

Biomecánica de la técnica de lanzamiento de disco. Influencia de la trayectoria del disco en la velocidad de liberación.

Biomechanics of discus throw technique. The influence of the discus path on the velocity of release.

Floría Martín, Pablo

Departamento de Expresión Musical, Plástica y Corporal.
Facultad de Ciencias de la Salud y el Deporte. Universidad de Zaragoza

Ferro Sánchez, Amelia

Departamento de Educación Física, Deporte y Motricidad Humana.
Facultad de Formación de Profesorado y Educación. Universidad Autónoma de Madrid

Resumen

El objetivo del estudio fue analizar la influencia de la trayectoria del disco, durante las dos últimas fases del lanzamiento, en su velocidad de liberación. Se analizaron 25 lanzamientos pertenecientes a 8 hombres y 5 mujeres, seleccionados por la Real Federación Española de Atletismo, que participaron en 5 competiciones. Se realizó un análisis cinemático tridimensional utilizando cámaras de cine de alta velocidad (100Hz). Las imágenes y los datos se trataron utilizando *Fotogram-IBV* y las variables biomecánicas de eficacia de la técnica se obtuvieron mediante la rutina de cálculo *Biodisc®*. Para estudiar las asociaciones entre variables se aplicó el coeficiente de correlación de *Pearson*. Las variables *altura máxima del disco* (DISCOMax) e *incremento de la altura entre la mínima y la de liberación* ($\Delta h_{DISCOmin-DISCOlib}$) guardan correlación significativa con la *velocidad vertical del disco en el momento de la liberación* (VvDISCOlib) mientras que la *altura mínima del disco* (hDISCOmin) fue significativa para mujeres y la *altura en el instante de liberación* (hDISCOlib) lo fue para hombres, sugiriendo diferente estrategia para la consecución de la altura del disco necesaria para el vuelo. El *ángulo del hombro derecho* (θ_{HOMBd}) se halló relacionado con hDISCOMax, hDISCOmin y hDISCOlib mientras que el *ángulo de la rodilla derecha* (θ_{RODd}) se relacionó con un descenso del disco, necesario en mujeres, para aumentar el recorrido de aceleración. Por otro lado, ciertos aspectos técnicos utilizados por los entrenadores para la enseñanza y corrección de la técnica de sus atletas tienen una evidencia científica, por lo que se aconseja sean observados sistemáticamente.

Abstract

The propose of this study was to analyze the influence of discus path on its release velocity during the last two phases of throwing event. There were analyzed 25 throws of 8 men and 5 women, selected by the Royal Spanish Athletics Federation, who participated in 5 competitions. There was made a 3D kinematic analysis using high velocity cinematographic cameras (100Hz). The images and data were treated using *Fotogram-IBV* software and the biomechanics variables were obtain using *Biodisc®* calculus routine. In order to study the association between variables *Pearson* correlation coefficient was applied. The variables maximum discus height (hDISCOMax) and the difference of height between the maximum value and in the release ($\Delta h_{DISCOmin-DISCOlib}$) were significant with the vertical discus velocity at release (VvDISCOlib). The minimum discus height (hDISCOmin) was significant with VvDISCOlib for women and discus height at release (hDISCOlib) was significant for men, suggesting a different strategy for getting the necessary height for the discus flight. The right shoulder angle (θ_{HOMBd}) was correlated with hDISCOMax, hDISCOmin and hDISCOlib, while right knee angle (θ_{RODd}) was correlated with the decrease of the discus height, necessary for women, to increase the discus acceleration path. On the other hand, some technical advices that the trainers give to athletes have scientific proof and there are recommended to be systematically observed.

Palabras clave: biomecánica, cinemática, lanzamiento de disco, pruebas de atletismo, alto rendimiento, fotogrametría.

Key Words: biomechanics, kinematics, discus throw, track and field, high performance, photogrammetry.

Correspondencia/correspondence: Dra. Amelia Ferro Sánchez
Facultad de Formación de Profesorado y Educación. Despacho III-314. Universidad Autónoma de Madrid.
C/ Francisco Tomás y Valiente, 3 - 28049. Madrid
E-mail: amelia.ferro@uam.es

Introducción

La prueba de lanzamiento de disco es una de las especialidades atléticas englobada dentro de los concursos de lanzamientos junto con las pruebas de peso, jabalina y martillo. El lanzamiento de disco consiste en el intento, por parte del atleta, de lanzar un disco estandarizado desde el interior del círculo de lanzamiento, de un metro de radio, a la mayor distancia posible. En dicho concurso se ejecutan complicados movimientos a una alta velocidad con una limitación del espacio, lo que hace que esta especialidad posea unas altas demandas físicas y técnicas (Bartlett, 1992; Hay y Yu, 1995; Yu y cols., 2002).

La técnica¹ actualmente empleada por los lanzadores de disco consiste en iniciar el movimiento en una posición de espaldas a la dirección de lanzamiento y realizar uno o varios balanceos preliminares que finalizan con el disco por detrás del cuerpo a la altura de los hombros. Posteriormente, el atleta realiza una acción de pivote hacia la izquierda sobre los metatarsos del pie izquierdo que finalizan con un paso o salto, impulsando con ese mismo pie, para caer sobre el pie derecho cerca del centro del círculo. Seguidamente, se restablece el doble apoyo buscando con el pie izquierdo la dirección de la frontal del círculo para realizar un movimiento final explosivo de lanzamiento dirigiendo el disco al frente con un ángulo determinado y, una vez liberado este, prevenir el nulo recobrando los pies (Hay y Yu, 1995).

Debido a la complejidad de movimientos, en los análisis biomecánicos del lanzamiento del disco se utiliza habitualmente una división en cinco fases delimitadas por los distintos apoyos de los pies, lo que facilita su estudio (Knicker, 1992; Dapena, 1993; Tidow, 1994; Hay y Yu, 1995; Dapena y Anderst, 1997; Dapena y cols., 1997; Knowles, 1997; Ferro y cols., 1999; Knicker, 1999; Yu y cols., 2002). Las denominaciones y definiciones de cada una de las fases son las siguientes (figuras 1a y 1b):

➤ Fase 1. *Fase de Primer Apoyo Doble (FPAD)*: Intervalo de tiempo que transcurre desde el instante en el que el disco alcanza su punto más atrasado, después del balanceo previo y da comienzo el movimiento en sentido contrario a las agujas del reloj, hasta el instante de despegue del pie derecho.

➤ Fase 2. *Fase de Primer Apoyo Simple (FPAS)*: Intervalo de tiempo que transcurre desde el instante siguiente al de despegue del pie derecho hasta el instante de despegue del pie izquierdo.

