

Biomecánica aplicada al diseño de una Herramienta de Evaluación de los saltos en Gimnasia Rítmica atendiendo al Código Internacional de Puntuación. Aplicación a la evaluación del salto zancada*

IGNACIO GRANDE RODRÍGUEZ

Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.

Universidad Alfonso X el Sabio

ANA BAUTISTA REYES

Licenciada en Psicología.

Real Federación Española de Gimnasia

MÓNICA HONTORIA GALÁN

Licenciada en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.

Universidad Alfonso X el Sabio

Correspondencia con autores/as

* igranrod@uax.es

Resumen

La Biomecánica ha realizado estudios sobre los saltos en Gimnasia Rítmica desde el punto de vista cinemático (Lebré y Sousa, 1997; Sousa y Lebré, 1998) y dinámico (Ferro, Rivera y Pagola, 2000). Sin embargo no tenemos constancia de ningún estudio que los valore atendiendo a los requerimientos específicos del vigente Código de Puntuación. Estos requerimientos son tres Características de Base que deben cumplir los saltos: **altura, forma y amplitud** (FIG, 2005). El objetivo principal de este Proyecto es crear una herramienta para evaluar los saltos de Gimnasia Rítmica incluyendo tanto **variables cinemáticas generales**, variables de uso extensivo en el análisis de este tipo de movimientos desde el punto de vista de la biomecánica, como **variables cinemáticas específicas**, traduciendo las Características de Base que son juzgadas en competición a variables cinemáticas cuantificables. Para realizar la evaluación de los saltos nos apoyándonos en análisis cinemáticos realizados mediante videogrametría 3D.

Tras varios diseños se presenta la Ficha de Evaluación del salto zancada que ha sido ya aplicada en un grupo de gimnastas de alto nivel ($n=19$). Las principales novedades de esta propuesta son el diseño de una herramienta de evaluación específica para este tipo de elementos técnicos teniendo en cuenta la normativa concreta de la Gimnasia Rítmica, la valoración objetiva de las características de base del salto y el intento de presentar los resultados biomecánicos de una forma entendible y rápidamente asimilable para el entrenador.

Palabras clave

Biomecánica, Gimnasia Rítmica, Saltos, Cinemática, Evaluación.

Abstract

Applied Biomechanics to the design of a tool for rhythmic gymnastics to evaluate jumps taking account the International Code of Points

There are different biomechanics studies about rhythmic gymnastics jumps, there are kinematics (Lebré y Sousa, 1997; Sousa y Lebré, 1998) and kinetics studies (Ferro, Rivera y Pagola, 2000). However we have not found any study that evaluates jumps applying the requirement explained in the International Code of Points. These requirements are three basic characteristics that jump must fulfil: height, shaped fixed and well defined during the flight and good amplitude (FIG, 2005). The principal purpose of this project is to create an evaluation tool for rhythmic gymnastic jumps including general kinematics variables, common used variables in biomechanics jumps studies, and specific kinematics variables, translation of the basic characteristics that judges evaluated in competition into quantitative kinematics variables. For this purpose we used a 3D photogrammetry kinematics analysis.

After several designs we present a specific evaluation card. We applied it to evaluate a high level rhythmic gymnasts group ($n=19$). The principal novelties of this proposal are: the design of an evaluation tool that take into account the rhythmic gymnastic Code of Points, the objective evaluation of the jumps basic characteristics and the attempt of achieve a new form of present biomechanics results that coaches can easily understand and assimilate.

Key words

Biomechanics, Rhythmic Gymnastics, Jumps, Kinematics, Evaluation.

* Estudio realizado gracias a la subvención del Consejo Superior de Deportes (CSD)(01/UPR10/07) y la colaboración de la Real Federación Española de Gimnasia (RFEG).

Introducción

En pocas ocasiones la Biomecánica Deportiva se ha asomado al análisis de la Gimnasia Rítmica. Únicamente encontramos investigaciones puntuales desde la perspectiva de análisis de la dinámica o la cinemática.

