando por ejemplo el método de repetición.

Algunas investigaciones han encontrado que hay otras causas de la variabilidad diferentes a las tradicionales como son un resultado de ajustes, compensaciones y coordinación. En otro orden, Kudo, & Ohtsuki, (2008) reportaron que el movimiento humano es producido en ambientes variables externos e internos y que, a causa de esta variabilidad, un mismo comando motor puede resultar en patrones de movimiento bastante diferentes. Entonces, para producir movimientos complejos o altamente habilidosos, como los gestos deportivos, los humanos deben regular la variabilidad y no tratar de excluirla.



Cada deportista, teniendo en cuenta su individualidad, hace que sus movimientos dependan de la adaptación funcional a nuevos y diferentes esquemas de restrictores que se presentan en el momento de la ejecución de un mismo patrón de movimiento, que emergen de un comportamiento cooperativo de múltiples grados de libertad. Para los entrenadores la meta es optimizar el gesto deportivo de cada individuo, conociendo sus características y sus comportamientos seriales en el tiempo y en el espacio (Lasluisa, Rodríguez, & O'Farril, 2019).

A estos aspectos de la variabilidad no escapa el lanzamiento del disco, (Frutos, Palao, & Elvira, 2012) el cual es una especialidad atlética en la que se ejecutan a elevada velocidad, complicados movimientos combinados de traslación y rotación, afectados por las condiciones externas o ambientales, en especial a la sustentación y resistencia del aire, todo lo cual hace que este gesto posea altas demandas físicas y técnicas, que resultan determinantes en la consecución de un alto rendimiento, así como una capacidad del atleta de adaptarse a las condiciones externas, potenciar sus condiciones internas en función de la variabilidad y controlar el movimiento.

Varios autores han aplicado la biomecánica en función del análisis de la técnica en función del rendimiento, entre los que destacan: Floría (2006), Rubio (2017), Navelo (2011), entre otros.

Diversos autores han dado tratamiento biomecánico al análisis de la técnica del lanzamiento del disco, (Floría-Martín, 2006; Rubio-Rodríguez, 2017; Navelo, Cutzal, & Santeliz, 2011) a partir de categorización de variables de eficacia de la técnica, de la valoración biomecánica del lanzamiento a partir de una metodología que se puede aplicar en los programas de análisis y apoyo al rendimiento, el análisis de la influencia de la trayectoria del disco durante las dos últimas fases del lanzamiento en su velocidad de liberación, análisis biomecánico de los miembros inferiores durante el lanzamiento de disco, el desempeño técnico en la fase de descarga del lanzador de disco y la técnica del lanzamiento del disco; sin embargo, estos no han enfocado sus análisis desde el estudio de la variabilidad del movimiento.

Es importante considerar qué se entiende por conductas emergentes. En tal sentido, Newell, Slifkin, & Piek (1998) plantean que es la coordinación que surge en el sistema ejecutante-entorno y relaciona tres elementos: organismo, medio y tarea. El organismo incluye los subsistemas del cuerpo humano (subsistema postural, el hormonal, el cognitivo y el emocional). El medio son los efectos de la gravedad, las fuerzas de reacción y los flujos de energía que rodean al ejecutante (también las influencias socio-culturales). La tarea es específica del contexto de la ejecución y comprende las normas, los límites y los instrumentos implicados.

Estos elementos, desde el punto de vista dinámico, tienen la misma influencia en el comportamiento del individuo, de manera, que ningún constructo domina sobre el resto. Un patrón coordinado es el producto exitoso que se deriva de este proceso, teniendo en cuenta que la influencia de un subsistema particular puede variar la organización de la totalidad del sistema.

El Programa Integral de Preparación del Deportista de lanzamientos, es el documento metodológico que guía a los entrenadores de la Escuela de Iniciación Deportiva Escolar "Héctor Ruiz Pérez" de Villa Clara. Cuba (Eide); sin embargo, solo se dan indicaciones para la enseñanza en el lanzamiento del disco.

Como se puede apreciar a pesar de la importancia del análisis de la técnica a partir de la variabilidad en los movimientos, no se ha encontrado en las búsquedas bibliográficas realizadas, un procedimiento que permita realizar este estudio desde



esta visión. Como resultado de este análisis, esta investigación tiene como objetivo; establecer un procedimiento biomecánico para el ajuste, compensaciones, y control de la variabilidad de la ejecución técnica del lanzamiento del disco, de los atletas de la categoría 15-16 años de la (Eide) "Héctor Ruiz Pérez".

