Biomecánica, 11, 2003, pp. 69-75

Análisis comparativo para la búsqueda de un patrón en la realización de un doble mortal atrás con pirueta de salida en anillas

MIRALLES K., GARCÍA M., NAVARRO E.
Universidad Politécnica de Madrid
INEF, Madrid

Resumen

El presente estudio ha sido realizado gracias a la colaboración del INEF de Madrid con el Equipo Nacional de Gimnasia Artística. Empleando fotogrametría tridimensional se ha comparado la técnica de ejecución de un doble mortal atrás con pirueta de salida en anillas de 3 gimnastas. El patrón de eficacia que vamos a utilizar la nota que el entrenador, haciendo las veces de juez, va a determinar, así catalogamos en un primer momento las ejecuciones analizadas. Como premisas suponemos que una mayor altura del Centro de Gravedad (CDG) en la suelta va a dar más tiempo de vuelo y una velocidad angular en el extremo distal (en este caso el pie) mayor va a permitir más rotación en dicho tiempo de vuelo. Como conclusión obtuvimos que la velocidad de la punta del pie en el suspensión vertical del impulso previo determinará la velocidad angular final y la altura máxima del CDG. Así también, el momento y empuje de las anillas determinará la altura y trayectoria del movimiento.

Palabras Clave: Biomecánica, Gimnasia

Introducción

Este trabajo se enmarca dentro del campo de la biomecánica deportiva aplicada al entrenamiento de la técnica. Desde el año 1998 se ha desarrollado en el INEF de Madrid un proyecto denominado: Estudio y seguimiento mediante análisis biomecánico de la técnica de los gimnastas del equipo nacional, cuyo objetivo a sido el apoyo al entrenamiento del equipo nacional de gimnasia artística masculina.

El control del entrenamiento deportivo se basa en la realización periódica de test de los que se obtiene información sobre el estado técnico del deportista. Junto con los resultados de las competiciones y la información recogida en los controles, el entrenador analiza el proceso de entrenamiento lo que le permite replanificar las sesiones. Es sabido que uno de los elementos más importantes de la Teoría del entrenamiento es el Control del Entrenamiento. Con nuestro trabajo pretendemos mejorar en lo posible el Control del Entrenamiento, ya que gracias a la biomecánica y las técnicas experimentales que disponemos, tales como la Fotogrametría 3D vídeo/cine con digitalización manual, nos da una información exhaustiva sobre la mecánica del movimiento.

Correspondencia:
Kiko Miralles (INEF, Madrid)
C/ Martín Fierro s/n 28040, Madrid

A lo largo de este tiempo nuestro mayor problema es encontrar patrones con los que comparar la ejecución de nuestros gimnastas, por lo que en este caso nos limitaremos a comparar la técnica de ejecución de estos gimnastas.

Hemos utilizado los análisis hechos por Geiblinger y cols.(1996)[1y2] y Yeadon(1994)[3] que estudian los dobles mortales atrás y las piruetas realizadas en el suelo, así como el estudio de M.A. Nissinen(1995)[4] sobre los molinos en anillas, como base teórica y estudios hechos por otros autores expuestos en la bibliografía[5,6,7,8y9] como base referencial.

El objeto de este trabajo, es por tanto iniciar una serie de análisis que nos lleven a la creación de un patrón en la realización de este elemento, está claro que en esta ocasión no vamos a definir el patrón único, ya que la muestra analizado es muy pequeña, pero si nos va a servir para iniciar el camino. Además, como ya he dicho al inicio de esta introducción este trabajo se ve englobado en un proyecto de apoyo al entrenamiento de los gimnastas, que en esta ocasión se preparaban para las Olimpiadas de Sydney 2000, por lo cual era vital que los resultados llegaran a manos del entrenador en el menor espacio de tiempo. Con las comparaciones realizadas en este trabajo vamos a dar datos y conjeturas que a los gimnastas cuya técnica es deficiente les puede servir de gran ayuda.