Desde el punto de **vista dinámico** las plataformas de fuerzas se han aplicado con diferentes fines. Desde la realización de pruebas de selección de gimnastas diseñándose pruebas específicas de equilibrio (Kulka, 1994), pasando por el estudio de la incidencia que tiene un entrenamiento basado en el método Pilates y entrenamiento en piscina sobre la capacidad de salto (Hutchinson y cols., 1998) hasta estudios sobre la amortiguación tras los saltos (Yi y Kwon, 2005) o la descripción de los patrones dinámicos presentados por diferentes tipos de saltos (Ferro, Rivera y Pagola, 1998, 2000).

Desde el **punto de vista cinemático** destaca el estudio de Loquet (1997) que analiza, en situaciones de lanzamiento y recepción de los aparatos específicos de Gimnasia Rítmica (Aro, pelota, cuerda, mazas y cinta), la localización espacial del aparato en relación al desplazamiento del Centro de Gravedad de la gimnasta durante la fase de vuelo del aparato. Para ello aplica técnicas videogramétricas. También se ha estudiado la relación que puede existir entre la valoración de la impresión observada de un movimiento y las características analizadas mediante un sistema de captura de movimiento (Sakashita, Asai y Takiwaza, 2002). En esta línea de trabajo, Dyhre-Poulsen (1987), realiza la comparación entre una evaluación completa de la zancada utilizando plataformas de fuerzas, electromiografía y análisis de video frente a la evaluación subjetiva realizada por una juez experimentada.

Como estudios más cercanos a la línea de investigación planteado en el presente proyecto, destacan los planteados por Lebre y Sousa (1992, 1996, 1997, 1998). Autores que utilizan análisis videogramétricos para estudiar diferentes aspectos de los saltos. Aplican los estudios videogramétricos para comprobar el grado de aprovechamiento de la gimnasta de su flexibilidad pasiva en el propio salto o para establecer diferencias de ejecución técnica entre diversos tipos de saltos. Utilizan variables cinemáticas como la velocidad del centro de gravedad de la gimnasta en el instante de salida y recepción, la duración, altura y longitud del salto o el ángulo de salida. Variables que nos ayudaron a seleccionar las que componen la Ficha de Evaluación que presentamos en este artículo.

El eje central de la línea de investigación planteada gira en torno a la creación de una Herramienta especí-

fica de Evaluación de los saltos en Gimnasia Rítmica aprovechando para ello los datos extraídos de análisis videogramétricos 3D. La construcción de ésta se realizó desde un punto de partida **aplicado** y **contextualizado**. Aplicado porque se diseñan las Fichas desde la perspectiva de las necesidades del técnico en el proceso de análisis y evaluación de los saltos y contextualizado porque incluye como parámetros a evaluar aquellos que el Código de Puntuación exige a la gimnasta en competición y determinan su rendimiento en Gimnasia Rítmica.

Esta Herramienta se compone de Fichas de Evaluación, adaptadas a los diferentes grupos de saltos que se exponen en el Código de Puntuación. En ellas se exponen, valoran y bareman **variables cinemáticas generales, variables cinemáticas específicas e Índices de Evaluación**.

- **Variables cinemáticas generales:** Son aquellas de uso extensivo en los análisis biomecánicos de los saltos. En este caso se conjugaron las variables cinemáticas más destacables que determinan el rendimiento del salto vertical y horizontal (1993). La zancada, salto básico y elegido para el diseño de esta primera Ficha de Evaluación que se presenta, precisa de estos dos condicionantes: altura y longitud. Por ello se incluyen en este primer grupo variables como: Altura del salto (h), Tiempo de vuelo (T_v), Velocidad de salida (V_0) y el ángulo de salida (α_0).
- **Variables Cinemáticas Específicas:** Actualmente la importancia de los saltos en Gimnasia Rítmica reside en que constituye uno de los 4 Grupos de Elementos Corporales Fundamentales susceptibles de alcanzar Valor de Dificultad (VD) (Mendizábal, 2001). Obtener un mayor VD posibilita a la gimnasta que sus ejercicios alcancen una Nota de Partida más elevada lo que representa una ventaja sobre sus rivales. Pero los saltos únicamente alcanzan su VD si muestran tres **características de base**: una buena **altura** (elevación) del salto; una **forma** definida y fijada durante el vuelo y una buena **amplitud** en la propia forma (FIG, 2005). Características de base que expone el Código de Puntuación de la Federación Internacional de Gimnasia y que son utilizadas para la valoración de estos elementos técnicos por las juezes en competición. *Si cualquiera de estas características no se muestra en el salto ejecutado éste no se considera como dificultad y además será penalizado por mala ejecución* (FIG, 2005). En este grupo de variables

