



La biomecánica como herramienta de análisis de la técnica en barra fija

Alberto García-Fojeda

Profesor de Biomecánica del INEFC de Lleida

Michel Marina

Profesor de Gimnasia Artística del INEFC de Lleida

Pere Galán

Bertomeu Munar

Alumnos de 5º curso. INEFC-Lleida

Palabras clave

gimnasia artística, barra fija, molino gigante, biomecánica

Abstract

This study is the result of the search for another way to cover collective needs in a very specific area: Improvement of technique. Traditionally this has been based on trainer's direct observation and the feelings of the gymnast. Actually, and without wishing to minimise the methods previously mentioned, we have available more precise methods that allows us to offer the trainer more objective results in respect to gymnasium work. One of the most potent methods of studying gymnastic work is biomechanic analysis. This work presents the biomechanic analysis of two gymnastic elements, the giant windmill forwards and backwards, comparing the performance of a highly qualified gymnast and one at the beginner's level. The principal object of this study is to satisfy the technical demands of trainers using a simple model, technological methods accessible and easy to acquire in the domestic market, and a treatment of the data that does not necessarily need someone superspecialized and trained in the biomechanic orbit.

Resumen

El trabajo que aquí presentamos surge como una forma más de satisfacer la necesidad de un colectivo en torno a un tema muy concreto, la mejora de la técnica. Tradicionalmente esta mejora se ha realizado en base a la observación directa del entrenador y a las sensaciones del gimnasta. En la actualidad, a pesar de no despreciar las formas anteriormente citadas, disponemos de unos métodos mucho más precisos que nos permiten ofrecer al entrenador unos resultados más objetivos del gesto gimnástico. Uno de los métodos más potentes para estudiar el gesto gimnástico es el análisis biomecánico. Este trabajo realiza el análisis biomecánico de dos elementos gimnásticos, el molino gigante hacia adelante y hacia atrás, comparando la ejecución de un gimnasta de élite, y la de un gimnasta de nivel de iniciación. El objetivo principal de este estudio es el de satisfacer las demandas técnicas de los entrenadores usando un modelo sencillo, unos medios tecnológicos asequibles y fáciles de adquirir en el mercado doméstico, y un tratamiento de los datos que no requiere forzosamente de personal superspecializado y formado en el ámbito de la biomecánica.

Introducción

El molino gigante, tanto adelante como atrás, es un ejercicio ineludible y esencial en la gimnasia artística actual, que ha sido estudiado biomecánicamente tanto en las paralelas asimétricas femeninas (9, 19) como en la barra fija (1, 4, 8, 12, 15, 17), anillas (11), y paralelas masculinas (10). En las paralelas masculinas el molino es un elemento gimnástico valorado como de dificultad C según el código actual de la FIG, por lo que no se puede considerar como esencial e ineludible a pesar de que la práctica totalidad de las composiciones de gimnastas de élite incluye este elemento u otros derivados de éste en las paralelas masculinas.

Se puede definir como un giro completo de 360° en el plano anteroposterior que empieza y acaba en la vertical invertida. Aunque en la barra fija figura como elemento gimnástico de dificultad A con identidad propia, en gimnastas de competición se considera como soporte a partir del cual se introducen giros alrededor del eje longitudinal, cambios de presa, cierres del cuerpo con piernas abiertas y cerradas, etc. De todas formas podemos decir que el molino suele satisfacer dos grandes objetivos genéricos: 1) aumentar la velocidad, con técnica propia de un molino acelerado, y 2) disminuir la velocidad (incluso hasta insinuar una parada), con técnica propia de

	EDAD (años)	TALLA (cm)	PESO (kg)
M	23	177	75
J	23	167	65

Tabla 1. Datos antropométricos de los sujetos.

configurado por una serie de segmentos. En el presente estudio se analiza cinemáticamente el molino hacia delante (de espalda o "fover") y hacia atrás (de pecho o "riper") en la barra fija, lo que nos permite comparar resultados del mismo elemento con el de otros autores en paralelas asimétricas, y paralelas y barra fija masculinas.

Objetivos

- Proponer un modelo de análisis biomecánico simplificado que permita identificar de forma sencilla los parámetros cinemáticos más relevantes para la correcta realización técnica del riper y fover.
- Relacionar esos parámetros cinemáticos con las acciones musculares y sensaciones del gimnasta durante la ejecución del riper y fover.
- Proporcionar datos cuantitativos e información al entrenador y al gimnasta sobre los aspectos a mejorar y las posibles causas de los errores cometidos.

Material y método

Sujetos: Se analizaron 2 sujetos de diferente nivel. El primero que ha pertenecido a la élite de la gimnasia nacional y el segundo tiene un nivel de iniciación. Ambos sujetos realizaron varios intentos en la barra fija de los dos tipos de molinos a analizar. Posteriormente se eligió siguiendo criterios técnicos el molino mejor ejecutado de los realizados por ambos, para ser analizado. Los datos antropométricos de los sujetos se presentan en la tabla 1.

El material utilizado en el trabajo fue el siguiente:

- 1 Cámara Sony Hi8
- 1 Codificador de tiempo Fora Video
- 1 Trípode
- 1 Ordenador PC
- 1 Magnetoscopio Panasonic AG 7350
- 1 Tarjeta digitalizadora Video Blaster 100
- 1 Monitor Panasonic
- Programa de fotogrametría KWON 3D V.2.1
- 1 Objeto Control

Se usó el método de medición indirecta de las imágenes previamente grabadas en cintas de vídeo, usando técnicas fotogramétricas. A continuación se explica con más detalle el tipo de objeto control, el escenario de la filmación, y las fases del método usado.