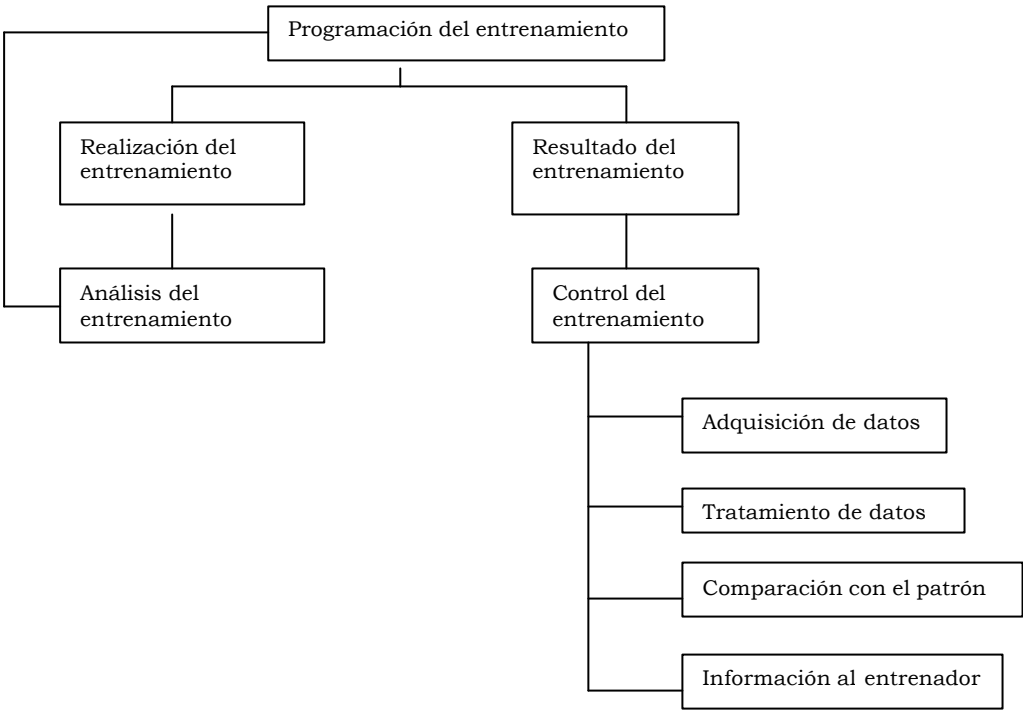


Figura I

Las premisas que nos marcamos inicialmente después de consultar a los escritores anteriormente citados, fueron:

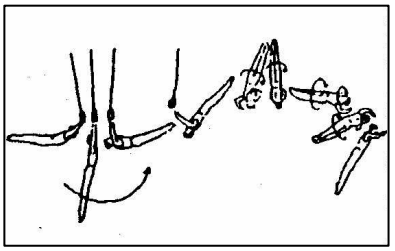
·La altura vertical del CDG debe ser máxima, tiempo de vuelo máximo.

·La velocidad máxima de la punta del pie durante el molino previo será un factor decisivo para la altura del CDG.

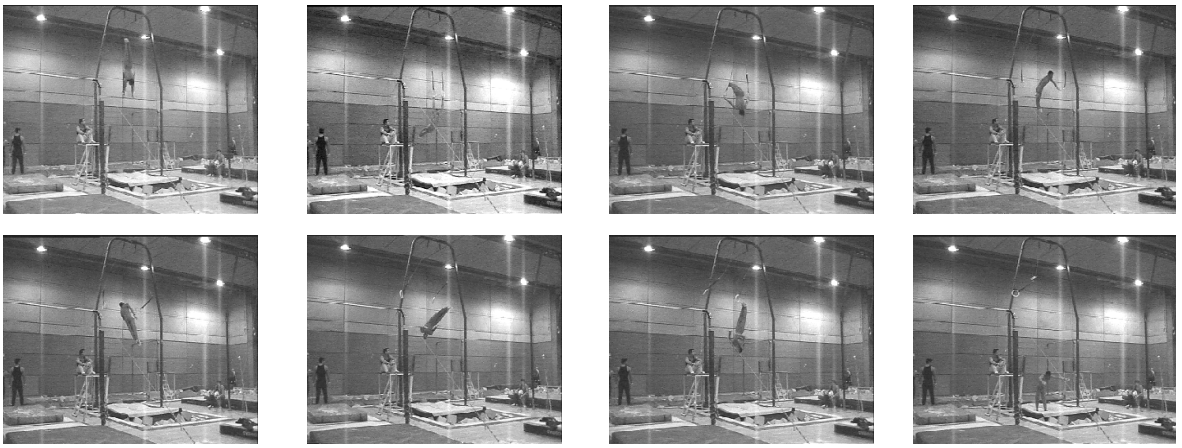
·El apoyo en las anillas determina el giro y también la altura.