cinemáticas específicas se traducen estas características de base, que determinan la adecuación del salto a las exigencias del Código de puntuación, a variables cinemáticas cuantitativas e índices específicos de valoración.

- **Índices de evaluación:** Se introducen en la Ficha de Evaluación índices calculados a partir de variables cinemáticas generales para la valoración de la acción de impulsión de la gimnasta, la potencia, la forma del salto y la amortiguación de los saltos.

Los dos **objetivos generales** que marcan la dirección a largo plazo del presente proyecto son: (1) crear una herramienta útil y práctica para la evaluación de la calidad y la capacidad de la gimnasta para realizar saltos con un elevado nivel de perfección técnica y que cumplan con las exigencias del Código de Puntuación y (2) superar la barrera comunicativa existente entre los resultados que nos aporta la evaluación Biomecánica y su transmisión a los técnicos logrando una forma de presentación atractiva y rápidamente asimilable.

Creemos que es posible y necesario acercar los análisis científicos de alto nivel al entrenamiento deportivo para su aprovechamiento y aplicación práctica en las diferentes especialidades gimnásticas. Construir el puente entre la investigación y la práctica, tendrá un tremendo valor si los científicos encontramos el camino para hacer fluir la información de nuestros estudios a los profes-

sionales del deporte, los entrenadores y los deportistas. Esta información debe ser presentada en una forma entendible y significativa a los profesionales de este deporte (Prassas, 1999).

Material y métodos

Para la construcción específica de la Ficha de Evaluación del salto zancada se tuvo en cuenta que, desde un punto de vista funcional, debemos diferenciar tres acciones fundamentales: elevarse o impulsarse (*Fase de Impulsión*), realizar una forma corporal precisa y definida en la fase aérea (*Fase Aérea*) y amortiguar la recepción y anticipar la acción siguiente (*Fase de Amortiguación*) (Lecomte, 1995). Así tanto las variables cinemáticas generales como las específicas se distribuyeron en estas tres fases. Los instantes seleccionados para la división de la zancada en estas fases se expone en la *figura 1*.

En el proceso inicial de diseño de la Ficha se tuvo en cuenta diferentes aspectos:

- Que se mostraran los datos de una forma clara, organizada y estructurada.
- Que su diseño fuera atrayente y llamativo.
- Que pudiera dar información útil de forma rápida.

Para la obtención de los resultados cinemáticos que posteriormente se exponen en la Ficha de Eva-