MATERIAL Y MÉTODOS

El contexto de estudio fue la Eide de Villa Clara. Entre los sujetos de la investigación estuvieron: el atleta perteneciente a la categoría 14-15 años (Estudio de casos), el entrenador de lanzamiento de la Eide, cuatro miembros de la Comisión provincial de Atletismo seleccionados intencionalmente bajo el criterio de contar con más de diez años de experiencia en la actividad, ser especialistas de postgrado o máster, y los dos miembros del colectivo de Biomecánica de la Facultad de Cultura Física de la Universidad central "Marta Abreu" de las Villas (U.C.L.V).

Se aplica una entrevista semiestructurada, permitiendo conocer el criterio de entrenadores y miembros de la Comisión Técnica Provincial sobre la forma en que se analiza actualmente la técnica de los atletas, y sobre sí se utiliza o no el estudio de la variabilidad. Las técnicas interactivas posibilitaron estructurar el procedimiento propuesto para el análisis de la variabilidad, en estos participaron de manera conjunta el colectivo de investigadores y de profesores de Biomecánica de la Facultad de Cultura Física de la U.C.L.V.

Metodología empleada

Se utilizaron dos cámaras digitales Panasonic para la grabación de las imágenes, con el apoyo de un ordenador a través del programa biomecánico KINOVEA. Las imágenes grabadas recogieron un conjunto de acciones realizadas por el lanzador objeto de estudio durante la sesión de entrenamiento.

Se seleccionaron nueve acciones del lanzamiento completo, desde la posición de lado y de frente, garantizando las posibilidades de comparación que ofrecen. En la presente comunicación se centró la atención en el período que abarca desde el balanceo hasta la liberación del implemento.

Los parámetros cinemáticos utilizados en la investigación para el análisis de la variabilidad fueron:

- a) Ángulo de abducción del hombro del lado ejecutor en el instante de liberación.
- b) Altura de liberación del disco.
- c) Aceleración Inicial del implemento.
- d) Ángulo de flexión lateral del tronco en el instante de liberación.
- e) Distancia horizontal entre el disco y el centro de masa.
- f) Tiempo de rotación.
- g) Ángulo de ataque en el instante de liberación.
- h) Velocidad inicial de ataque del implemento.
- i) Velocidad inicial de ataque del implemento.



Criterio de usuarios del sistema de indicadores.

Se utilizó la técnica de IADOV para la evaluación de la satisfacción de los usuarios, teniendo en cuenta los postulados teóricos citados en **López & González (2002)**.

Se empleó un cuestionario con un total de cinco preguntas cerradas y dos abiertas, cuya relación ignora el sujeto. El número resultante de la interrelación de las cinco preguntas cerradas, indica la posición de cada sujeto en la escala de satisfacción, o sea su satisfacción individual. La escala de satisfacción utilizada es la siguiente:

1. Clara satisfacción.
2. Más satisfecho que insatisfecho.
3. No definida.
4. Más insatisfecho que satisfecho.
5. Clara insatisfacción.
6. Contradictoria.

Esta técnica también permite obtener el índice de satisfacción grupal (ISG), para lo cual se trabaja con los diferentes niveles de satisfacción que se expresan en la escala numérica que oscila entre 1 y -1 de la siguiente forma (Tabla 1).

Tabla 1. - Escala numérica que va de 1 a 1

Escala	Resultado
1	Máximo de satisfacción
0.5	Más satisfecho que insatisfecho
0	No definido y contradictorio
-0.5	Más insatisfecho que satisfecho
-1	Máxima insatisfacción

La satisfacción grupal se calcula por la siguiente fórmula (Ecuación 1).

$$ISG = \frac{A(+1) + B(+0.5) + C(0) + D(-0.5) + E(-1)}{N} \quad (1)$$

En esta fórmula A, B, C, D, E, representan el número de sujetos con índice individual y donde N representa el número total de sujetos del grupo.

El índice grupal arroja valores entre + 1 y - 1. Los valores que se encuentran comprendidos entre - 1 y - 0,5 indican insatisfacción; los comprendidos entre - 0,49 y + 0,49 evidencian contradicción y los que caen entre 0,5 y 1 indican que existe satisfacción.

La técnica de IADOV contempla además dos preguntas complementarias de carácter abierto. Estas son:

- a) ¿Qué importancia le concede al sistema de indicadores?
- b) ¿Qué aspectos a su juicio potencian o limitan el uso de este sistema de indicadores?



Se utilizó el software estadístico SPSS en su versión 25.0 que permitió calcular las distintas medidas de posición y de dispersión tales como media, mediana, varianza y la desviación estándar entre otras, para el análisis de la variabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al valorar el Programa Integral de Preparación del Deportista en lanzamientos que es el documento metodológico que orienta a los entrenadores en el proceso de entrenamiento deportivo, se pudo comprobar que no ofrece procedimiento alguno para hacer análisis de la técnica. Este programa solo aborda un grupo de aspectos relacionados con la dirección técnica a los cuales debe prestar atención el entrenador deportivo y que están dirigidos más bien a la enseñanza; entre estos aspectos están:

b) Dirección técnica: metodología de enseñanza.