➤ Fase 3. *Fase de Vuelo (FV)*: Intervalo de tiempo en que ningún pie del lanzador está en contacto con el suelo y transcurre desde el instante siguiente al de despegue del pie izquierdo hasta el instante de contacto del pie derecho.

➤ Fase 4. *Fase de Segundo Apoyo Simple (FSAS)*: Intervalo de tiempo que transcurre desde el instante siguiente al de apoyo del pie derecho después del vuelo, hasta el instante de apoyo del pie izquierdo.

¹ En este artículo, siempre se hará referencia a un lanzador diestro, de forma que *brazo derecho* será el *brazo ejecutor*, salvo que se indique lo contrario. Asimismo, los movimientos *hacia delante* se identificarán como aquellos que se dirigen hacia la frontal del círculo de lanzamiento.

➤ **Fase 5. Fase de Segundo Apoyo Doble (FSAD):** Intervalo de tiempo que transcurre desde el instante siguiente al de apoyo del pie izquierdo hasta el instante en que el disco pierde contacto con la mano del lanzador.

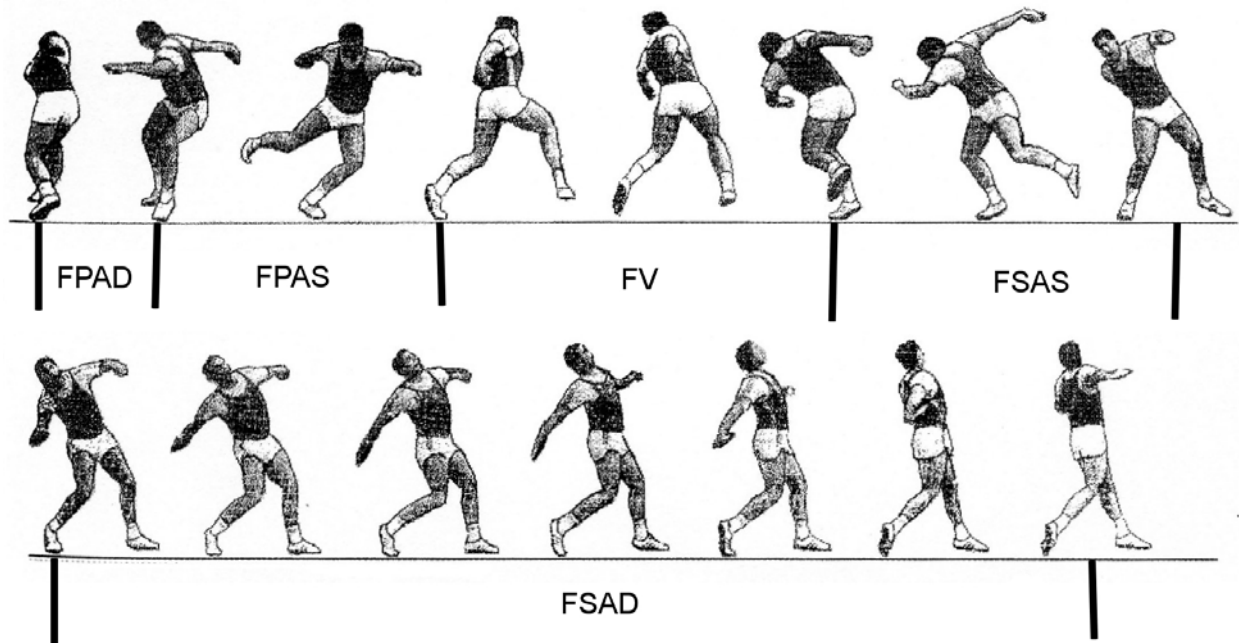


Figura 1a. Secuenciación del lanzamiento de disco. Se han marcado la *Fase de Primer Apoyo Doble (FPAD)*, *Fase de Primer Apoyo Simple (FPAS)*, *Fase de Vuelo (FV)*, *Fase de Segundo Apoyo Simple (FSAS)* y la *Fase de Segundo Apoyo Doble (FSAD)* (Adaptado de Bidault, 1998).



Figura 1b. Secuenciación del lanzamiento de disco: Instante de inicio del movimiento (a), despegue pie derecho (b), despegue pie izquierdo (c), apoyo pie derecho (d), apoyo pie izquierdo (e) y liberación (f).

La variable más determinante de la distancia de lanzamiento es, sin duda, la velocidad de liberación del disco (Bartlett, 1992; Hay y Yu, 1995; Ferro y cols., 2004). Con el objetivo de incrementar esta velocidad, el lanzador ejecuta una serie de movimientos muy variados; entre ellos, los técnicos deportivos destacan como aspecto técnico importante el alargar el recorrido del disco para proporcionar un óptimo recorrido de aceleración y, consecuentemente, incrementar su velocidad de liberación (Silvester, 2003). Para ello, el lanzador intentará aumentar el recorrido del disco en ambos planos; en el horizontal, llevando el disco alejado de sí con lo que aumenta el radio de giro y, en el sagital, elevándolo, descendéndolo y finalmente volviéndolo a ascender hasta el instante de liberación (Susanka y cols., 1988; Silvester, 2003).

La trayectoria del disco a lo largo del gesto técnico ha sido descrita por numerosos autores (Tidow, 1994; Susanka y cols., 1998; Silvester, 2003). Las conclusiones más relevantes se resumen a continuación.

El lanzador inicia el gesto situado de espaldas, en la parte posterior del círculo de lanzamiento, y con una torsión amplia entre el eje de caderas y el eje de hombros. En esta postura, el disco se encuentra a una altura cercana a la de los hombros. Posteriormente, se inicia la *Fase de Primer Apoyo Doble*; en la que el lanzador realiza una acción de giro hacia la izquierda, describiendo con el disco una trayectoria curvilínea en el mismo sentido y ligeramente descendente.

El lanzador, en la *Fase de Primer Apoyo Simple*, alza el pie derecho, pivota sobre el pie izquierdo y balancea el miembro inferior derecho hacia la izquierda en dirección a la frontal del círculo. En esta fase, el disco continúa descendiendo su altura alcanzando por primera vez una posición baja. En la técnica del lanzamiento de disco, cuando se encuentra en el lado opuesto al de liberación, su altura es “baja”; por el contrario, cuando se encuentra en el mismo lado de la liberación, la altura es “alta”.

En la *Fase de Vuelo*, el lanzador realiza un salto desde el pie izquierdo hacia la frontal del círculo finalizando cuando el pie derecho apoya cerca del centro del círculo. En esta fase el disco viaja en la misma dirección que el lanzador describiendo una trayectoria hacia delante y ligeramente ascendente desde una posición relativamente baja (lograda en la fase anterior) hacia una posición más alta, que ocurrirá instantes después del apoyo del pie derecho.