Objeto control

Al ser un análisis bidimensional del movimiento, el objeto control que se utilizó fue una barra de 2,43 m de longitud, colocada horizontalmente, que cubría la mayor parte del espacio donde posteriormente se realizó la acción.

Escenario

El escenario de filmación fue el módulo III del pabellón Jeroni Saura del INEFC de Lleida. La ubicación de la cámara se realizó de tal manera que su eje óptico coincidiera con el eje longitudinal de la barra, para que, de esta forma, el plano principal del movimiento quede perpendicular al eje óptico de la cámara. La distancia entre cámara y plano de movimiento fue de 25 m para evitar los errores de perspectiva, que se producen en los análisis 2D (fig. 1).

Fases de la filmación y análisis de las imágenes

Se realizó con una cámara Sony de Hi-8 en el Pabellón del INEFC. La cámara filmaba a una velocidad de 50 Hz. El tiempo de exposición fue de 1/1000 s. Las condiciones de luz fueron estudiadas y corregidas, para que no hubiera ningún problema en el posterior análisis.

- a) **Filmación:** se filmó en primer lugar el objeto control, situado perpendicular a la barra y a la misma altura. Con posterioridad se filmaron los dos sujetos realizando varios intentos de cada tipo de molino.
- b) **Análisis de la imágenes:** se pasó la cinta de Hi8 a una cinta SVHS, durante este mismo proceso, se insertó un código de tiempo para facilitar la localización de cada uno de los fotogramas. Posterior-

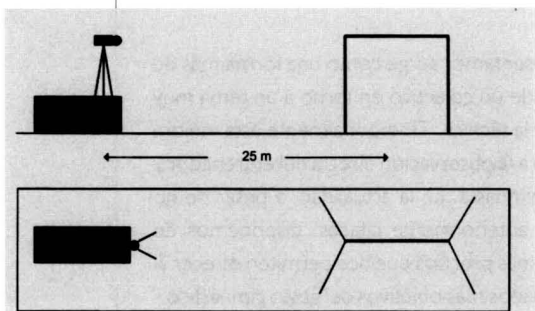


Figura 1. Visión esquemática de la ubicación del equipo de filmación y de la barra fija.

un molino frenado (15). Es muy importante resaltar que existen tantas técnicas y matices en la ejecución del molino como posibilidades de enlace con otras dificultades gimnásticas más complejas. Diversos autores estudiaron las diferencias entre un molino sencillo y un molino de preparación para diferentes variantes de suelta* (2,5). Asimismo Takei y cols. (16) estudiaron, entre otras cosas, aquellos parámetros biomecánicos del molino que condicionan las mejores salidas de barra, y confirman aseveraciones de otros autores (15). Por fin, otros autores analizaron aspectos específicos del molino como la trayectoria del centro de gravedad (4) del momento de fuerza (8,13), energía mecánica (12), inercias (3). Todos estos estudios refuerzan la opinión de que la biomecánica ofrece la posibilidad de analizar las variantes técnicas de molino con un nivel de precisión y sensibilidad inalcanzables para el ojo del entrenador más experto.

Nuestro trabajo se basa en los estudios de Manoni y cols. (9,10) y Witten y cols. (19), que analizan el molino en paralelas femeninas y masculinas. Para ello, al igual que hicimos nosotros, realizan un análisis computarizado de un modelo humano que está

* La suelta es un elemento gimnástico en el que el gimnasta suelta la barra (de allí el nombre) para realizar una acrobacia en el aire, y volver a cogerla después.



mente se procedió a elegir los movimientos a analizar (dos de cada sujeto) y anotar los códigos de tiempo correspondientes al conjunto de campos incluidos desde el inicio hasta el final de cada ejecución. De esta manera la gestión de la digitalización se realizó en base a los códigos de tiempo de cada campo.

- c) **Creación de un modelo mecánico:** Para simplificar el estudio biomecánico del cuerpo se creó un modelo compuesto por 11 puntos corporales que a su vez definían 8 segmentos. A los segmentos bilaterales, se les asignó, siguiendo los criterios de Chandler y col (3), el doble de la masa que le correspondía, al estar analizados solo en la parte derecha o izquierda del gimnasta. Es importante precisar que en nuestro modelo, al igual que en el que utilizó Manoni (9) el tronco ha sido definido como un segmento rígido, sin posibilidad de movimiento, que unía los hombros y la cadera. Los diferentes segmentos fueron definidos por la unión de dos puntos articulados, que en el caso de nuestro trabajo fueron los de la tabla 2 y la figura 2.
- d) **Creación de un máster:** El máster gestiona el proceso de digitalización, y de cálculo de los datos obtenidos de las filmaciones. En él se introdujeron las condiciones de filmación, y de cálculo:
 Sistema de filmación: Vídeo
 N.º de cámaras: 1
 Velocidad film.: 50 Hz
 Ratio espacio vert./hor. 1/1
 Fotogramas analizados 1/1
 Nombre del modelo usado: Molino
 Ángulos segmentarios: Todos los segmentos respecto a la horizontal, ángulos entre segmentos adyacentes, y ángulos de segmentos imaginarios manos-hombros, y caderas-pies.
 Tipo de filtro: Butterworth 4.º Orden 6 Hz de Frecuencia de corte.
 Fases del movimiento: División del conjunto en octantes.
- e) **Digitalización:** Consistió en asignar las coordenadas planas a cada uno de los puntos articulares de cada uno de los campos de los fotogramas que componían el movimiento, y del objeto control.

Se realizó con el programa KWON3D y una tarjeta Video Blaster 100.