Este contenido estará dirigido al desarrollo de la metodología de la enseñanza de la técnica de los lanzamientos, las carreras y el levantamiento de pesas. Se recomienda dirigir la atención hacia la metodología de enseñanza de los siguientes componentes muy importantes del proceso de aprendizaje de la técnica:

Prioridad No. 1:

- Metodología de enseñanza de la técnica de la impulsión de la bala.
- Metodología de enseñanza de la técnica del lanzamiento del disco.
- Metodología de enseñanza de la técnica del lanzamiento de la jabalina.
- Metodología de enseñanza de la técnica del lanzamiento del martillo.

En los cuatro lanzamientos hay que insistir en los siguientes contenidos:

- Reflejos de Magnus o reflejos tónicos del cuello.
- Acumulación de energía elástica.
- Retraso del implemento e incremento del camino de aplicación de energía sobre el implemento.
- Mecanismo del latigazo.
- Continuidad de los movimientos, aceleración y velocidad.
- Equilibrio.
- Dirección de los movimientos y zona de caída del implemento.
- Estabilidad de la técnica.

Estos aspectos son de gran importancia, pero para ello se hace necesario el estudio biomecánico y no se plantea el proceder para realizar la valoración de cada contenido, entre los cuales, a pesar de su importancia no se encuentra la variabilidad del movimiento.

b) El entrenador debe situar su atención en que tras el impulso el atleta tiene que pasar por la fase de preparación de fuerza y descarga o también llamada preparación para el esfuerzo final y esfuerzo final, sin destruirla.

En el lanzamiento del disco desde el inicio hay que enfatizar en la colocación del pie derecho en el centro del círculo, con el disco lo más atrasado posible, de forma tal que al concluir el paso sprint el pie descienda a colocarse con el talón hacia el área de lanzamiento, para evitar romper el ritmo de lanzamiento. De igual manera, se precisa de un procedimiento para el análisis biomecánico desde la perspectiva que está proponiendo el programa y la variabilidad queda obviada como estudio



Al valorar los resultados de la entrevista al entrenador y los miembros de la Comisión Técnica de atletismo seleccionados, pudimos constatar que los análisis de la técnica que se realizan tienen un carácter empírico, pues siguen procedimientos tradicionales sin que se pongan de manifiesto la utilización de la biomecánica ni la informática.

Estos plantean, además, que para ellos resultan novedosos los análisis de la técnica basados en la variabilidad del movimiento y no cuentan con el procedimiento para hacer un estudio biomecánico.

Presentación de la propuesta, procedimiento biomecánico para el análisis de la variabilidad de la ejecución técnica del lanzamiento del disco

Criterios utilizados para determinar los pasos para el análisis de la variabilidad de la ejecución técnica del lanzamiento del disco.

Para determinar los pasos para el análisis de la variabilidad de la ejecución técnica del lanzamiento del disco se hace un taller donde participaron profesores del colectivo de Biomecánica de la Facultad de Cultura Física en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

En el taller se dan a conocer los objetivos del mismo y se presenta una primera versión de los pasos del proceder metodológico, los cuales son sometidos a discusión; posteriormente se llegó a consenso y se hace la propuesta definitiva el análisis de la variabilidad de la ejecución técnica.

El procedimiento se concreta en los siguientes pasos:

Paso 1: filmación mediante las cámaras, situadas frontal y lateralmente a la acción del lanzador.

Paso 2: digitalización de las imágenes fotograma a fotograma.

Paso 3: sincronización de los datos obtenidos en cada una de las cámaras.

Paso 4: fase: obtención de resultados.

Paso 5: procesamiento y análisis estadístico.

Las variables de estudio se concretan en los parámetros cinemáticos siguientes:

- a) Ángulo de abducción del hombro del lado ejecutor en el instante de liberación.
- b) Altura de liberación del disco.
- c) Aceleración Inicial del implemento.
- d) Ángulo de flexión lateral del tronco en el instante de liberación.
- e) Distancia Horizontal entre el disco y el centro de masa.
- f) Tiempo de rotación.
- g) Ángulo de ataque en el instante de liberación.
- h) Velocidad inicial de ataque del implemento.
- i) Velocidad inicial de ataque del implemento.



Puesta en práctica del procedimiento propuesto en el análisis de la técnica del caso en estudio

Después de aplicar los diferentes pasos del procedimiento utilizado para el análisis de la variabilidad del movimiento, se logran los siguientes resultados.