En la *Fase de Segundo Apoyo Simple*, el lanzador pivota sobre su pie derecho girando hacia la izquierda. En esta fase, el disco describe una trayectoria inclinada ascendente llegando a una altura situada al mismo nivel de la cabeza que corresponderá al punto más alto de toda la trayectoria del disco a lo largo del gesto técnico. Una vez lograda esta altura máxima comenzará a descender.

El lanzador, en la *Fase de Segundo Apoyo Doble*, restablece el doble apoyo y ejecuta un movimiento explosivo de extensión del miembro superior derecho que finalizará liberando el disco a la máxima velocidad posible. En esta fase, el disco, en primera instancia, desciende alcanzado el punto más bajo de su trayectoria para luego ascender hasta el instante de liberación.

Aunque son muchas las referencias bibliográficas encontradas donde se describe cualitativamente la trayectoria del disco, sorprendentemente son escasas las investigaciones donde se estudie en profundidad y con datos cuantitativos su comportamiento. Además, la mayoría de estos estudios proporcionan únicamente valores de la altura de liberación del disco.

Susanka y cols. (1988) realizaron un estudio biomecánico descriptivo con motivo de la celebración del Campeonato del Mundo de Roma'87. Se trató de un análisis cinemático de los atletas finalistas de la prueba de lanzamiento de disco utilizando fotogrametría tridimensional de alta velocidad (200Hz) (tabla I). Los autores encontraron que la máxima altura alcanzada por el disco correspondía

a 1.42 SD 0.17 m en categoría masculina y a 1.29 SD 0.17 m en categoría femenina. Instantes después de alcanzar la altura máxima, los lanzadores descendían el disco a una altura de 0.87 SD 0.13 m, mientras que las lanzadoras lo hacían a 0.77 SD 0.11 m. Finalmente, los lanzadores liberaban el disco a una altura de 1.42 SD 0.17 m mientras que las lanzadoras lo hacían a una altura de 1.29 SD 0.17 m.

Un estudio comparativo de las trayectorias descritas por el disco entre lanzadores de categoría absoluta y categoría júnior fue realizado por Silvester y McCoy (1995) utilizando fotogrametría tridimensional (60Hz) (tabla I). Los resultados indicaron que durante la *Fase de Segundo Apoyo Simple* los atletas absolutos ascendían el disco a una altura correspondiente al 80.4% de su estatura, mientras que los atletas de categoría júnior lo ascendían al 75.5%. Del mismo modo, durante la *Fase de Segundo Apoyo Simple* los atletas de categoría absoluta descendían el disco a una altura correspondiente al 41.6% de su estatura, mientras que los atletas de categoría júnior lo descendían al 48.1%. Los autores concluyeron el estudio sugiriendo que la menor altura alcanzada por los lanzadores absolutos podría permitir usar los músculos de los miembros inferiores con una mayor eficacia en la aplicación de la fuerza, cuando empujan el disco hacia la posición de liberación en la fase ascendente. Del mismo modo, los autores recalcaron la necesidad de conseguir establecer una gran diferencia entre la altura mínima y la de liberación para incrementar la distancia de aceleración y, consecuentemente, facilitar el aumento de la velocidad del disco.

La altura de liberación del disco ha sido la variable de posición más estudiada en la literatura debido a la influencia que tiene sobre la distancia de lanzamiento (tabla I). En diferentes estudios se concluye indicando que la altura de liberación debería ser la máxima posible y que un incremento en dicha altura debería siempre dar como resultado una mayor distancia de lanzamiento. Pero ésta deberá aumentar sin perjuicio de las otras variables de liberación: velocidad resultante de liberación y ángulo del vector velocidad (Bartlett, 1992). Está generalmente aceptado que la altura de liberación del disco se debe situar cercana o por encima de la altura de los hombros (Barclay, 1993). Descensos en esa altura se ha relacionado con una posición baja de la extremidad superior debido principalmente a una flexión lateral del tronco o a una reducida abducción de la extremidad superior (Gregor y cols., 1985; McCoy y cols., 1985; Bartlett, 1992; Knowles, 1997). Ascensos en dicha altura se ha relacionado con la elevación de las extremidades inferiores (Dunn, 1969; Powell, 1975).

Tabla I. Resumen de estudios cinemáticos seleccionados de la bibliografía: autores, muestra de sujetos, competiciones analizadas, metodología empleada y datos de la variable *altura de liberación*.

Autores	Número de sujetos	n	Sexo	Competición	Metodología y técnica instrumental	Altura de liberación (m)
Terauds, 1978	9	10	♂	Encuentro USA vs. URSS, Durhan 1974	Análisis cinemático. Fotogrametría bidimensional	1.67 SD 0.29
Gregor y cols., 1985	3	9	♂	Juegos Olímpicos, Los Angeles'84	Análisis cinemático. Fotogrametría tridimensional (120Hz)	1.73 SD 0.14
	3	9	♀			1.48 SD 0.17
McCoy y cols., 1985	4	46	♂	Entrenamiento en mayo de 1982; y TAC National Championships en 1983	Análisis cinemático. Fotogrametría tridimensional	1.90 SD 0.25
	3	21	♀			1.51 SD 0.12
Stepanek, 1986	2	2	♂	Campeonato del Mundo Júnior de Atletismo, Atenas'86	Análisis cinemático. Fotogrametría tridimensional	1.65 SD 0.01
	2	2	♀			1.55 SD 0.03
Susanka y cols., 1988	8	8	♂	Campeonato del Mundo de Atletismo, Roma'87	Análisis cinemático. Fotogrametría tridimensional (200Hz)	1.42 SD 0.17
	8	10	♀			1.29 SD 0.17
Knicker, 1994a, 1994b	8	23	♂	Campeonato del Mundo de Atletismo, Stuttgart'93	Análisis cinemático. Fotogrametría tridimensional (50Hz)	1.8 SD 0.2
	8	21	♀			1.6 SD 0.1
Hay y Yu, 1995	14	14	♂	1990 US Olympic Festival en Minneapolis	Análisis cinemático. Fotogrametría tridimensional (60Hz)	1.65 SD 0.17
	15	15	♀	1990 Goodwill Games en Seattle		1.51 SD 0.17
Silvester y McCoy, 1995		9	J♂	Concentración Selección Nacional	Análisis cinemático. Fotogrametría tridimensional (60Hz)	1.59 SD 0.17
		17	A♂	Competiciones Nacionales e Internacionales		1.73 SD 0.14
Dapena y Anderst, 1997	24	26	♂	1996 UC San Diego Open 1994 Campeonato USATF	Análisis cinemático. Fotogrametría tridimensional (50Hz)	1.71 SD 0.11
Dapena y cols., 1997	17	17	♀	1996 UC San Diego Open 1994 Campeonato USATF 1994 National Invitational en Indianápolis	Análisis cinemático. Fotogrametría tridimensional (50Hz)	1.57 SD 0.15

^a Los datos cinemáticos de los atletas finalistas del Campeonato del Mundo de Atletismo Stuttgart'93 se añadieron a la base de datos del Instituto para el Atletismo y la Gimnasia de la Universidad del Deporte Alemán de Colonia. Estos incrementaron el número de lanzamientos analizados a 260 con una relación entre mujeres y hombres de 58/202. Las distancias se encontraban entre un rango de 37.22 a 68.94m.