Este análisis ha sido realizado siguiendo dos puntos de vista. Uno el de la ejecución técnica y otro el de la búsqueda de la altura máxima, ya que con mayor tiempo de vuelo aseguramos el elemento y nos posibilita intentar algo más difícil, al fin y al cabo la gimnasia se renueva rápidamente en busca del más difícil todavía.

Descripción del elemento



Se trata de un doble mortal atrás con pirueta de salida de las anillas. Este es un elemento de dificultad D.



·La puntuación del juez dependerá de:

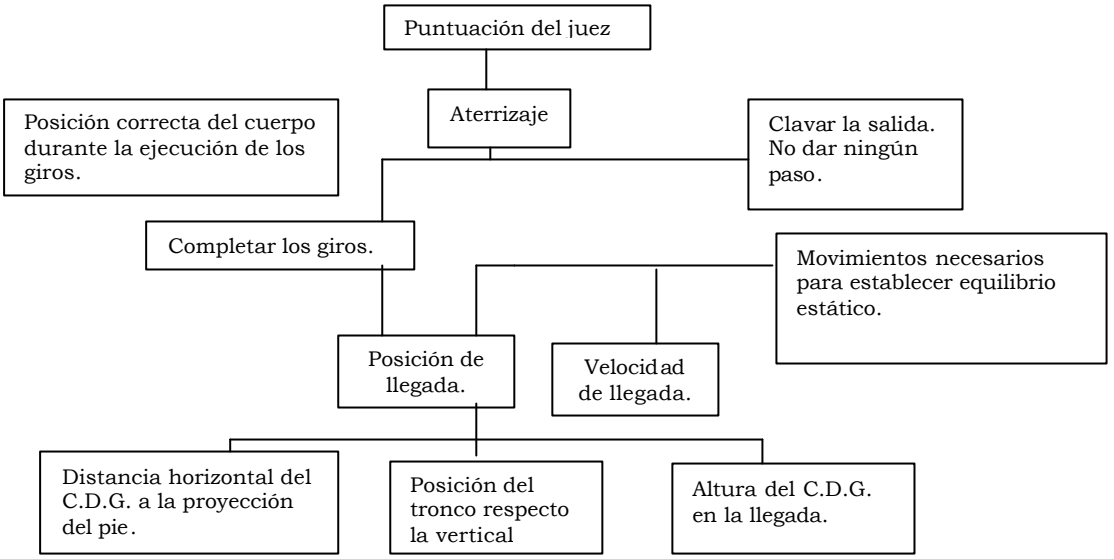


Figura II

Material y métodos

Protocolo experimental:

La técnica empleada para el estudio biomecánico es fotogrametría tridimensional, utilizando dos camáras y la técnica del *Direct Linear Transformation* (DLT), creada por Abdel Aziz y Karara(1971)[10].

1. Filmación. Se colocan dos cámaras de forma que el ángulo entre sus ejes ópticos sea aproximadamente 90º. Se filma primeramente el objeto de calibración y después al gimnasta. Las cámaras utilizadas son dos Panasonic NV-MS5EG. El sistema de referencia utilizado es un cubo de 2m de lado hecho a exprofeso para este tipo de análisis.

2. Procesamiento de datos. A partir de las imágenes registradas en cinta de vídeo (formato SVHS) son capturadas desde un magnetoscopio por una tarjeta de vídeo (Matrox Intellcam) y pasadas al ordenador, donde se estima la posición de cada punto y se obtienen las coordenadas en el plano de la pantalla, gracias a un programa informático creado en el INEF de Madrid por el Dr. Enrique Navarro Cabello y cols. El proceso consta:

·Digitalización de los puntos del Objeto de Calibración, consistente a un cubo de 2x2x2 correspondientes a cada cámara. Se toman los 8 vértices del cubo de cada cámara, como puntos conocidos para la DLT.