La variabilidad en el comportamiento del sistema del movimiento humano no es vista como típicamente se ve, como un factor de ruido o error en la ejecución, por el contrario, se indica en **Dauids, Shuttleworth, Button, Renshaw, & Glazier, (2004)** que los sistemas del movimiento humano necesitan acceder a esta información para contextualizar los movimientos en presencia de error o ruido, en la forma de variabilidad de la estructura del resultado motor, factor que constituye un imperativo para las adaptaciones funcionales a los ambientes dinámicos. En otras palabras, la variabilidad en el movimiento humano no debe ser concebida como un factor negativo, sino como un factor funcional que aporta al rendimiento deportivo.

Desde esa perspectiva se analiza a continuación la variabilidad de los diferentes envíos del atleta objeto de estudio, donde se analizan ángulos, alturas, velocidades y aceleraciones (Tabla 2).

Tabla 2. - Presentación de los resultados de la variabilidad de los parámetros estudiados

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
Ángulo de abducción del hombro del lado ejecutor en el instante de liberación	9	67	105	89.89	13.977
Altura de liberación del Disco	9	1.09	2.15	1.7544	.35388
Aceleración Inicial del implemento	9	21.71	74.32	51.7767	16.81161
Ángulo de flexión lateral del tronco en el instante de liberación	9	71.0	86.0	80.522	4.5896
Distancia Horizontal entre el Disco y el Centro de Masa	9	.88	1.12	1.0089	.09266
Tiempo de Rotación	9	1.20	1.40	1.2867	.08016
Ángulo de ataque en el instante de liberación	9	29.1	59.1	46.422	10.4532
Velocidad inicial de ataque del implemento	9	23.49	28.80	27.1156	1.80690
N válido (según lista)	9				

Estadísticamente, la variabilidad puede ser definida como la varianza de los datos relacionada con su promedio y cuantificada usualmente por el tamaño de la desviación estándar (**Riley & Turvey, 2002**). La desviación estándar informa sobre el grado de variabilidad de un parámetro dado del sistema. Es por ello que se centra el análisis a partir de la desviación estándar de cada uno de los parámetros biomecánicos.

En el caso de la altura de liberación del implemento que es uno de los factores determinantes del resultado, se aprecia que tanto la media como a mediana oscilan entre 1.75 y 178 m y se obtiene una desviación menor que uno lo cual indica que este parámetro se encuentra estable, o sea, no hay una gran variabilidad en la ejecución de los nueve disparos.

La distancia horizontal entre el disco y el centro de masa, aunque no es un factor determinante del resultado, tiene un comportamiento similar al anterior en cuanto a la variabilidad, cuenta con una mediana y una media que oscilan entre .99 cm y 1.00 m, por lo que el atleta en estudio logra regular sus movimientos de manera adecuada.



Por otro lado, el tiempo de rotación que es uno de los parámetros que inciden en la velocidad de salida del implemento, es otro de los valores que no presentan una gran variabilidad, pues los valores de la media y la mediana oscilan entre 1.26 y 1.29 m/s, así como una desviación estándar por debajo de uno.

La velocidad de ataque del implemento puede decirse que es el factor que más incide en la consecución del resultado deportivo, y como se puede apreciar en la tabla esta oscila entre 27,12 y 27,53 m/s con una desviación de alrededor de uno, por lo que se puede decir que hay poca variabilidad de este parámetro en los nueve disparos.

De modo similar ocurre en la flexión lateral del tronco, que, aunque no es un factor determinante del resultado incide en otros factores que sí lo son. En este caso la desviación está alrededor de cuatro, y valores en la media y la mediana que van desde 80, 4 y 80, 52 grados; no obstante, aquí se aprecia una mayor variabilidad que en los parámetros anteriores.

El ángulo de ataque en el momento de la liberación, siendo un factor determinante en el rendimiento presenta una mayor desviación, la cual está alrededor de diez, y la media y la mediana oscilan entre 46,4 y 49, 8 grados.

La aceleración inicial del implemento también se encuentra dispersa, pues su desviación es alrededor de 16 y la media oscila entre 51,78 y 58,5 m/s², este factor no es determinante en el resultado como lo es la velocidad inicial (Tabla 3).