J: categoría júnior. A: categoría absoluta.

El propósito del presente estudio fue analizar la trayectoria del disco, a lo largo de las dos últimas fases del gesto, en un grupo de lanzadores y lanzadoras seleccionados por la Real Federación Española de Atletismo (RFEA) durante cuatro Campeonatos de España y una Copa de Europa, con objeto de examinar su influencia en la velocidad vertical de liberación. En el estudio se examinaron los aspectos técnicos del gesto asociados al modelo de trayectoria descrito por otros autores en la literatura, analizando la relación entre la altura del disco en diferentes instantes, altura máxima ($hDISCO_{max}$), altura mínima ($hDISCO_{min}$) y altura de liberación ($hDISCO_{lib}$), con la componente vertical de la velocidad de liberación del disco ($VvDISCO_{lib}$) y con el patrón articular del hombro derecho (Θ_{HOMBd}) y rodilla derecha (Θ_{RODd}).

Así mismo, se analizó si la terminología e instrucciones utilizadas por los técnicos deportivos para entrenar a sus atletas con relación a la trayectoria que el disco debería describir, tienen fundamento científico o son fruto de observaciones sistemáticas y de la experiencia, sin que se haya comprobado su soporte científico.

Material y métodos

Muestra

La muestra objeto de estudio estuvo formada por 8 hombres y 5 mujeres, atletas seleccionados por RFEA. La edad media de los participantes a lo largo de las competiciones filmadas fue de 23.8 SD 4.1 años en categoría masculina y de 29.1 SD 4.3 años en categoría femenina. Todos ellos fueron lanzadores de disco de categoría nacional y fueron seleccionados para el estudio por su buen rendimiento deportivo habiendo participado al menos una vez en algún Campeonato de España de Atletismo en categoría absoluta. El grupo de sujetos fue homogéneo en cuanto a que fueron dirigidos por el mismo responsable técnico perteneciente a la RFEA durante los años en las que se filmaron las competiciones.

Se eligió filmar los lanzamientos realizados en diferentes Campeonatos de España de Atletismo por considerarse la competición más importante a nivel nacional de cada temporada. De igual modo, se filmó la Copa de Europa de 1996 celebrada en Madrid. Con la elección de estas competiciones se aseguraba que el estado de forma y la motivación de los atletas seleccionados, debería de ser óptima.

Se analizaron 13 lanzamientos de categoría masculina con unas distancias que oscilaron entre 47.52m y 62.00m y 12 lanzamientos de categoría femenina con unas distancias comprendidas entre 47.14m y 54.32m. La relevancia de la muestra se debió tanto a la calidad de los atletas analizados como al tipo de lanzamiento dado que todos fueron registrados en competiciones oficiales. Los lanzamientos analizados en los diferentes campeonatos se recogen en las tablas II y III.

Tabla II. Lanzamientos analizados en categoría masculina.

Campeonato	Categoría	Sujeto	Distancia Oficial (m)
LXXV Campeonato de España de Atletismo de 1995	Masculina	Abraham Delgado	52.58
		Carlos Esparza	51.76
LXXVI Campeonato de España de Atletismo de 1996	Masculina	David Martínez	62.00
		Carlos Esparza	55.02
		Abraham Delgado	53.42
		José Luis Valencia	53.34
		David Miqueleiz	51.90
		Enrique Fernández	49.82
		José Amat	49.48
		Mario Pestano	47.52
LXXVII Campeonato de España de Atletismo de 1997	Masculina	Carlos Esparza	51.78
		José Amat	51.20
LXXVIII Campeonato de España de Atletismo de 1998	Masculina	Mario Pestano	53.42

Tabla III. Lanzamientos analizados en categoría femenina.

Campeonato	Categoría	Sujeto	Distancia Oficial (m)
LXXV Campeonato de España de Atletismo de 1995	Femenina	Ángeles Barreiro	53.58
		Sonia Godall	52.02
Copa de Europa SPAR · Súper Liga de 1996	Femenina	Ángeles Barreiro	51.10
LXXVI Campeonato de España de Atletismo de 1996	Femenina	Ángeles Barreiro	53.52
		Rita Lora	52.84
		Sonia Godall	52.38
		Carmen Sole	47.14
LXXVII Campeonato de España de Atletismo de 1997	Femenina	Rita Lora	54.24
		Ángeles Barreiro	53.78
LXXVIII Campeonato de España de Atletismo de 1998	Femenina	Carmen Solé	54.32
		Ángeles Barreiro	51.43
		Margarita Ramos	50.88

Material

Para el registro y análisis de los datos se utilizaron técnicas de fotogrametría cine tridimensional compuesta de los siguientes elementos:

- Dos cámaras de cine de 16 mm de alta velocidad *Photosonic-IPL* dotadas de sistema de sincronismo.
- Sistema de referencia cúbico de 2x2x2 m (IBV) para calibrar el espacio.
- Sistema de referencia secundario formado por dos pivotes visibles durante toda la filmación.
- Dos lectoras de film *Kodak*.
- Mesa digitalizadora-IBV de dimensiones de 75x130cm con un sistema de cinco espejos para reflejar la imagen mediante ángulos de 45° hasta su proyección en una pantalla traslúcida. La mesa alberga:
 - Proyector analizador *Nac mod. DF - 16C*.
 - Digitalizador sónico *Sac- GP7 Graf/Bar Mark II*.
- Un ordenador *DELL Pentium® 3 CPU*, con impresora.
- Programa de digitalización y análisis *Fotogram-IBV v.7.6*.
- Software específico para la creación de una base de datos (*Microsoft Access 2000*), para el cálculo matemático (*Matlab v.6.5*) y para el tratamiento estadístico (*SPSS v.12.0*).

Metodología

Las cámaras se situaron fuera del círculo de lanzamiento y a unas distancias comprendidas entre 15 y 20m del círculo de lanzamiento, dependiendo de cada competición, formando un ángulo entre 60° y 120° para asegurar el análisis tridimensional. Así mismo, se tuvo en cuenta la situación de jueces y otros deportistas con el fin de evitar interferencias durante la filmación. La frecuencia de filmación seleccionada fue de 100 fotogramas por segundo. El sistema de referencia se filmó antes de las pruebas, situándose centrado en el círculo de lanzamiento y con uno de los lados orientado a la hipotética dirección anteroposterior de lanzamiento. En una planilla se anotó cada lanzamiento y cualquier otro incidente que se produjo durante la prueba.