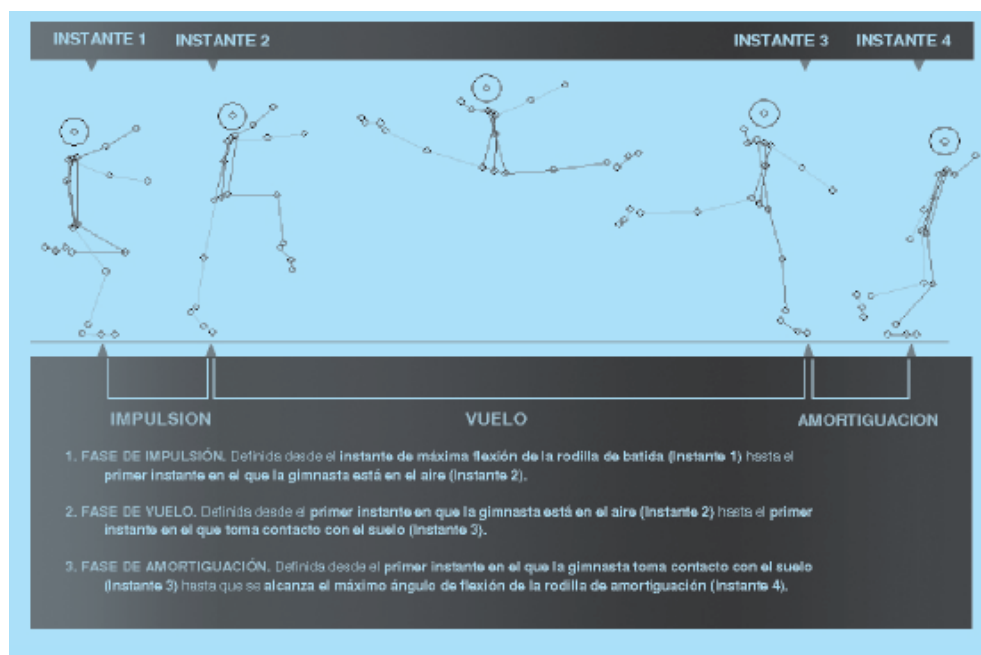


Figura 1

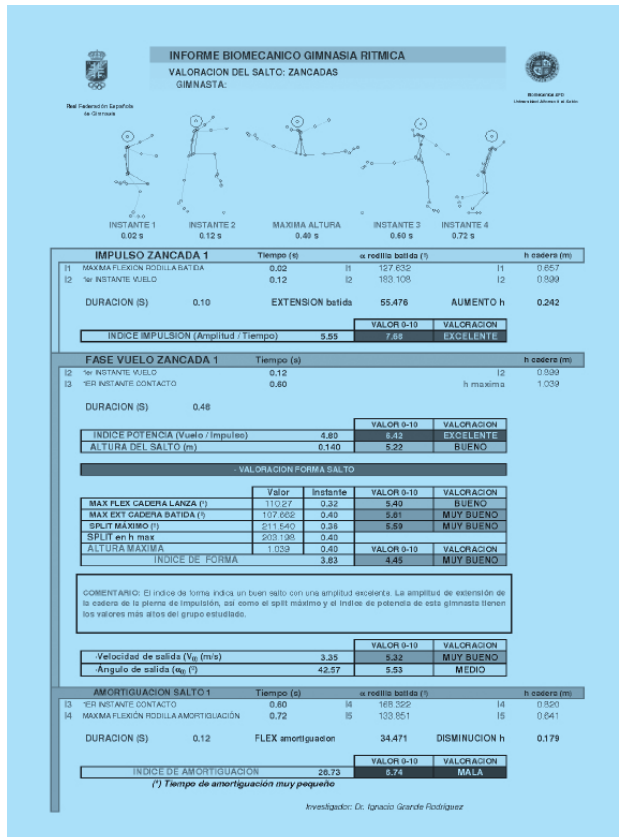


Figura 2

luación, se realizó un análisis Videogramétrico 3D. Esta técnica permite la reconstrucción tridimensional de un movimiento registrado por un mínimo de dos cámaras sincronizadas entre sí. La muestra analizada para la puesta en práctica de esta Ficha de Evaluación del salto zancada estuvo compuesta por 19 gimnastas.

La grabación se realizó en la sala de Gimnasia Rítmica del Centro de Alto Rendimiento de Madrid. Se grabaron los saltos desde una perspectiva frontal y otra lateral derecha respecto a la gimnasta.

La velocidad de obturación de las cámaras fue de 1/1000 s con una frecuencia de muestreo de 50 Hz. Se utilizaron los 8 vértices de un marco de calibración cúbico de 2 metros de lado como puntos de control para la transformación de coordenadas utilizando el algoritmo DLT (Abdel-Aziz y Karara, 1971)

En el trabajo posterior en el laboratorio se definió un modelo mecánico formado por 22 puntos, 20 reales y dos puntos virtuales calculados, que simplifican el cuer-

po de la gimnasta a un modelo formado por puntos y conexiones.