- f) **Procesamiento de los datos:** Los datos obtenidos de la digitalización fueron procesados en el programa KWON3D, utilizando las correspondientes escalas para la obtención de las medidas reales. Las coordenadas crudas fueron filtradas utilizando los filtros de Butterwoth de 4.º orden y 6 Hz de frecuencia. Con objeto de simplificar el procesamiento de los datos se consideraron los brazos y las piernas como elementos rígidos no deformables en extensión completa de 180º. Esta simplificación refuerza uno de los criterios técnicos más elementales del molino por los que ni los brazos ni las piernas deben flexionarse en ningún momento. Por lo tanto el modelo de cuerpo humano sobre el cual hemos sacado todos los datos constará de tres segmentos: pierna (desde la cadera hasta el tobillo), tronco (desde la cadera hasta el hombro) y brazo (desde el hombro hasta la punta de los dedos de la mano). Respecto a la consideración del tronco como elemento no deformable se debe reconocer que aunque a nivel de iniciación no tiene mucha trascendencia, sí la tiene si tuviéramos que analizar y comparar gimnastas de élite en activo, puesto que ellos sí que movilizan el tronco de forma importante en este movimiento. De la unión de estos tres segmentos resultarán dos ángulos: ángulo tronco-piernas y ángulo tronco-brazos. Sobre estos ángulo hemos basado el estudio de la posición angular del gimnasta durante todo el movimiento. Las variables consideradas como más relevantes e informativas acerca de la realización del ripper y fover fueron:
- Velocidad lineal
 - Posición angular
 - Velocidad angular
 - Trayectoria del centro de gravedad
- Estas variables influyen las unas sobre las otras y no pueden estudiarse de manera separada, porque en la mayoría de ocasiones tienen una relación causa-efecto. Un cierre del ángulo tronco-piernas, provoca un acercamiento del centro de

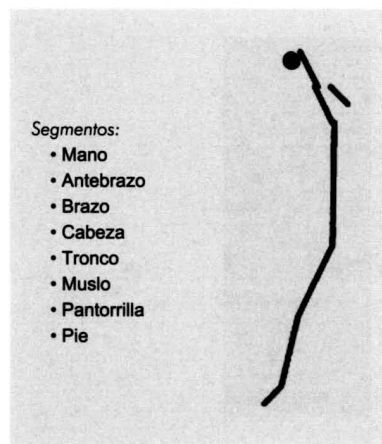


Figura 2. Presentación esquemática de los segmentos utilizados en el estudio.

SEGMENTO	DISTAL	PROXIMAL
Mano	3.º metac.	Muñeca
Antebrazo	Muñeca	Codo
Brazo	Codo	Hombro
Tronco	Hombro	Cadera
Pierna	Rodilla	Cadera
Pantorrilla	Tobillo	Rodilla
Pie	Punta pie	Talón
Cabeza	Vértex	Cuello

Tabla 2. Definición de los segmentos a partir de la unión de 2 puntos articulados.

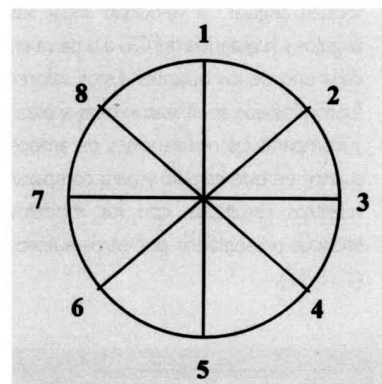


Figura 3. Sectores utilizados para el análisis del molino.

gravedad a la barra, manifestándose una reducción del radio de giro, lo que redundaría automáticamente en un marcado aumento de la velocidad de las piernas y con ellas la de todo el sistema.

- g) **Fases del movimiento:** se dividió la circunferencia que dibuja el gimnasta al realizar un molino en ocho octantes (fig. 3).

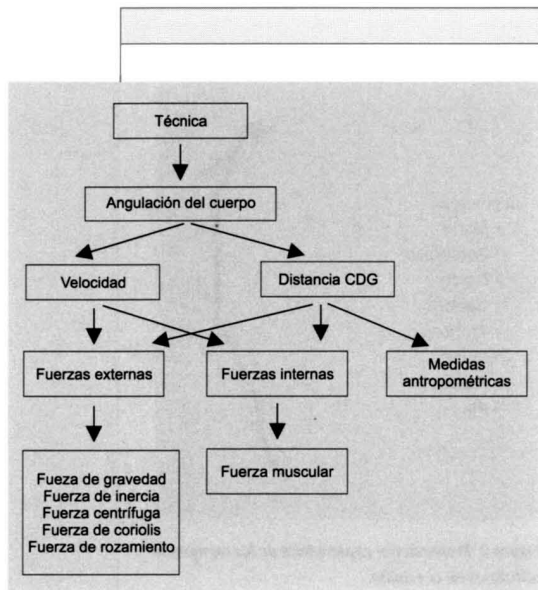


Figura 4. Diagrama de eficacia mecánica (Hay, 1980) adaptado para este trabajo.

De esta manera pudimos comparar todas las variables que afectan al movimiento en cada uno de los octantes y en cada uno de los sujetos. El fotograma representante de cada octante fue aquel que tenía el centro de gravedad más cerca de la línea divisoria imaginaria. Una vez conocidos los fotogramas que representaban a cada octante, se calculó la velocidad angular, la velocidad lineal, los ángulos y la distancia del CG a la barra en cada uno de los octantes. Estos valores fueron los que se utilizaron para analizar y comparar las realizaciones de ambos sujetos en este estudio y para comparar nuestros resultados con los modelos teóricos presentados por otros autores (1, 15, 17).