·Digitalización del cuerpo del gimnasta durante la secuencia seleccionada, utilizando los 21 puntos del modelo de Clauser(1969)[11] ,de ambas cámaras.

·Cálculo de las coordenadas 3D de cada punto. A través del programa informático antes mencionado, el ordenador calculará las coordenadas 3D de cada marcador, de los centros de gravedad de los segmentos y del centro de gravedad total en cada imagen usando los parámetros inerciales de Clauser(1969)[11].

Características de la muestra:

1. Sujetos. Tres componentes del equipo nacional de Gimnasia Artística. AB, JC y VC.

2. Movimientos. Se analizó este gesto a petición del entrenador ya que actualmente esta salida esta siendo muy utilizada, por ser un elemento de gran dificultad bonificado por el Código de puntuación.

3. Repeticiones. Se han realizado varias filmaciones y se eligieron estas tres después de revisar la cinta en la que habían participado los 8 componentes del equipo nacional, ya que se buscaba variedad en la ejecución de salidas que han tenido una buena recepción. Este es un punto muy importante ya que cada paso que se dé después de caer al suelo es una décima de penalización.

Modelo mecánico del cuerpo:

El modelo que se adoptó es compatible con el modelo clásico de Clauser(1969)[11], modelo definido por 21 puntos y 14 segmentos. Los parametros inerciales fueron extraídos de los modelos de Zatsiorsky (1983)[12] y Clauser(1969)[11].

Tratamiento de datos:

1. Filtrado e interpolación de datos, mediante splines de quinto orden (Woltring, 1984[13]).
2. Obtención de las variables de estudio.
3. Estudio estadístico.

Resultados y discusión

Se han obtenido las siguientes tablas con los datos más relevantes de la ejecución de estos tres gimnastas.

Los tres consiguen clavar su salida, es decir, completan perfectamente los giros, la trayectoria del CDG es correcta y no dan ningún paso, sin embargo las tres salidas son muy diferentes.

Al hablar de un elemento en anillas lo primero que debemos observar es el desplazamiento de su CDG. El CDG no puede desplazarse de la vertical de las anillas, ya que provocaría un balanceo imposible de frenar en las posiciones estáticas, tan características de este aparato, y en la salida nos informan si el gimnasta ha empleado toda su velocidad en una trayectoria vertical, lo que aumenta el tiempo de vuelo, o ha perdido parte del impulso en desplazarse horizontalmente. Las gráficas 1, 2 y 3 muestran el desplazamiento del CDG.

La 1º línea empezando por arriba, indica el desplazamiento en el eje z (desplazamiento vertical), es el único en el que debería producirse desplazamiento. La 2º línea representa al eje x (desplazamiento lateral), y la última línea representa el eje y (desplazamiento horizontal).

AB se desplaza 30cm hacia delante hasta la suspensión vertical y recupera 17cm en el punto más alto. JC baja perfectamente en la vertical y se desplaza 19cm hacia atrás durante el volteo atrás antes de soltar las anillas. VC desplaza 20cm hasta la vertical recupera 10cm hasta el punto más alto de su trayectoria y adelanta otros 20cm al final de la pirueta al flexionar el tronco para la recepción del suelo.

Vamos a definir dos fases, para un mejor estudio de este elemento: 1- el molino previo, que va desde el apoyo invertido, hasta el momento que suelta las anillas; 2- los giros realizados en el aire hasta la recepción en el suelo.

En la primera fase lo más importante es conseguir la mayor velocidad de despegue para alcanzar la mayor altura y con ello tener mayor tiempo de vuelo. Una de nuestras hipótesis era que la máxima velocidad en la punta del pie al lanzar la patada del molino previo, será el factor que determine la velocidad de despegue y por tanto la altura máxima alcanzada. Por los datos obtenidos se comprueba que hay una correlación muy alto entre estos dos factores, así VC es el que alcanza la mayor velocidad en la punta del pie y su CDG alcanza la mayor altura.