El proceso de digitalización fue manual y realizado por un único investigador. Para el proceso de digitalización y la extracción de resultados se utilizó el programa KINESCÁN IBV versión digital 1.1 utilizando funciones splines orden 5 para el proceso de suavizado (Woltring, 1986).

Resultados

Como resultado se expone la Ficha de Evaluación utilizada para valorar de forma específica la ejecución de la zancada (Figura 2).

En la parte superior se exponen los datos identificativos de la gimnasta analizada así como la imagen del modelo mecánico utilizado extraído de la digitalización específica del salto estudiado desde una vista lateral derecha. Las posiciones corresponden con las posiciones alcanzadas en los instantes utilizados para descomponer el salto en fases indicando la referencia temporal en la que sucede dentro de la escena analizada.

A continuación se exponen las variables generales, específicas y los índices de evaluación organizados en las tres fases analizadas:

Fase de Impulsión

1. Duración (s)
2. Extensión batida (°): Ángulo de extensión de la rodilla de la extremidad utilizada para la acción de batida.
3. Aumento h (m): Aumento de la altura del centro de las caderas.
4. Índice de Impulsión: Índice diseñado para evaluar la acción de impulsión de la gimnasta evaluada. Se calcula dividiendo el rango articular utilizado para la impulsión entre el tiempo utilizado.

Fase de Vuelo

5. Duración (s).
6. Índice de Potencia: Calculado dividiendo la duración de la fase de vuelo entre la duración de la fase de impulsión.
7. Altura del Salto (m): Calculado entre la altura del centro de las caderas de la gimnasta en I3 y la altura máxima en vuelo del centro de caderas.

8. **Máxima Flexión cadera lanzada (°):** Ángulo máximo entre el muslo de la extremidad lanzada y la vertical proyectado sobre el plano XZ.
9. **Máxima Extensión cadera batida (°):** Ángulo máximo entre el muslo de la extremidad de batida y la vertical proyectado sobre el plano XZ.
10. **Split Máximo (°):** Ángulo máximo entre muslo derecho e izquierdo proyectado sobre el plano XZ.
11. **Split en h_{max} (°):** Máximo ángulo entre muslo derecho e izquierdo en el instante de máxima altura del centro de caderas (h_{max}).
12. **Índice de forma.** Se trata de un índice de dispersión. Se calcula la Desviación Típica entre os instantes temporales en los que suceden las variables (8), (9) (10) y el instante de h_{max} .
13. **Velocidad de salida (V_0) (m/s):** Velocidad del centro de caderas de la gimnasta en el primer instante de la fase de vuelo.
14. **Ángulo de salida (α_0) (°):** Calculado con las coordenadas (x, y z) del centro de las caderas en el primer y segundo instante en la que la gimnasta está en el aire.

Fase de amortiguación

15. **Duración (s).**
16. **Flexión amortiguación (°):** Ángulo de flexión de la rodilla de la extremidad que aterriza.
17. **Disminución h (m):** Disminución de la altura del centro de caderas de la gimnasta.
18. **Índice de amortiguación:** Índice diseñado para evaluar la amplitud articular utilizada para la amortiguación poniéndolo en relación del tiempo empleado. Se establece una relación entre la amplitud articular que la gimnasta utiliza para amortiguar dividiéndolo entre el tiempo que emplea en ello.

Se diseñó de forma complementaria una Ficha de Valoración Rápida que resume y complementa a la anterior (Figura 3).

En ésta se resumen las variables e índices baremados para que de un vistazo se puedan visualizar los puntos más y menos destacados de la gimnasta. Se incluye un histograma en el que se exponen las baremaciones calculadas en las diferentes variables. Con ello se puede identificar de forma simple en cuales destaca y en cuales encontramos valores más bajos.

Por último se encuentra un apartado dedicado a la valoración cualitativa realizada desde el punto de vista del entrenador y el biomecánico. Se exponen comentarios cualitativos sobre el uso de las extremidades superiores, desviaciones importantes respecto a un salto estéticamente bien realizado o movimientos que pueden influir en futuras lesiones (malos movimientos de amortiguación oposiciones incorrectas de la espalda).