Para la realización de este estudio era fundamental el conocimiento de las variables de tipo mecánico que afectan a la ejecución del molino gigante, y para ello se adaptó un diagrama de eficacia mecánica de Hay (6) para ese trabajo (fig. 4).

Resultados

Los resultados obtenidos, quedan expresados de forma resumida en las tablas 3 y 4. Estos resultados hacen referencia a las angulaciones de brazos respecto al tronco (fig. 5), del tronco respecto a las piernas (fig. 6), a la velocidad angular (ω) de los segmentos simplificados brazos, piernas y tronco (fig. 7), y a la distancia del centro de gravedad respecto a la barra (fig. 8). Estos valores están expresados en $^{\circ}$ (grados) para los ángulos y rad/s para las velocidades angulares, y cm para la distancia del CG respecto de la barra.

FOVER

Se observa una angulación de brazos-tronco superior en todas las fases del movimiento analizado en el sujeto M respecto a la del sujeto J, excepto en los dos últimos octantes. Las angulación más próxima a 180° (máxima extensión) se observa en los octantes 2 y 6 para el sujeto M y en el octante 3 y 6 para el sujeto J.

El ángulo tronco-piernas tiene un alto grado de estabilidad en el sujeto M en todos los octantes excepto en los dos últimos, consiguiendo su valor máximo ($207,5^{\circ}$) en el octante 5 y su valor mínimo ($137,4^{\circ}$) en el oc-

tante 7. En el sujeto J el valor máximo y mínimo del ángulo tronco-piernas se registra en los mismos octantes que el sujeto M aunque se aprecia una mayor variabilidad de este valor a lo largo de todo el movimiento.

Se observa que el sujeto M mantiene unos valores estables de ω de piernas hasta el octante 4. A continuación se produce un gran aumento ($6,5$ rad/s en el octante 5). En el octante 6 y 7 se produce una caída de ω ($0,9-1,1$ rad/s) para aumentar en el último octante del movimiento ($5,6$ rad/s). El sujeto J sigue un patrón similar de movimiento que M, si bien el valor máximo lo obtiene en el octante 4 ($6,3$ rad/s) en vez del 5 como M. Observando las distancia del CG respecto a la barra se tiene que tener en cuenta la mayor talla del sujeto M, lo cual condiciona inicialmente esta longitud. El sujeto M obtiene su máxima distancia en el octante 4 y 5 ($107,4$ y $103,8$ cm), mientras que J los obtiene en el octante 5 y 6 ($98,5$ y $100,2$ cm).

RIPER

La mayor angulación brazos tronco se observa en el octante 3 ($174,8^{\circ}$) y 6 ($174,5^{\circ}$) para el sujeto M, mientras que el sujeto J obtuvo sus valores máximos en el octante 2 ($177,5^{\circ}$) y I ($174,5^{\circ}$). En cuanto a la angulación de tronco-piernas se observa la mayor abertura en el octante 5 ($221,5^{\circ}$) en M y en el octante 4 en J ($200,6^{\circ}$). Asimismo los valores mínimos de esta angulación se registran en el octante 2 ($171,2^{\circ}$) para M y en el octante 7 para J ($126,4^{\circ}$). La angulación tronco-piernas es siempre superior en M en comparación con J, salvo en el octante 4.

SUJETOS M y J	I OCTANTE		II OCTANTE		III OCTANTE		IV OCTANTE		V OCTANTE		VI OCTANTE		VII OCTANTE		VIII OCTANTE	
	M	J	M	J	M	J	M	J	M	J	M	J	M	J	M	J
< Brazos-tronco ($^{\circ}$)	153,6	140,4	175,9	165,1	174,1	170,4	167,7	167,1	171,8	166,5	175,7	175,9	159,6	162,8	110,6	123,1
< Tronco-piernas ($^{\circ}$)	184,4	179,4	185,9	178,1	178,0	178,8	179,6	188,9	207,5	207,4	184,4	178,9	137,4	144,9	176,0	167,2
ω brazos (rad/s)	0	1,7	3,3	2,5	4,3	3,7	4,5	4,7	3,9	4,9	5,8	5,3	5,5	5,1	3,7	4,1
ω pierna (rad/s)	2,1	3,2	2,4	3,1	2,9	4,2	6,4	6,3	6,5	5,5	0,9	0,1	1,1	2,7	5,6	4,6
ω tronco (rad/s)	2,4	3,2	3	2,6	3,4	3,9	4,3	3,6	5,2	5,6	5,1	6,0	3,3	4,5	3,0	2,4
Dist. CDG (cm)	90,7	83,2	95,7	90,3	102,7	95,7	107,4	97,1	103,8	98,5	102,5	100,2	97,1	94,8	80,2	83,1

Tabla 3. Molino gigante hacia delante (de espalda o "fover"). Ángulos intersegmentarios, velocidades angulares y distancia del centro de gravedad (CG) a la barra en cada uno de los octantes. Sujetos: Michel (M) y Joël (J).



La variabilidad de ω de brazos es muy superior en el sujeto M en los octantes 4-5 y 6, no observándose alteración tan marcada en el sujeto J. La ω de piernas alcanza su valor máximo en el octante 6 tanto para M (12 rad/s) como para J (9,2 rad/s). No obstante el mayor incremento de ω de las piernas del sujeto M se localiza entre los octantes 5 y 6, lugar donde por contra J obtiene los incrementos mínimos. J consigue el máximo incremento de ω de piernas entre los octantes 4 y 5. La máxima ω de tronco se localiza en el octante 7 para M (7,7 rad/s) y en el octante 2 y 6 para J (5,2 rad/s).