Tabla 3. - Resumen de los resultados de los parámetros estudiados

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. tjp.
Ángulo de abducción del hombro del lado ejecutor en el instante de liberación	9	67	105	89.89	13.977
Altura de liberación del Disco	9	1.09	2.15	1.7544	.35388
Aceleración Inicial del implemento	9	21.71	74.32	51.7767	16.81161
Ángulo de flexión lateral del tronco en el instante de liberación	9	71.0	86.0	80.522	4.5896
Distancia Horizontal entre el Disco y el Centro de Masa	9	.88	1.12	1.0089	.09266
Tiempo de Rotación	9	1.20	1.40	1.2867	.08016
Ángulo de ataque en el instante de liberación	9	29.1	59.1	46.422	10.4532
Velocidad inicial de ataque del implemento	9	23.49	28.80	27.1156	1.80690
N válido (según lista)	9				

La tabla anterior refleja de manera general la variabilidad en los parámetros estudiados, la cual es considerada baja, ya que solo dos parámetros los cuales no son determinantes en el rendimiento competitivo, la variabilidad es más alta, por lo que se considera que dicha disminución en la variabilidad del patrón de movimiento indica un comportamiento cooperativo y altamente estable del sistema pues entre mayor sea la variabilidad operacionalizada por la desviación estándar, mayor el ruido en el sistema. Atendiendo a esta perspectiva, los investigadores en biomecánica y control motor han buscado típicamente parámetros de baja variabilidad o "menor ruido" dentro del movimiento humano, aunque el papel que los parámetros con variabilidad o "mayor ruido", pueden jugar en este caso un papel importante en la regulación del movimiento frente a factores externos, buscando una adaptación del organismo-ambiente, de ahí que en el caso pueden justificarse los parámetros de mayor variabilidad a lo antes mencionado (Tabla 3).



Resumiendo, estas perspectivas tradicionales son complementarias y tienen un común denominador: a) variabilidad es equivalente a "ruido", b) reconocen que la disminución de la variabilidad resulta de la ejecución eficiente de un patrón de movimiento dado y c) que los cambios de los estados de conducta motora pueden ser señalados incrementando la variabilidad, hasta que un patrón de movimiento más estable sea adoptado. Esta propuesta implica que la falta de la variabilidad en el movimiento, en presencia de demandas de tareas motoras cambiantes o condiciones ambientales, puede indicar comportamientos motores rígidos e inflexibles con una adaptación limitada, lo cual puede justificar también la mayor variabilidad de esos dos parámetros.

La variabilidad de los patrones que dieron altas disminuye con la adquisición de la técnica, proceso que se denomina "paradigma del aprendizaje motor" y en otro sentido no tradicional, la variabilidad se incrementa con la adquisición de la técnica denominado "el desarrollo del repertorio motor", al cual está sometido el lanzador que ocupa este caso por encontrarse en una categoría donde el trabajo técnico es una prioridad (Stergiou, Buzzi, Kurz, & Heidel, 2004).

Esto también es fundamentado en la literatura de control motor pues en concordancia con Schmidt (2003), Schmidt (2005), la variación de un patrón de movimiento en un momento determinado, puede ser considerada como la consecuencia de errores en la habilidad de predecir los parámetros necesarios para utilizar un programa motor y, con la práctica de tareas específicas, la predicción de errores puede ser eliminada gradualmente y de esta forma optimizar la precisión y eficiencia del patrón motor. En términos prácticos, esta tendencia de pensamiento implicaría que, a mayor práctica de una tarea específica, permite obtener un nivel de poca variabilidad en el gesto deportivo del lanzador objeto de estudio.

De lo anterior, se infiere que el sujeto en estudio es un atleta joven, necesita acumular volúmenes más altos en las tareas relacionadas con la técnica y su perfeccionamiento.