Discusión

En esta primera aplicación de la Ficha de Evaluación el resultado ha sido bastante satisfactorio, valorado en función de las opiniones de los propios entrenadores, principales destinatarios de esta Herramienta. Destacaríamos como aspectos más positivos la valoración específica de las características de base de los saltos que expone el Código de Puntuación, la exposición de los

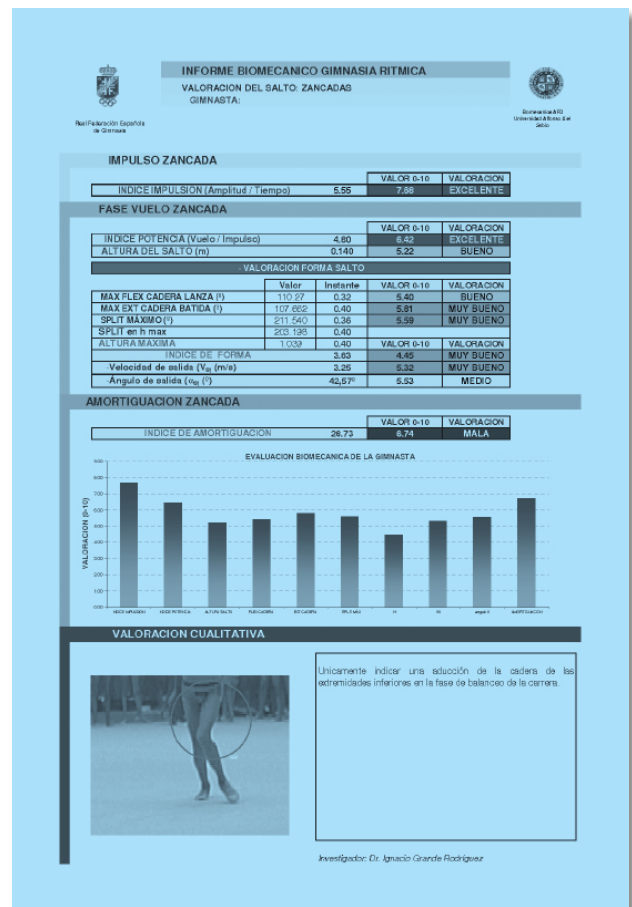


Figura 3

Resultado baremado	Correspondencia
6,0-8,0	Excelente
5,5-6,0	Muy bueno
5,0-5,5	Bueno
4,5-5,0	Medio
3,5-4,5	Bajo
0,0-3,5	Muy bajo

Figura 4

datos de forma baremada y en escala de colores como medio de mejorar la rápida valoración de los resultados y las opiniones positivas de las entrenadoras y la relación entre las opiniones subjetivas de los entrenadores y los resultados alcanzados con la evaluación biomecánica realizada.

Como primer aspecto que hemos destacado indicaremos que se ha logrado por medio de esta Ficha evaluar los requerimientos específicos del Código de Puntuación:

- *Una buena altura (elevación) del salto* (FIG, 2005). Valorada en función del incremento de la altura del punto central de las caderas de la gimnasta. En este caso nos gustaría hacer la apreciación de que en muchos casos esta altura del salto ha sido analizada en función de la altura del centro de gravedad de la gimnasta (Sousa y Lebré, 1996). La trayectoria del centro de gravedad de la gimnasta puede ser muy diferente a la que siguen las caderas o los hombros de la deportista debido a la variación de la localización del CDG en función de la disposición de los segmentos corporales. Por ello, y debido a que los jueces evalúan en función de la visión directa que tienen del salto, preferimos utilizar este punto de las caderas frente al CDG ya que se puede analizar cualitativamente a simple vista.
- *Una forma definida y fijada durante el vuelo* (FIG, 2005). Esta característica obliga a la gimnasta a marcar la posición definitoria del salto ejecutado a máxima amplitud e intentando que se alcance coincidiendo con el instante de máxima altura del salto. Para ello definimos el Índice de Forma calculado

a través de la dispersión entre los instantes en los que suceden las máximas amplitudes en los movimientos articulares de la gimnasta y el instante de máxima altura. La gimnasta que alcance una mayor sincronización entre estos eventos será aquella cuyo Índice de Forma es menor. Por ello en este caso la baremación de ese Índice valora con una mayor puntuación a la gimnasta con menor valor calculado. Éste índice nunca ha sido utilizado con anterioridad en la bibliografía consultada y puede ser utilizado como valoración directa de esta segunda característica de base que especifica el propio Código de Puntuación.