La distancia del CG respecto a la barra es superior en los octantes correspondientes a la primera mitad del movimiento (bajada) para M en comparación con J, e inferiores a partir del octante 6 (subida) en M en comparación con J.

Discusión

FOVER

Si observamos la información numérica que figura en la tabla 3 podemos destacar algunos aspectos. En el 2.º octante el sujeto M tiene una angulación de brazos-tronco y tronco-piernas superior a la de J. Esto es el reflejo de una mayor acción de empuje de la barra por parte de M. Este mayor empuje permite aumentar la distancia CG con respecto a la barra, aumentar el momento de fuerza (7,8, 13) y generar una mayor energía y velocidad angular del cuerpo (12), durante los octantes siguientes correspondientes a la bajada como así sucede en la realidad. En el

octante 5 (al pasar por la vertical de la barra), se registra una angulación tronco-piernas, y brazos-tronco sorprendentemente similar, reflejando ambos valores una hiperextensión del cuerpo. Esta apreciación corresponde con el modelo de ejecución considerado como ideal (1, 15, 18). En los octantes 7 y 8 se observa una angulación de brazos-tronco siempre algo superior en M que en J pero que se ve compensada por una angulación tronco-piernas siempre menor (más extensión) en M que en J. En términos de ejecución esta información nos permite deducir una mayor movilización de intervención de los brazos y hombros por parte de M en comparación con J que se caracteriza por recurrir en mayor medida a la movilización de las caderas y piernas, lo cual es un indicador de error de ejecución. Asimismo respecto a la velocidad angular de cada segmento destaca en la fase de bajada del fover una mayor velocidad angular del tronco de M en el 4.º octante, que no es más que la consecuencia de la acción de empuje que se comentó con anterioridad. Se aprecia una velocidad angular del tronco y de las piernas menores en M en las fases iniciales de la subida (octante 6 y 7) mientras que la situación se invierte cuando ambos se aproximan al apoyo invertido. Estas diferencias se deben a que el sujeto M hace una transición más marcada entre la hiperextensión del cuerpo, característica del octante 5, y la posición de "cuchara" del octante 6, que optimizará a posteriori un mejor lanzamiento de las piernas por detrás y hacia arriba. Todo ello permite una velocidad de paso por el apoyo invertido superior

en M acompañada de una extensión del cuerpo más cercana a la ideal.

RIPER

En el octante 1 y 2 la angulación brazos-tronco es menor en M que en J, lo que refleja un mejor mantenimiento de la posición de cuchara en el inicio de la bajada que preconizan todos los entrenadores —en el argot del entrenamiento diario se utiliza la expresión de "bajar de puntas y no de pecho"—. Mientras que la situación se invierte en la fase final de la bajada (octantes 3-4 y sobre todo 5) e incluso el inicio de la subida (octante 6). La situación inversa se observa en la angulación tronco-piernas, donde ésta es siempre superior (reflejo de una mayor extensión de la cadera) en los octantes 1-2 y 3, para ser inferior en el octante 4. La extensión de la cadera más constante y mantenida del sujeto M con respecto a J, es posible gracias a la mayor movilización e intervención de los hombros del primero. La hiperextensión de la cadera más marcada de J en el octante 4 no es más que el reflejo de la anticipación en la relajación abdominal con respecto al momento óptimo (octante 5) propio del modelo ideal de ejecución. En el octante 5 las diferencias entre sujetos en dicha angulación vuelve a ser notoria a favor del sujeto M, lo que permite deducir un nivel de tensión muscular superior en éste que favorecerá la patada/lanzamiento de piernas hacia delante y arriba en los octantes venideros. Durante la fase de subida del riper (octantes 7 y 8) destacan angulaciones tron-

SUJETOS M y J	I OCTANTE		II OCTANTE		III OCTANTE		IV OCTANTE		V OCTANTE		VI OCTANTE		VII OCTANTE		VIII OCTANTE	
	M	J	M	J	M	J	M	J	M	J	M	J	M	J	M	J
< Brazos-tronco (°)	142,1	174,4	161,0	177,5	174,8	172,2	170,6	167,5	172,8	170,1	174,5	160,0	132,4	157,9	112,7	153,4
< Tronco-piernas (°)	178,5	151,1	171,2	151,2	176,6	163,6	192,4	200,6	221,5	198,9	182,9	142,1	135,5	126,4	185,7	154,3
ω brazos (rad/s)	3,9	2,1	3,9	2,8	4,5	3,3	4,4	4,7	6,1	4,7	2,8	3,2	4,4	4,9	5	3,9
ω pierna (rad/s)	2,5	1,1	2,1	2,7	2,8	1,3	2,1	1,5	4,2	9,1	12	9,2	3,2	4,4	1,9	1,4
ω tronco (rad/s)	0,9	1,7	3	2,3	3,6	5,2	5,1	4,6	4,4	3,8	5,5	5,2	7,7	4,5	3,1	0,9
Dist. CDG (cm)	96,3	87,4	99,5	90,5	100,3	98,5	105,8	100,1	104,2	100,8	106,1	99,7	84,6	84,9	82,2	87,3

Tabla 4. Molino hacia atrás (de pecho o riper). Ángulos intersegmentarios, velocidades angulares y distancia del centro de gravedad (CG) a la barra en cada uno de los octantes. Sujetos: Michel (M) y Joël (J).