Las películas filmadas se revelaron y copiaron en los laboratorios *Fotofilm Madrid, S.A.* En las moviolas lectoras se proyectaron los dos rollos de película, pertenecientes a los dos planos de filmación y se identificaron las secuencias, se sincronizaron y se numeraron los fotogramas a partir de un evento común. Posteriormente, las películas se proyectaron en la mesa digitalizadora para su análisis. Se seleccionaron aquellas pertenecientes a los mejores lanzamientos de cada sujeto. El proceso de análisis de las imágenes filmadas se llevó a cabo con el programa *Fotogram-IBV v. 7.6*. Se creó un modelo alámbrico de 21 puntos con las características antropométricas propuestas por De Leva (1996). Además, se definieron cinco puntos más para la digitalización, los correspondientes a las dos referencias secundarias, el punto metatarsiano de cada pie y el disco, y se calculó uno auxiliar (punto medio de caderas) (Ferro y cols., 1998; Ferro, 2001). Una vez calibrado

el espacio se procedió a la digitalización de las secuencias seleccionadas. El proceso de digitalización se limitó a las dos últimas fases del gesto, FSAS y FSAD, por lo que el primer fotograma que se digitalizó en cada lanzamiento correspondió al quinto fotograma anterior al apoyo del pie después de la Fase de Vuelo y el último fotograma digitalizado correspondió al último donde se veía el disco antes de salir fuera del encuadre de la cámara. Después de digitalizadas las películas en los dos planos, se llevó a cabo la reconstrucción tridimensional mediante el algoritmo de la *Transformación Lineal Directa* (DLT) desarrollado por Abdel-Aziz y Karara (1971). El suavizado de los datos se realizó mediante una función *spline de 5º orden* y el método de cálculo utilizado fue el *Generalized Cross Validation*, desarrollado por Woltring (1985).

Para facilitar el tratamiento y generación de resultados de todos los lanzamientos en conjunto se diseñó una base de datos con el programa *Microsoft Access*. A esta base de datos se denominó *Sistema de Información Biomecánica (SIB)*. *SIB* se estructuró en diferentes tablas vinculadas que contenían información referente al deportista, al tipo de análisis biomecánico realizado, a los datos que hacen referencia a las fases del movimiento y a datos que hacen referencia a los instantes del movimiento, entre otros.

La exportación de la matriz de datos del programa *Fotogram-IBV* a la base de datos *SIB* se realizó por medio de una hoja de cálculo diseñada para este propósito en *Microsoft Excel* con la ayuda del editor de *Visual Basic*. A esta plantilla de exportación se la denominó *SIBDisco*. El objetivo principal de *SIBDisco* era preparar los datos provenientes de *Fotogram-IBV* para que estos pudiesen ser importados de forma correcta desde *SIB*. En *SIBDisco* aparte de almacenar la matriz de datos se guardó información relevante del lanzamiento como datos del deportista, fecha del lanzamiento, distancia de lanzamiento y duración de las fases. Una vez ordenados y almacenados todos los datos de los lanzamientos analizados, se diseñó en *MatLab* rutinas de cálculo para las variables a analizar en este estudio. A esta rutina de cálculo que contiene los algoritmos de cada variable biomecánica se le denominó *BioDisc®*. Por medio de consultas en *SIB* se seleccionaron, en un orden preestablecido, los datos necesarios para que las funciones calcularan las variables biomecánicas. Estos datos se exportaron a *Biodisc®*; mediante los algoritmos se calcularon los resultados de las nuevas variables biomecánicas y éstos, a su vez, fueron importados desde *SIB* para su almacenamiento en el orden adecuado.

Variables calculadas

Variables espaciales lineales de fase

- Coordenadas (x, y) del disco a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble* y su representación gráfica.
- Coordenadas (x, z) del disco a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble* y su representación gráfica.
- Coordenada z del disco respecto al tiempo a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble* y su representación gráfica.

Variables espaciales lineales de posición

- $hDISCO_{max}$: Altura máxima alcanzada por el disco en la *Fase de Segundo Apoyo Simple* medida desde el suelo (figura 2).

- $hDISCO_{min}$: Altura mínima alcanzada por el disco en la *Fase de Segundo Apoyo Doble* medida desde el suelo (figura 2).
- $\Delta h_DISCO_{min-DISCO_{lib}}$: Diferencia de altura entre los instantes de mínimo valor en la *Fase de Segundo Apoyo Doble* y el instante de liberación.
- $hDISCO_{lib}$: Altura del disco en el instante de liberación medida desde el suelo (figura 2).

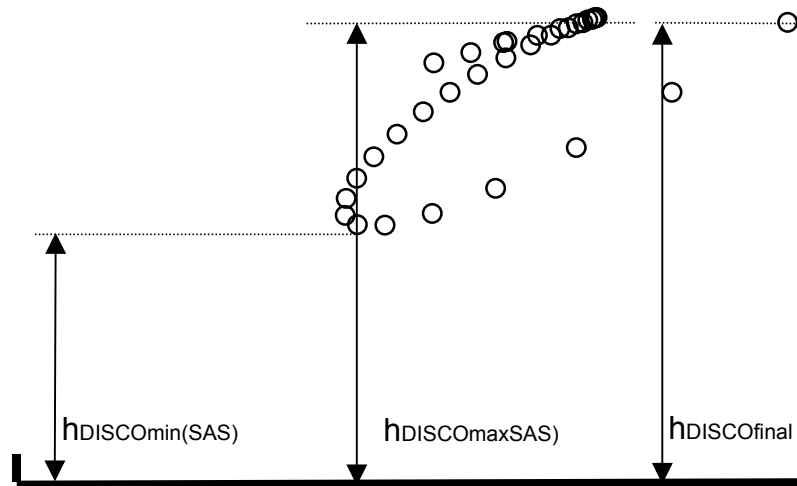


Figura 2. Variables medidas relacionadas con la altura del disco.

Variables espaciales angulares de fase

- Θ_{ROD_d} : Ángulo de rodilla del lado ejecutor (derecho) a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble*. Es el ángulo de flexión de la rodilla que está definido por la distancia angular entre la prolongación de la recta que une los marcadores cadera hacia rodilla y la recta que une los marcadores rodilla hacia tobillo. La extensión se establece en 0 grados (figura 3).

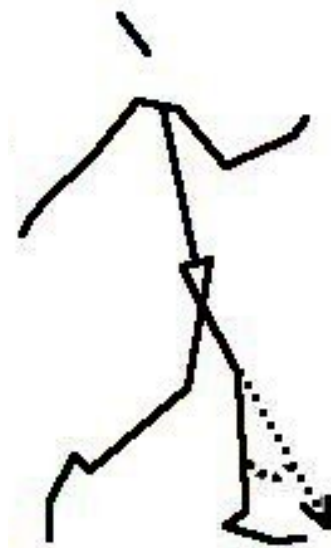


Figura 3. Convenio usado para la medida del ángulo articular de la rodilla.