En un molino se produce una transmisión del impulso a través del cuerpo formado por tres seg-

	Tiempo entre pico Hombro (Hb) y pico Cadera (Cd)	Tiempo entre pico Cd y pico punta del pie (Pp)	Velocidad (Ve) Máxima del pie	Angulo Tronco-vertical en máxima Ve del Pp.	Angulo tronco-pierna en máxima Ve del Pp.	Ti entre pico del pie y 2ºpico del hombro
AB	0,22 sg	0,1 sg	18,18 m/s	0º	0º	0,17 sg
JC	0,09 sg	0,27 sg	19,64 m/s	24º	38º	0,29 sg
VC	0,04 sg	0,26 sg	21,68 m/s	24º	34º	0,34 sg

Figura III

	Tiempo suelta anilla dcha. (T1)	Angulos Tronco-Brazo y Tronco-Pierna en T1	Tiempo suelta anilla izq. (T2)	Distancia en vertical entre Hombro y Mano en T2	Máxima altura del CDG.
AB	1,24 sg	35º / 26º	1,38 sg	11,3 cm	3.057 m
JC	1,62 sg	42º / 28º	1,72 sg	34,4 cm	3,098 m
VC	1,45 sg	96º / 30º	1,53 sg	37,3 cm	3,175 m

Figura IV

mentos brazos, tronco y piernas. La velocidad lineal estará aplicada en el extremo distal de cada segmento es decir en el hombro, la cadera y la punta del pie durante la ejecución de un molino. Sabemos que si queremos realizar una patada con una velocidad máxima en su extremo distal debemos frenar primero los segmentos más proximales, es decir primero el hombro, después la cadera y así en el momento de la patada obtendremos en el segmento más distal (el pie) la máxima velocidad. Ya que el radio en este caso no lo variamos y la masa es constante este aumento de la velocidad lineal se traduce en un aumento de la velocidad angular por la formula w=v/r.

Con los datos obtenidos vemos que AB no realiza una buena transmisión en la cadena cinética tarda mucho en frenar la cadera y le provoca una anticipación en la consecución de la máxima velocidad de la punta del pie.

Como se puede apreciar AB va muy adelantado al no realizar una buena transmisión de la velocidad lineal, y eso va en detrimento de la velocidad angular. Las fuerzas producidas por las anillas son descritas por M. A. Nissinen, en su articulo «Kinematic and Kinetic Analysis of the Giant Swing on Rings», demuestra que las fuerzas de reacción que se producen en las anillas son de 6,5 a 9,2 veces el peso corporal, si estás se producen descoordinadamente no sólo dificultan la acción del gimnasta, también puede producirle una grave lesión.

AB adelanta sus acciones con respecto a sus dos compañeros y podemos adelantar que no suelta las anillas en una posición adecuada. Suelta la anilla derecha muy pronto y se supone que esta se empuja hacia abajo para aumentar la velocidad de despegue. AB tiene un ángulo Tronco-brazo de 35º, ángulo en el que los músculos flexores del hombro que están actuando en esa acción no están en una posición óptima, por eso podemos decir que el momento de la suelta de AB no es buena, se adelanta cuando debería esperar a estar en una posición que favoreciera el poder empujar las anillas. JC también suelta la anilla derecha demasiado pronto.

Una vez soltada la anilla derecha, los gimnastas pasan todo el apoyo a la anilla izquierda, para terminar de empujar hacia abajo y adentro iniciando la pirueta (por el principio de acción y reacción) al lado contrario al que se empuja la anilla, por eso sueltan primero la derecha, todos giran hacia el lado izquierdo.

AB, continuando sus acciones adelantadas, suelta la anilla izquierda apenas pasan los hombros por encima del apoyo, tan sólo 11,3 cm separan el hombro del apoyo verticalmente. JC y VC están muy verticales a la hora de soltar la segunda anilla, con el hombro a 34,4 y 37,3 cm respectivamente.

Estas acciones sobre las anillas, unidas a la velocidad de despegue que han obtenida en el molino previo, darán la altura máxima y la velocidad de rotación definitiva que se conservará hasta la llegada al suelo. La velocidad angular debe ser máxima ya que este debe ser suficiente para realizar dos giros en el eje transversal con el cuerpo extendido y uno en el eje longitudinal.