co-piernas superiores y por lo tanto siempre más cercanas a la extensión en M que en J, mientras que la situación inversa se aprecia en el ángulo brazos-tronco, siempre mayor en J. Una vez más se refleja cómo J no es capaz de generar las impulsiones necesarias a partir de la acción de brazos y hombros. Asimismo hay que tener en cuenta que una mayor angulación de brazos en M permite acortar con más eficacia la distancia del CG con respecto a la barra, siendo este factor muy importante a la hora de facilitar mayores velocidades angulares durante la fase de subida hacia el apoyo invertido (1,4,6). En cuanto a las velocidades angulares segmentarias hay que destacar los valores superiores de las piernas y el tronco del sujeto M en el octante 4, que no es más que la consecuencia de una mejor colocación del cuerpo y acción de empujar la barra para alejar el CG de la barra y aumentar así el momento de fuerza en los octantes anteriores (1,4,8,13). No

obstante en el octante 5 se registra un aumento muy marcado de la velocidad angular de las piernas de J en comparación con las de M. Situación que sí se verifica en M, incluso en mayor grado, pero en el octante 6. Esto no es más que la consecuencia de una prematura relajación abdominal (también llamado tiempo 1) de J que le hace anticipar el lanzamiento de las piernas, que como veremos a continuación tendrá sus nefastas consecuencias a la hora de conseguir una ω del cuerpo elevada al pasar por el apoyo invertido. La velocidad angular del tronco muy superior de M en el octante 7, no viene más que a refrendar superiores velocidades de los demás segmentos en el sujeto M cuando éste está muy próximo al paso por el apoyo invertido (octante 8) y que no son más que el resultado de haberse beneficiado de: 1) una apertura de ángulos más tardía, que facilitó 2) un inicio del lanzamiento de las piernas después de pasar por la vertical de la barra y

no antes como así sucede con el sujeto J, y 3) de una retroversión de brazos muy superior en M en comparación con J.

Conclusiones

La ejecución técnica que realiza M se acerca mucho a la que se describe en la bibliografía como técnica correcta, tanto en el molino gigante hacia adelante como en el molino gigante atrás (1,14,15,17). En el caso de J vemos como sus movimientos se alejan mucho más del modelo técnico, aunque estas diferencias son producto del poco tiempo de práctica. Podemos decir que la simplificación del modelo mecánico utilizado en este trabajo, facilita la obtención de la información sobre los parámetros cinemáticos estudiados, y a su vez posee la sensibilidad y precisión suficiente para analizar y observar las ejecuciones de estos movimientos y de esta forma ayudar en la mejora de la técnica de ejecución de los gimnastas.

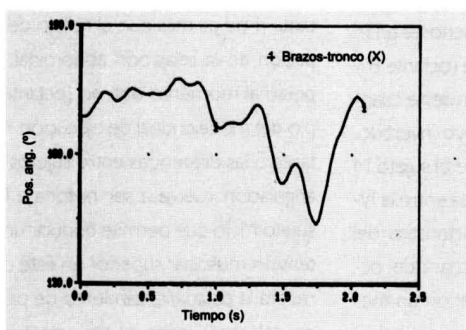


Gráfico A. Ríper sujeto principiante (J).

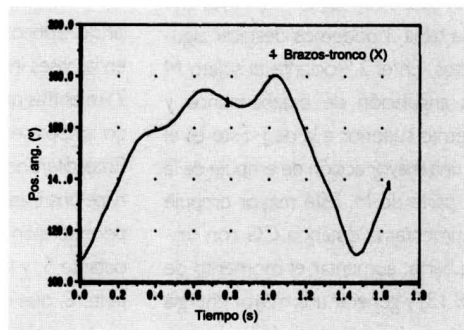


Gráfico B. Ríper sujeto experimentado (M).

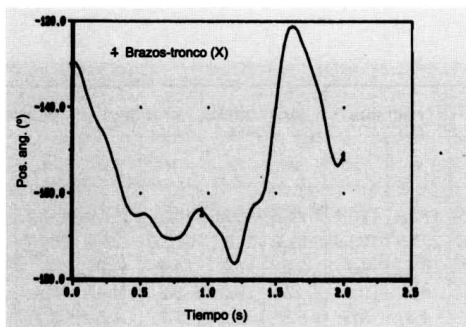


Gráfico C. Fover sujeto principiante (J).

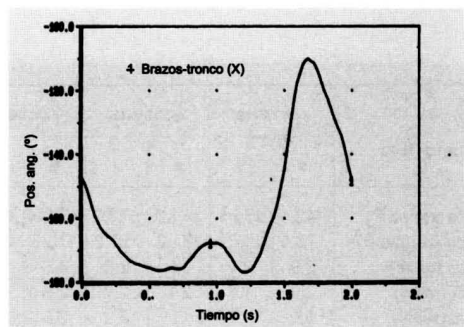


Gráfico D. Fover sujeto experimentado (M).

Figura 5. Angulaciones de los brazos respecto al tronco durante la realización del molino de pecho o ríper (gráficos A y B) y del molino de espalda o fover (gráficos C y D). Los gráficos A y C corresponden a las ejecuciones del sujeto principiante (J), mientras que los gráficos B y D corresponden a las del sujeto experimentado (M).

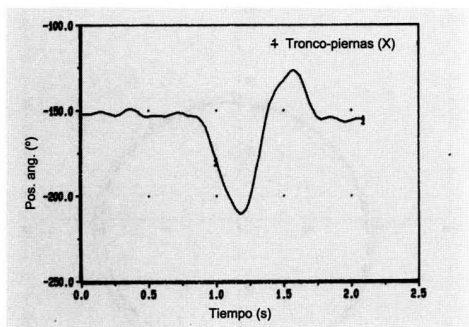


Gráfico A. Ríper sujeto principiante (J).