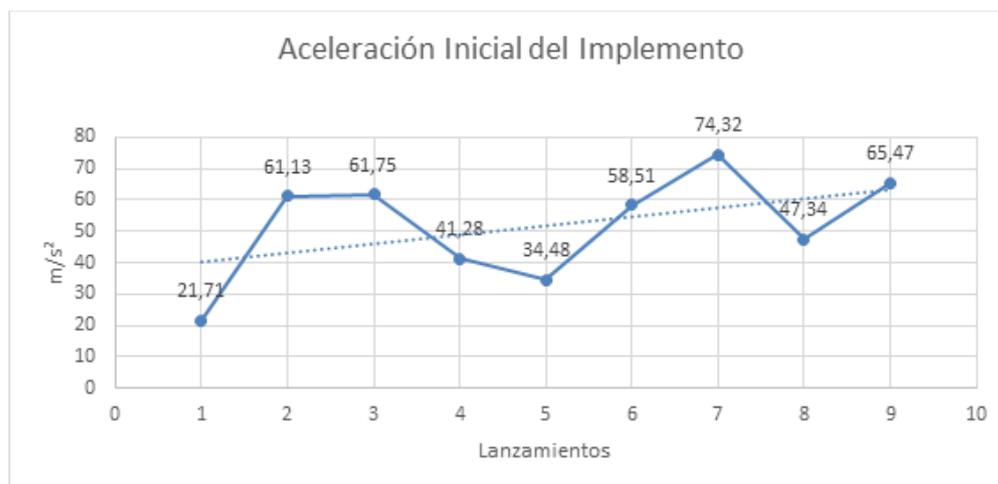


Fig. 1 - Comportamiento de la variabilidad en el parámetro aceleración

Los investigadores que han estudiado la temporalización de los segmentos corporales en los lanzamientos, mencionan consecutivas aceleraciones y deceleraciones, lo cual se corrobora en la gráfica que muestra los nueve lanzamientos del sujeto en estudio (Figura 1), donde hay consecutivas altas y bajas en la aceleración en especial en los lanzamientos uno, cuatro cinco y ocho. Las investigaciones de Zatsiorsky (1994) en



el lanzamiento de peso usando un sistema de fotografía bidimensional confirman una consecutiva aceleración y deceleración ascendente de los segmentos corporales lo cual pudo haber estado ocurriendo en el caso en estudio.

Otro elemento que puede justificar la variabilidad en este parámetro es el hecho de que se dan ajustes, compensaciones y coordinación en el movimiento. Por ejemplo, **Kudo & Ohtsuki, (2008)** reportaron que el movimiento humano es producido en ambientes variables externos e internos y que, a causa de esta variabilidad, un mismo comando motor puede resultar en patrones de movimiento bastante diferentes. Entonces, para producir movimientos complejos o altamente habilidosos, como los gestos deportivos, los humanos tenemos que coordinar (regular) la variabilidad y no tratar de excluirla.

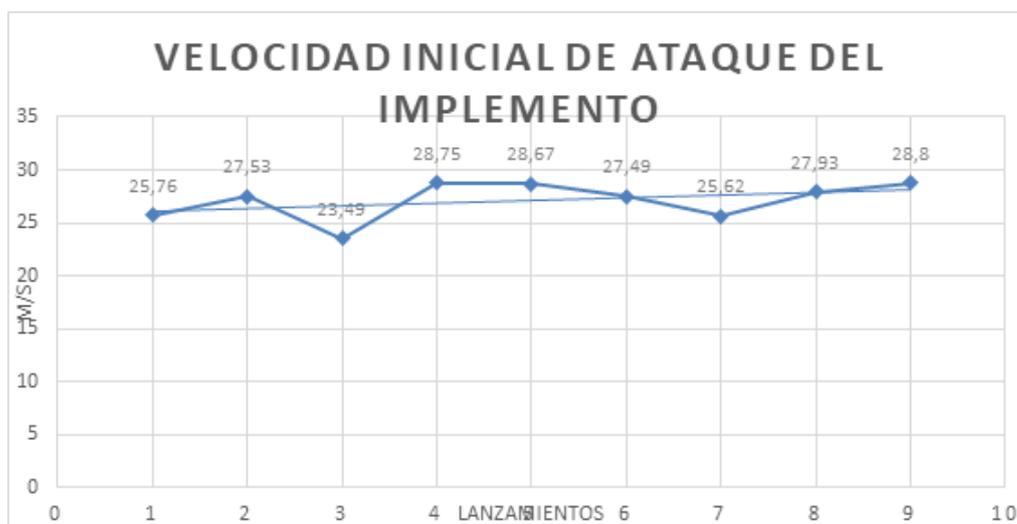


Fig. 2 - Comportamiento de la variabilidad en el parámetro velocidad

Los autores de este trabajo coinciden con los investigadores precedentes en que la consecución de velocidades es lo más importante, en este caso las acciones de los segmentos son consecutivas. Cada segmento inicia su acción en el momento en que el segmento anteriormente implicado alcanza su máxima velocidad. Las fuerzas horizontales y verticales se deben temporalizar adecuadamente. Esto da como resultado que la máxima velocidad es alcanzada justo previamente al instante de liberación (**Redding, 1988**).

Cada deportista, teniendo en cuenta su individualidad, hace que sus movimientos dependan de la adaptación funcional a nuevos y diferentes esquemas de restrictores que se presentan en el momento de la ejecución de un mismo patrón de movimiento, que emergen de un comportamiento cooperativo de múltiples grados de libertad.

Entre más riqueza en el repertorio del gesto deportivo encuentre el deportista, mayores serán las posibilidades de éxito y adaptación. Como se aprecia en la Figura 2, la velocidad tiene una baja variabilidad, solo los tiros tres y siete están algo por debajo de la media, pero en sentido general se puede considerar que se ha logrado regular la variabilidad en este parámetro tan importante.

Los resultados del índice de satisfacción grupal (ISG), aplicado a los usuarios introductores que fueron conformados por cuatro miembros de la Comisión Técnica de atletismo y el entrenador principal de lanzamientos, que a su vez funge como jefe de cátedra de atletismo (Tabla 4).