➤ Θ_{HOMB_d} : Ángulo del hombro del lado ejecutor (derecho) a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble*. Es el ángulo de abducción del hombro respecto a la línea del tronco. Esta definido por la distancia angular entre la recta que une los marcadores hombro hacia codo, y la recta que une los marcadores esternón hacia punto medio de caderas (figura 4).



Figura 4. Convenio usado para la medida del ángulo articular del hombro.

Variables espaciales angulares de posición

- $\Theta_{\text{ROD}_{d(\text{hdisco_min})}}$: Ángulo de rodilla del lado ejecutor (derecho) en el instante de altura mínima del disco.
- Ángulo del hombro del lado ejecutor en los siguientes instantes:
 - $\Theta_{\text{HOMB}_{d(\text{hdisco_max})}}$: Ángulo medido en el instante de altura máxima del disco.
 - $\Theta_{\text{HOMB}_{d(\text{hdisco_min})}}$: Ángulo medido en el instante de altura mínima del disco.
 - $\Theta_{\text{HOMB}_{d(\text{lib})}}$: Ángulo medido en el instante de liberación del disco.

Variables espaciotemporales de fase

- $V_v\text{DISCO}$: Componente vertical de la velocidad resultante del disco a lo largo de las fases de *Segundo Apoyo Simple* y *Segundo Apoyo Doble*.

Variables espaciotemporales de posición

- $V_v\text{DISCO}_{\text{lib}}$: Componente vertical de la velocidad resultante del disco en el instante de liberación.

Tratamiento estadístico

Los resultados de las variables cinemáticas expuestas anteriormente se trataron utilizando el paquete estadístico *SPSS para Windows v.12.0.1*. La distribución *Gaussiana* de los datos se contrastó mediante el test de *Kolmogorov-Smirnov*.

Con el objeto de estudiar las asociaciones entre variables cinemáticas estudiadas se aplicó el *coeficiente de correlación de Pearson ponderado*.

Las representaciones gráficas se utilizaron para facilitar la comprensión de los resultados. Para cada una de las variables se diseñaron gráficas para categoría masculina y femenina. Estas gráficas se elaboraron a partir de los valores medios y desviaciones estándar de cada variable respecto al tiempo normalizado. Para ello se realizaron los siguientes pasos para cada categoría:

- Cada lanzamiento analizado se normalizó respecto al tiempo total del gesto.
- Para cada unidad de porcentaje de tiempo se obtuvo la media y la desviación estándar de todos los lanzamientos.
- Se graficaron respecto al tiempo normalizado las variables con los datos anteriores.

Para marcar los instantes de tiempo “apoyo pie derecho” (APD) y “apoyo pie izquierdo” (API) en cada gráfica se utilizó el valor medio del tiempo normalizado que correspondía a esos instantes.

Resultados

La trayectoria del disco en el plano horizontal y vertical durante las dos últimas fases se muestran en las figuras 5 y 6 respectivamente. En ellas se puede observar como a medida que transcurre el movimiento, la distancia entre los puntos fue cada vez mayor reflejando un incremento acusado de la velocidad del disco hasta el instante de liberación. Este incremento de la distancia entre puntos se hace más palpable a lo largo de la última fase tanto en categoría masculina como en femenina. Trayectorias semejantes han sido descritas por otros investigadores en la literatura (Susanka y cols., 1987; Hay y Yu, 1995a; Silvestre y McCoy, 1995; Bartonietz y cols., 1996).

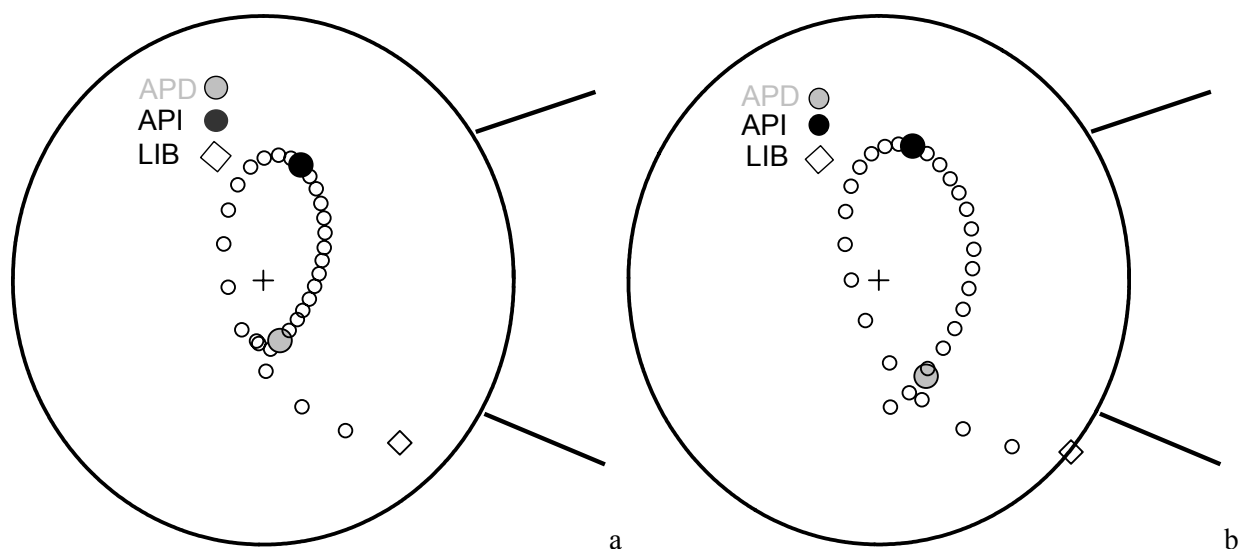


Figura 5. Promedio de las coordenadas horizontales del disco durante las fases 4 y 5 tanto en categoría femenina (a) como en masculina (b). Se destacan en mayor tamaño los instantes de apoyo del pie derecho (APD), apoyo pie izquierdo (API) y liberación (LIB). Se ha dibujado el círculo de lanzamiento como referencia.