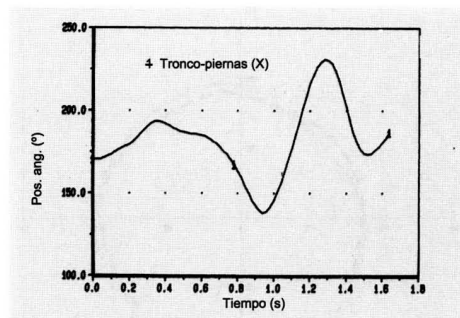


Gráfico B. Ríper sujeto experimentado (M).

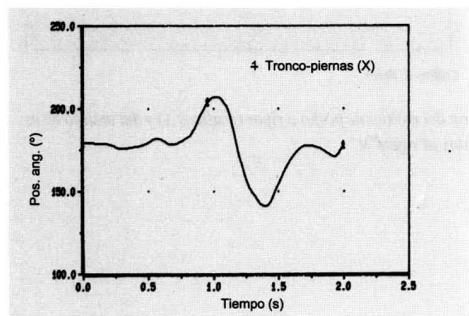


Gráfico C. Fover sujeto principiante (J).

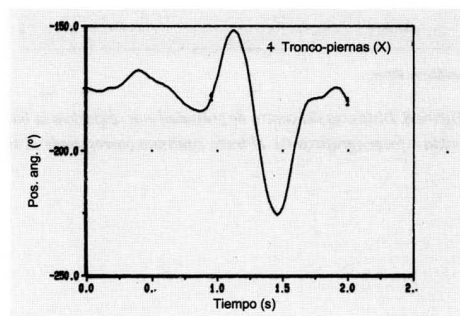


Gráfico D. Fover sujeto experimentado (M).

Figura 6. Angulaciones del tronco respecto a las piernas durante la realización del molino de pecho o ríper (gráficos A y B) y del molino de espalda o fover (gráficos C y D). Los gráficos A y C corresponden a las ejecuciones del sujeto principiante (J), mientras que los gráficos B y D corresponden a las del sujeto experimentado (M).

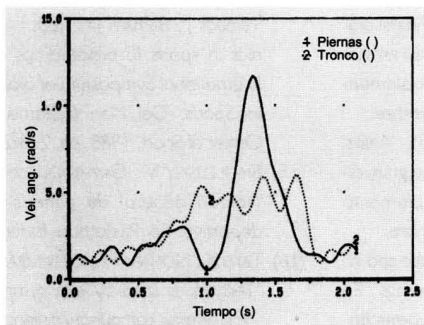


Gráfico A. Ríper sujeto principiante (J).

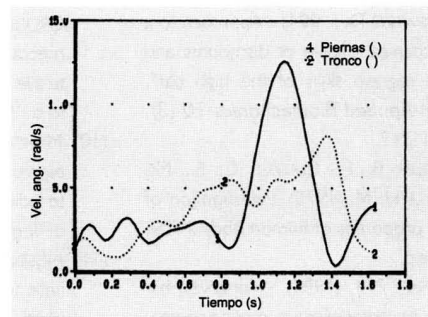


Gráfico B. Ríper sujeto experimentado (M).

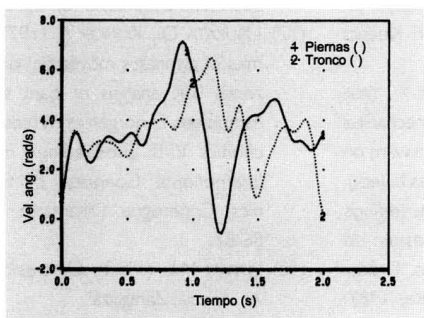


Gráfico C. Fover sujeto principiante (J).

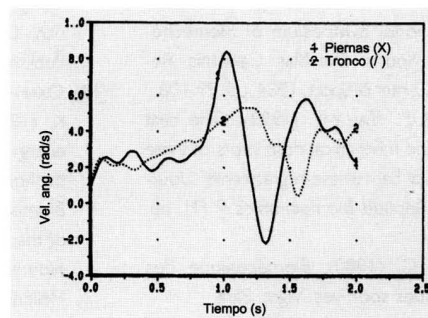


Gráfico D. Fover sujeto experimentado (M).

Figura 7. Velocidades angulares del tronco (trazo de puntos) y de las piernas (trazo continuo) en función del tiempo, durante la realización del molino de pecho o ríper (gráficos A y B) y del molino de espalda o fover (gráficos C y D). Los gráficos A y C corresponden a las ejecuciones del sujeto principiante (J), mientras que los gráficos B y D corresponden a las del sujeto experimentado (M).

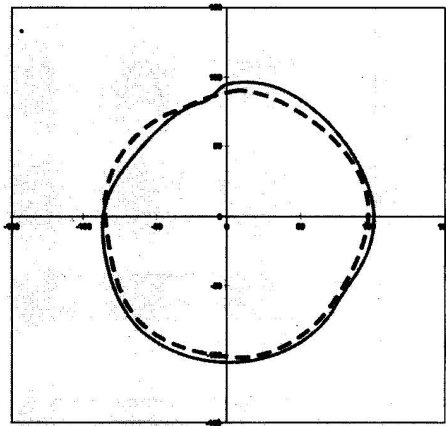


Gráfico A. Ripper.