Tabla 4. - Satisfacción de los usuarios al emplear la técnica IADOV

Nombre	Función	Valores asignados a la propuesta	Respuesta a las preguntas abiertas
Lic. Mario A. Guerra (realiza estudios de maestría)	Comisionado provincial de Atletismo	Máximo de satisfacción + 1	El procedimiento biomecánico propuesto es de gran importancia para el análisis de la técnica de manera objetiva, aunque sugiero que se implementen cursos a los entrenadores de la EIDE
Lic. Nelson Millares	Metodólogo	Más satisfecho que insatisfecho + 1	El procedimiento propuesto permite mejorar la preparación de los atletas entrenadores en el análisis de la técnica, pero recomiendo que se utilice en otros lanzamientos y otras áreas.
MS.c Alberto Morales Fábrega (aspirante)	Jefe técnico	Más satisfecho que insatisfecho 0.8	Considero que es muy buena propuesta, aunque se requiere de preparación por los entrenadores para aplicarla.
Dr.C Nieves Acosta Guibert	Superación profesional	Máximo de satisfacción + 1	La propuesta, no solo permite preparar a los entrenadores, si no que finalmente redundará en la preparación técnica de los atletas y su rendimiento.
MS.c Luis Alberto Argudín Gómez	Entrenador de Lanzamientos	Más satisfecho que insatisfecho + 1	Estoy muy contento con la propuesta pues hacer valoraciones de la técnica utilizando la simple observación no permite obtener gran información por lo que esto puede ayudar a mejorar el rendimiento de los atletas. Además, esto debe ser extensivo a otras áreas del Atletismo.

La satisfacción grupal se calcula por la siguiente fórmula (Ecuación 2).

$$ISG = \frac{A (+1) + B (+ 1) + C (0.8) + D (+1) + E (+ 1)}{N} \quad (2)$$

Luego de aplicar la formula ISG se alcanza el siguiente índice:

ISG = 0.96 (entre 0.5 a 1 indica que existe satisfacción)

Dicho índice indica que existe satisfacción de los usuarios introductores con los indicadores determinados, a pesar de que hacen varias reflexiones al contestar las preguntas abiertas, que son tenidas en cuenta en su perfeccionamiento.

La técnica de IADOV contempla además dos preguntas complementarias de carácter abierto. Estas son:

- ¿Qué importancia le concede al manual propuesto?
- ¿Qué aspectos a su juicio potencian o limitan el uso del manual propuesto?

Las respuestas a estas preguntas se relejan en la tabla anterior y se toman como sugerencias para mejorar la determinación final de la propuesta.

Se pudo constatar que los análisis de la técnica del lanzamiento del disco se realizan de manera empírica por parte de los entrenadores de lanzamiento de la Eide, sin el empleo de las nuevas tecnologías, que la bibliografía consultada permitió conocer los fundamentos de la variabilidad de la ejecución del movimiento en el lanzamiento del disco, de ahí que se precisó de un procedimiento biomecánico para el análisis de la variabilidad de la ejecución técnica del en esta disciplina.

De manera general, se comprobó que la variabilidad en los parámetros estudiados no es alta, solo dos parámetros los cuales no son determinantes en el rendimiento competitivo presentan la mayor variabilidad, por lo que se considera que dicha



disminución en la variabilidad del patrón de movimiento indica un comportamiento cooperativo. Esta variabilidad se muestra altamente estable en el sistema lanzador - ambiente en el caso en estudio, pues entre menor sea la variabilidad operacionalizada por la desviación estándar, menor es el ruido en el sistema y viceversa. El índice IADOV indica que existe satisfacción de los usuarios introductores con los indicadores determinados, a pesar de que hacen varias reflexiones al contestar las preguntas abiertas, que son tenidas en cuenta en su perfeccionamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, J. B., Villarroya-Aparicio, A., & Morales, S. C. (2017). Biomecánica de la marcha atlética: Análisis cinemático de su desarrollo y comparación con la marcha normal. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 36 (2), 53-69. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03002017000200005

Davids, K., Shuttleworth, R., Button, C., Renshaw, I., & Glazier, P. (2004). "Essential noise" enhancing variability of informational constraints benefits movement control: a comment on Waddington and Adams. *British journal of sports medicine*, 38 (5), 601-605. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1724948/>

Floría-Martín, P. (2006). *Análisis biomecánico del lanzamiento de disco: categorización de variables de eficacia de la técnica*. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Formación del Profesorado y Educación, Madrid. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=2308>