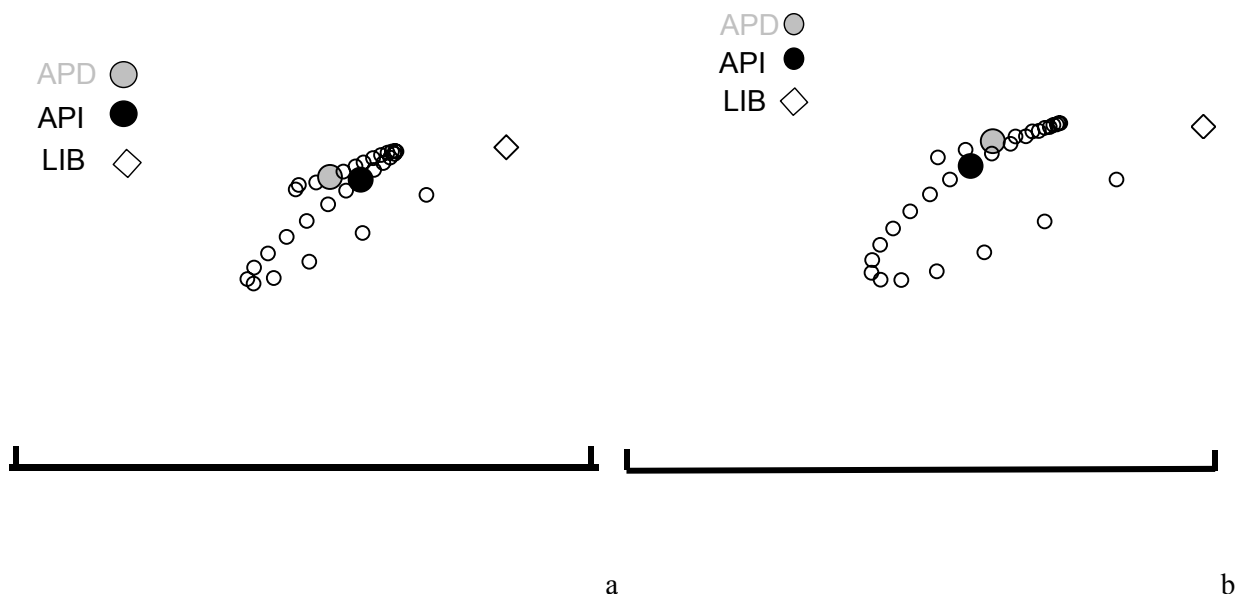


Figura 6. Promedio de la altura del disco durante las fases FSAS y FSAD tanto en categoría femenina (a) como en masculina (b). Se destacan en mayor tamaño los instantes de apoyo pie derecho (APD), apoyo pie izquierdo (API) y liberación (LIB). Se ha dibujado el círculo de lanzamiento como referencia.

En la figura 7 se muestran, para las categorías masculina y femenina, las gráficas de hDISCO enfrentada con Θ_{HOMB} a lo largo de las dos últimas fases. En ellas se puede observar que en las dos categorías, las trayectorias de ambas variables tuvieron un comportamiento similar. Al inicio, las dos variables aumentaron hasta un máximo, continuaron con un descenso y, por último, volvieron a incrementarse hasta la liberación. En esta sucesión se puede observar que los valores máximos y mínimos se produjeron siempre antes en la variable hDISCO que en la variable Θ_{HOMB} , tanto en hombres como en mujeres.

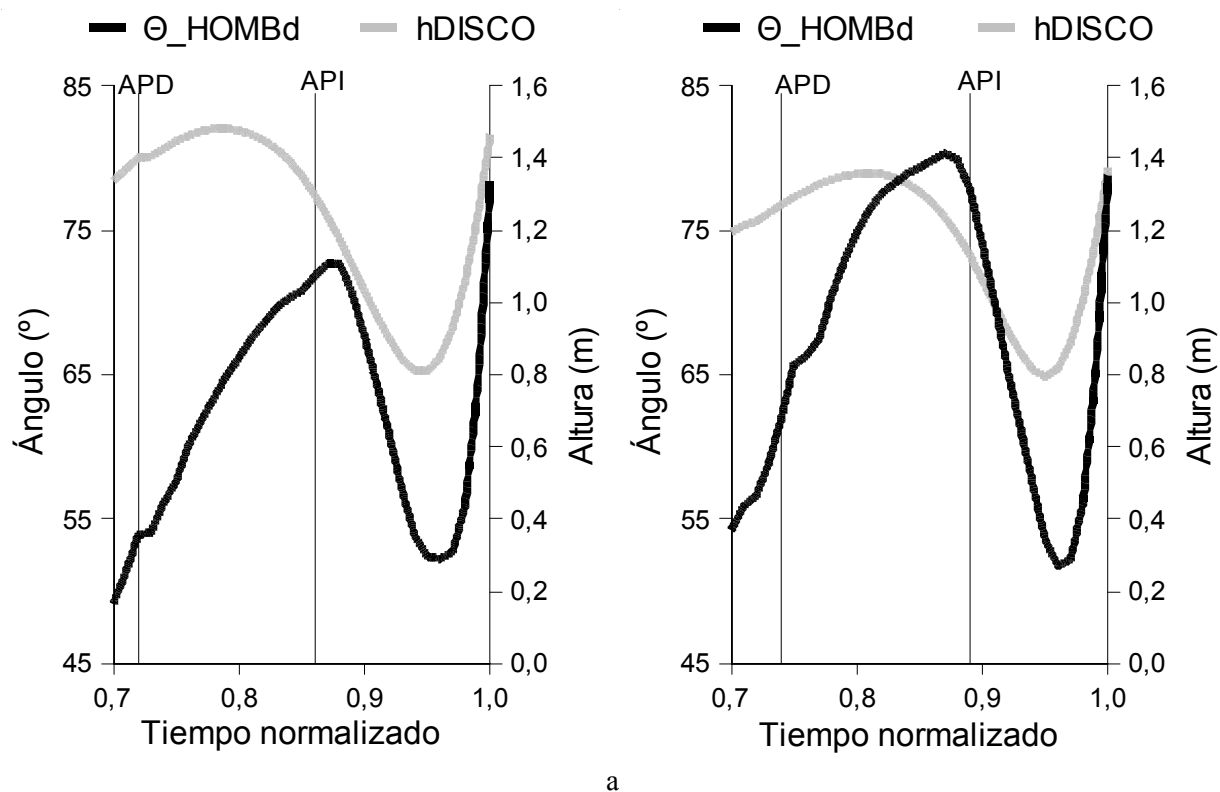


Figura 7. Ángulo del hombro del lado ejecutor (derecho) (Θ_{HOMB}) y altura del disco (hDISCO) durante las fases FSAS y FSAD en categoría femenina (a) y en masculina (b).

En la figura 8 se muestran las gráficas de hDISCO y de VvDISCO a lo largo de las dos últimas fases. Se puede observar un máximo en la altura entre APD y API, que corresponde a un cambio en el sentido del vector velocidad, y por tanto, VvDISCO nula en ese instante. Tanto en categoría masculina como en femenina, se puede observar que los valores de VvDISCO, al inicio, descendían progresivamente hasta alcanzar su valor mínimo 0 y, posteriormente, aumentar en sentido contrario para volver en el sentido positivo, con un crecimiento asintótico, hasta la liberación. La variable hDISCO, presenta el máximo en la fase FSAS, un mínimo en la FSAD para, desde esa posición, iniciar su largo recorrido de aceleración hasta el despegue, llegando a la altura de la liberación.