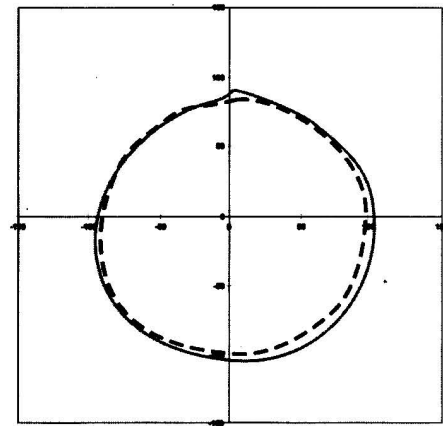


Gráfico B. Fover.

Figura 8. Distancia del centro de gravedad con respecto a la barra durante la realización del molino de pecho o ripper (gráficos A) y del molino de espalda o fover (gráficos B). El trazo continuo corresponde al sujeto J y el trazo de puntos al sujeto M.

Bibliografía

- (1) BOLLEN J., HABAY B. (1980), "Notion mécanique appliquées au topur d'appui facial arrière". *Revue de l'éducation physique* 20 (1), pp. 14-17.
- (2) BEGEMANN G. P., CHEETHAM P. J., ALP y ARAMPATZIS D. (1994), "Approach to a biomechanical profile of dismounts and release regrasp skills of the high bar". *Journal Applied Biomechanics* 10 (3), pp. 291-312.
- (3) CHANDLER R. F., CLAUSER C. E., MC CONVILLE H. M. (1975), *Investigation of inertial properties of human body*. NTSI, Springfield.
- (4) CHEETHAM P. J. (1984), "Horizontal bar giant swing center of gravity motion comparisons". En Terauds J. *et al.* (ed.). *Sports Biomechanics: proceedings of the 2nd International Symposium of Biomechanics in Sports*. Del Mar, California. Research Center of Sport, 1984, pp. 99-108.
- (5) GERVAIS P., TALLY F. (1993), "The beat swing and mechanical descriptors of three horizontal bar release-regrasp skills". *Journal of Applied Biomechanics* 9 (1), pp. 66-83.
- (6) HAY J. G. (1980), *Biomécanique des techniques sportives*. Vigot. París.
- (7) ISHII K., KOMATSU T. (1987), "Changes of kinematic parameters and force on the horizontal bar backward giant swing". En Hoshizaki T. B., Salmela J. H., Petiot B.: "Diagnostics, treatment and analysis of gymnastic talen". Montreal, *Sport Psyche Editions*, pp. 107-117.
- (8) KOPP P., REID J. G. (1980), "Force and Torque analysis of giant swings on the horizontal bar". *Canadian Journal of Applied Sports Science* 5 (2), pp. 98-102.
- (9) MANONI A., CARVELLI E., MALLOZZI L., GROSSO F., MILANI M. (1991), "Analisi biomeccanica di sette granvolte frontali eseguite alle parallele asimmetriche". *Supplemento a "Il gimnasta" n.º 12*. Diciembre.
- (10) MANONI A., LATERZA, E. (1993), "Analisi biomeccanica comparativa fra due granvolte indietro alle parallele pari". *Supplemento a "Il gimnasta" n.º 11*. Noviembre.
- (11) NISSINEN M. A. (1983), "Kinematic and kinetic analysis of the giant swing on rings". En Matsui H., Kobayashi K. (eds.), *Biomechanics VIII A & B: proceedings of the 8th Congress of Biomechanics*. Nagoya, Japan. Champaign Illinois, Human Kinetics Publishers 1981, pp. 781-786
- (12) OKAMTO A., SAKURAI S., IKEGAMI Y., YABE K. (1989), "The changes in mechanical energy during the giant swing backward on the horizontal bar". En Tsarouchas L. (ed.), *Biomechanics in sports V: proceedings of the 5th International Symposium on Biomechanics in Sports*. Atenas, Grecia. Hellenic Sports Research Institute, 1987, pp. 338-345.
- (13) OKAMTO A., SAKURAI S., IKEGAMI Y., YABE K. (1990), "Moment of force and mechanical power in giant swing on the horizontal bar". En Kreighbaum E., McNeil A. (eds.), *Biomechanics in sports VI: proceedings of the 6th International Symposium on Biomechanics in Sports*. Bozeman, Montana. International Society of Biomechanics in Sports, 1988, pp. 99-108.
- (14) PRASSAS S.G., KELLEY D.L. (1985), "Mechanical analysis of the inverted giant swing". En Terauds J., Barham J.N. (eds.), *Biomechanics in sports II: proceedings of the 3rd International Symposium of Biomechanics in Sports*. Del Mar, California. Research Center of Sport, 1985, pp. 218-226.
- (15) SMOLEUSKIY V., GAVERDOUSKIY I. (1996), *Tratado general de gimnasia artística deportiva*. Ed. Paidotribo. Barcelona.
- (16) TAKEI Y., NOHARA H., KAMIMURA M. (1992), "Techniques used by elite gymnasts in the 1992 olympic compulsory dismount from the horizontal bar". *International Journal of Sport Biomechanics* 8 (3), pp. 207-232.
- (17) UBUKATA O., KOMOR A. (1977), "Dynamics of gymnast's movement on the horizontal bar: analysis of giant swing". En Asmunssen E., Jorgensen K (eds.), *Biomechanics VI-B: proceedings of the 6th International Congress of Biomechanics*. Copenague, Dinamarca, 1977, pp. 86-87.
- (18) UKRAN M.L. (1978), *Gimnasia Deportiva*. Acibia. Zaragoza.
- (19) WITTEN A., BROWN E. (1996), "Kinematic and Kinetic Analysis of the Overgrip Giant Swing on the Uneven Parallel Bars". *Journal of Applied Biomechanics por Human Kinetics Publishers, Inc.*