Frutos, J. B., Palao, J. M., & Elvira, J. L. (2012). Fundamentos biomecánicos del lanzamiento de disco. Parte I: técnica de lanzamiento. *Lecturas: Educación Física y Deportes*, 15 (166), 1-9. Disponible en: <https://www.efdeportes.com/efd166/fundamentos-del-lanzamiento-de-disco.htm>

González-Catalá, S. A., & Calero-Morales, S. (2017). *Fundamentos psicológicos, biomecánicos e higiene y profilaxis de la lucha deportiva*. Quito: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Fundamentos-psicol%C3%B3gicos%2C-biomec%C3%A1nicos-e-higiene-y-Catal%C3%A1-Morales/dbbbc53ab13e3074ad9acad6674e7cc87440aade>

Kharmanda, G., & El Hami, A. (2017). *Biomechanics: Optimization, Uncertainties and Reliability*. USA: John Wiley & Sons. Disponible en: <https://www.wiley.com/en-us/Biomechanics%3A+Optimization%2C+Uncertainties+and+Reliability-p-9781786300256>

Kudo, K., & Ohtsuki, T. (2008). Adaptive variability in skilled human movements. *Transactions of the Japanese Society for Artificial Intelligence*, 23 (3), 151-162. Disponible en: https://www.jstage.jst.go.jp/article/tjsai/23/3/23_3_151/_article-char/en

Lasluisa, E. D., Rodríguez, J. M., & O'Farril, A. R. (2019). Diferencias biomecánicas del remate de voleibol en jugadoras prejuveniles y juveniles. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 38 (2), 170-182. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03002019000200170



León, S., Calero, S., & Chávez, E. (2016). *Morfología funcional y biomecánica deportiva* (2E ed.). Quito, Ecuador: Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11683/1/morfologia%20funcional.pdf>

López, A., & González, V. (2002). La técnica de Iadov. Una aplicación para el estudio de la satisfacción de los alumnos por las clases de educación física. *Lecturas: Educación Física y Deportes*, 8 (47), 1-5.

Navelo, N., Cutzal, B., & Santeliz, G. (2011). Análisis biomecánico de los miembros inferiores durante el lanzamiento de disco del talento deportivo de la selección menor del Estado Cojedes. *Lecturas: Educación Física y Deportes*, 15 (154), 1-9. Disponible en: <https://www.efdeportes.com/efd154/analisis-biomecanico-de-lanzamiento-de-disco.htm>

Newell, K. M., Slifkin, A. B., & Piek, J. P. (1998). *Motor Behavior and Human Skill: A Multidisciplinary Perspective*. USA: Human Kinetics. Disponible en: https://books.google.com/books/about/Motor_Behavior_and_Human_Skill.html?id=xkmSNNSNS3oC

Redding, J. A. (1988). General thoughts on training and coaching throwing events. *Track and Field Quarterly*, 88 (3), 15-18.

Riley, M. A., & Turvey, M. T. (2002). Variability and determinism in motor behavior. *Journal of motor behavior*, 34 (2), 99-125. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12057885/>

Rubio-Rodríguez, V. (2017). *Análisis biomecánico del rendimiento en el lanzamiento de disco*. Tesis Masteral, Universidad de León, León. Disponible en: <https://buleria.unileon.es/handle/10612/6974>

Schmidt, R. A. (2005). *Motor Control and Learning* (5 ed.). USA: Human kinetics. Disponible en: <https://www.springer.com/gp/book/9780387253909>

Schmidt, R. A. (2003). Motor schema theory after 27 years: Reflections and implications for a new theory. *Research quarterly for exercise and sport*, 74 (4), 366-375. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14768837/>

Slifkin, A. B., & Newell, K. M. (2000). Variability and noise in continuous force production. *Journal of motor behavior*, 32 (2), 141-150. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00222890009601366?journalCode=vjmb20>

Stergiou, N., Buzzi, U. H., Kurz, M. J., & Heidel, J. (2004). *Nonlinear tools in human movement. Innovative analyses of human movement*. USA: Human Kinetics Publishers. Disponible en: <https://www.worldcat.org/title/innovative-analyses-of-human-movement/oclc/607035047>

Thelen, E., & Smith, L. B. (1996). *A dynamic systems approach to the development of cognition and action*. London: MIT press. Disponible en: <https://psycnet.apa.org/record/1994-98256-000>



Zatsiorsky, V. (1994). *Advanced Sport Biomechanics*. Pensilvania: The Pennsylvania State University, Boimechanics Laboratory.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional. Copyright (c) 2020 Rayner Toledo Ríos, Mario Luis Medina Cabrera, Jonathan Roberto Rodríguez Espín, Denis Lara Caveda, Alberto Bautista Sánchez, Yury Douglas Barrios Palacios