- *Una buena amplitud en la propia forma* (FIG, 2005). Se ha incluido la amplitud articular de las articulaciones implicadas en el salto analizado (zancada): Flexión de la cadera de la extremidad lanzada, Extensión de la cadera de la extremidad de batida y Amplitud del split. Con ello podemos indicar si la gimnasta alcanza unos valores adecuados de amplitud articular activa durante la fase aérea del salto.

Otro aspecto a destacar es la traducción de estos datos biomecánicos en una baremación cualitativa de fácil comprensión para los entrenadores. Los datos numéricos se transforman en una escala de valoración (información cualitativa) por medio de un criterio de baremación. Es preciso indicar que esta información cualitativa valora a la gimnasta dentro del grupo en el que han sido evaluadas y no se debe tener en cuenta como un valor absoluto y generalizable de la deportista. La baremación se obtiene a partir del cálculo de la media de cada variable. El criterio establecido es otorgar un valor de 5 puntos al valor de la media. Así cada resultado de la gimnasta es traducido a una escala en la que la categorización de BUENO se establece entre 5,0 y 5,5 puntos. La gimnasta está por encima de la media del grupo. Se ha establecido una escala desde EXCELENTE hasta MUY BAJO. Esta Escala está reflejada también en una escala de colores para una más rápida visión los resultados (Figura 4).

Por último cabe destacar que en la mayoría de los casos las opiniones subjetivas de las entrenadoras con las que hemos colaborado coincidían con las valoraciones biomecánicas alcanzadas. Con ello las opiniones que las entrenadoras suelen tener sobre ciertos aspectos de los saltos analizados son reforzadas con los datos objetivos extraídos de una valoración biomecánica.

Pese a estos resultados satisfactorios existen aspectos

a mejorar. Fundamentalmente se definen dos condicionantes que deben ser mejorados:

1. **Disminuir el tiempo de obtención de resultados.** Para completar el informe se tardó más de tres meses, tiempo en el que se incluye la definición y diseño de la Ficha de Evaluación. Ficha que ha sufrido muchos cambios y mejorar desde el boceto inicial. Para reducir el tiempo de entrega de los informes es conveniente:
 - a) **Diseñar Fichas de Evaluación para cada grupo de saltos de la Gimnasia Rítmica.** Determinando en cada caso cuales son las variables más importantes. Existen 17 grupos de saltos por lo que se deberían definir las correspondientes y específicas Fichas de Evaluación.
 - b) **Crear modelos de digitalización más sencillos** eliminando segmentos que no son analizados ni trascendentes para el cálculo de variables analizadas.
 - c) **Crear modelos mecánicos específicos para cada salto.** También influye el hecho de que en el programa de digitalización las variables a calcular deben definirse conjuntamente con el modelo mecánico por lo que debería definirse el modelo adecuado para cada grupo de salto.
2. **Validar y comprobar la utilidad de los índices que se proponen.** Los índices propuestos son mejorables y deben ser comprobados en futuros análisis. Se debe destacar que en el caso del índice de potencia propuesta se encuentra una correlación positiva y directa con la altura del salto analizado ($r: 0,68, p < 0,01$). Este dato deberá ser constado en futuros análisis.

Conclusiones

Las principales conclusiones de este estudio han sido.

- Se ha creado un formato de Ficha de Evaluación específica para el salto zancada en el que destaca la inclusión de la valoración de los requerimientos específicos que solicita el Código Internacional de Puntuación de Gimnasia Rítmica.
- Se han definido índices específicos para valorar aspectos definitorios del rendimiento de un sal-

to como la Impulsión, la Potencia, la Forma y la Amortiguación.