El doble mortal se cuenta desde el paso por la suspensión, así que prácticamente el primer mortal atrás se realiza en apoyo de las anillas. Es importante que una vez que los hombros pasan por enci-

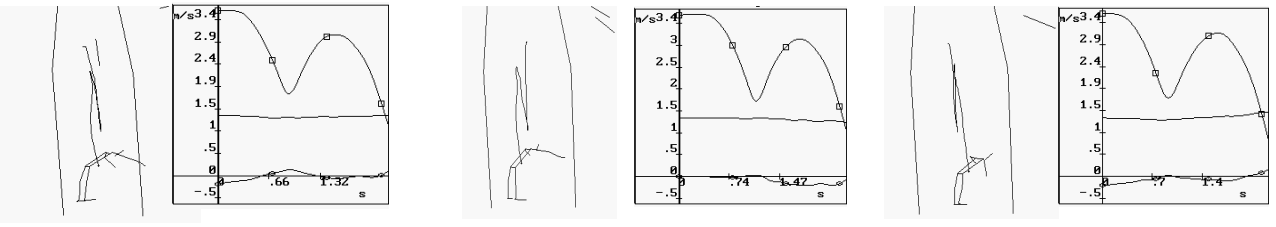


Figura V

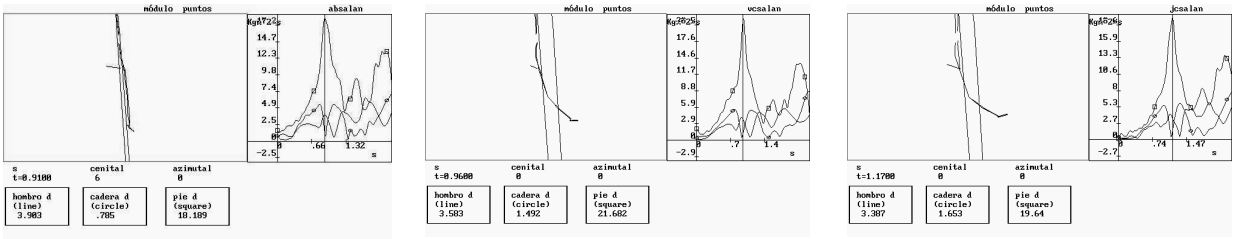


Figura VI

Estas gráficas corresponden, por orden a AB, JC y VC. Marcan la máxima velocidad del pie y el momento en que se produce.

ma del apoyo se empujen las anillas hacia abajo para aumentar la velocidad que se pierde por acción de la gravedad. Así mismo, todos los gimnastas inician la pirueta soltando una anilla y empujando la otra al lado contrario del que quieren girar.

La posición en el punto más alto de la 2º fase marca las diferencias técnicas en la ejecución de estos giros.

AB no termina siquiera el primer mortal en la fase de ascenso, ya que ha soltado las anillas muy pronto y con poca velocidad de despegue. VC es el que sale con mayor velocidad, suelta las anillas más tarde y alcanza la mayor altura, sin embargo empuja la anilla derecha completamente hacia fuera y no hacia abajo, por lo que no gana altura con ese apoyo sino que se desplaza hacia atrás, lo que le obliga a carparse y por ello realiza los giros en una posición inadecuada técnicamente que puede ser penalizable.

AB también carpa el tronco, pero por una razón distinta. Al tener menos altura y velocidad se ve obligado a girar por flexo-extensión, lo que se suele llamar giro del gato. Esto técnicamente tampoco es correcto ya que se trata de un doble en plancha y por eso tiene esa dificultad. Si no se realiza el giro en completa extensión es penalizado e incluso puede perder su dificultad.

El único que realiza los giros en completa extensión es JC, aunque a él, se le podría decir que aumente la velocidad de la patada y suelte más tarde la anilla derecha.

Conclusiones

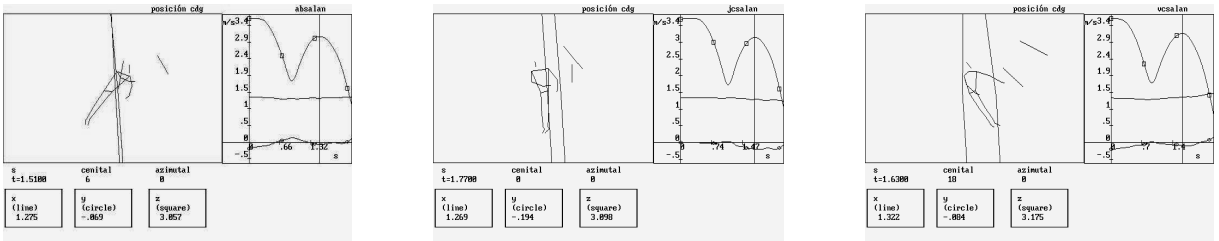
·Parece que la velocidad máxima de la punta del pie, es un factor decisivo en la consecución de una altura y velocidad máxima en el despegue. Para ello es necesario una buena técnica de molinos en anillas.