- Se ha aplicado de forma satisfactoria esta Herramienta de Evaluación en un grupo específico de gimnastas encontrándose como mayor inconveniente el tiempo invertido en completar las digitalizaciones de los saltos.
- Se ha logrado una forma de exposición simplificada de los datos biomecánicos que ayuda a lograr una más rápida utilización de los resultados obtenidos por parte de los técnicos.

Bibliografía

- Abdel-Aziz, Y. I. y Karara, H. M. (1971). Direct Linear Transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. *Proceedings ASP/VI Symp. On Close-Range Photogrammetry*: 1-17.
- Dybre-Poulsen, P. (1987). An analysis of split leaps and gymnastic skill by physiological recordings. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56(4): 390-7.
- Fernández del Valle, A. (1991). *Gimnasia Rítmica*. Comité Olímpico Español. Madrid, España.
- Ferro, A. (1998). Apoyo Biomecánico a la Gimnasia Rítmico-Deportiva. *Biomecánica*. Cuadernos de información, 19: 30-36.
- Ferro, A.; Rivera, A. y Pagola, I. (2000) Metodología para el análisis cinético de saltos específicos de Gimnasia Rítmico-Deportiva. *Investigación en Ciencias de Deporte*, 21: 87-107.
- FIG (2005). *Code of Point*. FIG.
- Hutchinson, M. R.; Tremain, L.; Chistiansen, J. y Beitzel, J. (1998). Improving leaping ability in elite rhythmic gymnasts. *Medicine Science in Sport Exercise*, 30 (10): 1543-7.
- Kulka, E. (1994). Détection-Sélection-Évaluation et Orientation sportive en GRS *Technique*, 8: 28-31.
- Lebre, E. (1992). The split jump on rhythmic sportive gymnastic – a simple biomechanical method of evaluation En: *First International Conference of biomechanics in Gymnastics*, Cologne: 193-197.
- Lebre, E. y Sousa, F. (1997) Étude Biomécanique du saut “enjambé” en GRS. En GRD: le sens d’une evolution. Ed. Institut National du Sport et de L’éducation Physique (INSEP), Paris, France.
- Lecomte, F. (1995). Les sauts *Technique*, 10: 18-21.
- Loquet, M. (1997). Lancer-rattraper d’engin, analyse mécanique *Technique*, 20: 26-32.
- Mendizábal, S (2001). *Fundamentos de la Gimnasia Rítmica*. Editorial Gymnos, Madrid, España.
- Prassas, S. (1999). Biomechanical research in Gymnastics: What is Done, What is Needed (<http://coachesinfo.com/category/gymnastics/66/>) [Consulta 20 de noviembre de 2006].
- Sakashita, R.; Asai, T. y Takiwaza, K. (2002). A fundamental study on relation between impression and movement. En Abstracts from the 4th International Conference on the Engineering of Sport, 3-6 September 2003, Kyoto, Japan *Sports Engineering*, 5: 213-238.
- Sousa, F. y Lebré, E. (1996). Biomechanical analysis of two different jumps in Rhythmic Sports Gymnastics (RSG). En *Proceedings of the XIV International Symposium on Biomechanics in Sports*: 416-419.
- Sousa, F. y Lebré, E. (1998) Biomechanics of jumps in rhythmic sports gymnastics (RSG) Kinematics analysis of the principal jumps in RSG. En *Abstracts from the 16th Symposium of the International Society of biomechanics in Sports*.
- Wolting, H. J. (1986) A Fortran package for generalized, cross-validator splines smoothing and differentiation. *Adv. Eng. Software*, 8(2): 104-113.
- Yi, K. y Kwon, B. (2005) Differences in vertical ground reaction force and lower limb angle according to the use of insoles for vertical jumps in Rhythmic Gymnastics *Book of abstracts of the 7th Symposium on Footwear Biomechanics*. Cleveland, Ohio.