·La dirección y el momento de soltar las anillas es fundamental, todavía no podemos asegurar a ciencia cierto cuál es el momento óptimo ya que la muestra es muy escasa, sin embargo si podemos conjeturar que hay que empujarlas hacia abajo y adentro como JC y más tarde como VC.

·A raíz de este análisis AB a mejorado su técnica en la salida ya que el problema de la descoordinación en el molino previo se ha podido solventar al conocer el problema, sin embargo el tiempo de suelta tanto de AB, como de VC no se ha cambiado, ya que como suele pasar es más difícil reaprender que aprender desde 0 y estando a las puertas de las primeras Olimpíadas a las que van a participar no se pueden arriesgar a cambiar una técnica que ya tienen tan asimilada.

Bibliografía

1. **Geiblinger,-H;Morrison,-W.-E; McLaughlin,-P.-A.** *Landing characteristics of double back somersaults on the floor.* In, Bauer, T. (ed.), XIII International symposium for biomechanics in sport: proceedings. Lakehead University, Thunder Bay, Ont., Lakehead University, c1996, p. 137-141.
2. **Geiblinger,-H;Morrison,-W.-E; McLaughlin,-P.-A.** *Take-off characteristics of double back somersaults on the floor.* In, Bauer, T. (ed.), XIII International symposium for biomechanics in sport: proceedings. Lakehead University, Thunder Bay, Ont., Lakehead University, c1996, p. 142-146.
3. **Yeadon,-M.-R** Twisting techniques used in dismounts from the rings. Journal-of-applied-biomechanics-(Champaign, Ill.) 10(2), May 1994, 178-188 Refs: 17.
4. **Nissinen,-M.** *Analysis of reaction forces in gymnastics on the rings.* XVth Congress of the International Society of Biomechanics, July 2-6, 1995, Jyvaskyla: book of abstracts, Jyvaskyla, University of Jyvaskyla, 1995, p. 680-681.
5. **Chandler, R.F., Clauser, C.E. y McConville, H.M.** *Investigation of inertial properties of the human body*. NTIS, Springfield, (1975).
6. **Dapena, J.** ***A*** *method to determine the angular momentum of a human body about three orthogonal axes passing through its center of gravity*. J.Biomech, (1978), 11(5), 251-256.
7. **Gervais, P.** *Analysis and assessment of the double back salto dismount from the parallel bars as*



Las gráficas corresponden al punto más alto del CDG de AB, JC y VC.

performed by Canadian gymnasts. Applied sport research program, sport Canada, (1996), 27.

8. **Tihonov, V.N.** *Determination of moments of inertia of the arms and legs on the relative axis of the proximal joint*. Yessis review, (1973), 9(2), 55.
9. **Yeadon, M.R.** *The simulation of aerial movement I. The determination of orientation angles from film data*. Journal of biomechanics (1990), 23(1), 59-66.
10. **Abdel-Aziz, Y.I. Karara, H.M.** *Direct linear transformation from comparator coodinates into object space coordinates in close range photogrammetry*. En ASP Symposium on close range photogrammetry (1971), editado por American society of photogrammetry, ASP, Falls Church, 1-18.
11. **Clauser, C.E., McConville, J.T. y Young, J.W.** *Weight, volume, and center of mass of segments of the human body*. NTIS, Springfield, (1969).
12. **Zatsiorski** (1983). *The mass and inertia characteristics of the main segments of the human body*. En Biomechanics VIII-B (Editado por Matsui, H y Kobayashi, K), Human Kinetics Publishers, Champaign, 1152-1159.
13. **Woltring, H.J.** (1984). *On methodology in the study of human movement*. En Human motor actions, (Editado por Whiting, H.T.A.), Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 35-73.