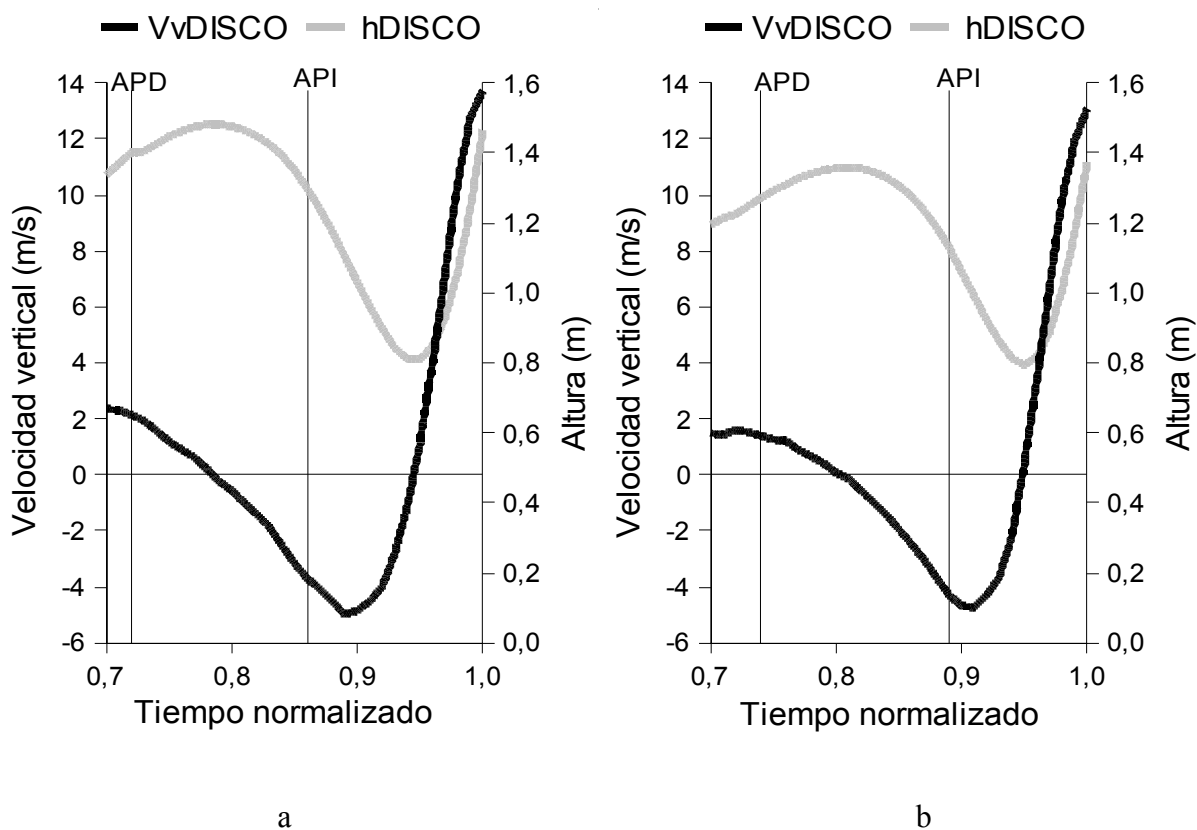


Figura 8. Componente vertical de la velocidad (VvDISCO) y altura del disco (hDISCO) durante las fases FSAS y FSAD en categoría femenina (a) y en masculina (b). Los valores están normalizados con el tiempo.

Los datos cinemáticos del resto de variables, obtenidos en los análisis realizados, se muestran en la tabla IV. En ella se presentan la media, desviación estándar y los valores máximos y mínimos de las variables, tanto de categoría masculina como de categoría femenina.

Tabla IV. Variables cinemáticas de estudio: media (X), desviación estándar (SD), máximos (MÁX) y mínimos (MIN).

	♂				♀			
	X	SD	MAX	MIN	X	SD	MAX	MIN
Distancia oficial (m)	52.97	4.00	62.00	47.52	52.01	2.12	54.32	47.14
hDISCO _{max} (m)	1.55	0.12	1.72	1.33	1.40	0.15	1.65	1.25
Θ_HOMB _{d(hdisco_max)} (°)	68	10	85	53	71	15	91	49
hDISCO _{min} (m)	0.78	0.09	0.89	0.58	0.77	0.08	0.88	0.62
Θ_HOMB _{d(hdisco_min)} (°)	49	9	68	37	49	7	61	39
Θ_ROD _{d(hdisco_min)} (°)	60	5	71	52	55	8	70	44
Δh_DISCO _{min} -DISCO _{lib} (m)	0.71	0.19	1.00	0.44	0.63	0.14	0.87	0.44
hDISCO _{lib} (m)	1.49	0.20	1.75	1.06	1.40	0.11	1.57	1.18
Θ_HOMB _{d(lib)} (°)	80	9	95	59	79	9	90	58
VvDISCO _{lib} (m/s)	13.9	1.0	15.1	12.3	13.1	0.9	14.3	11.9

El modelo del lanzamiento de disco expuesto por los autores cuyos trabajos han sido recopilados en este estudio, induce a pensar que existen relaciones entre ciertas variables. Las relaciones calculadas entre la trayectoria vertical del disco y las variables de velocidad y ángulo del hombro y rodilla derecha analizado en el presente estudio se muestran en la tabla V.

Tabla V. Coeficientes de correlación y grado de significación entre las variables biomecánicas relacionadas con la trayectoria del disco: altura máxima del disco ($hDISCO_{max}$), altura de disco mínima ($hDISCO_{min}$), incremento de la altura entre el punto más bajo y el de la liberación ($\Delta h_DISCO_{min-DISCO_{lib}}$) y altura de liberación ($hDISCO_{lib}$) y las variables: ángulo del hombro derecho cuando la altura es máxima ($\Theta_HOMB_{d(hdisco_max)}$), cuando la altura es mínima ($\Theta_HOMB_{d(hdisco_min)}$) y en el instante de liberación ($\Theta_HOMB_{d(lib)}$), ángulo de la rodilla derecha cuando la altura del disco es mínima ($\Theta_ROD_{d(hdisco_min)}$) y velocidad vertical del disco en el momento de su liberación ($VvDISCO_{lib}$).

Variable I	Variable II	Sexo	Coefficiente de correlación	Sig. (bilateral)	N
$hDISCO_{max}$	$VvDISCO_{lib}$	♂	$r = 0.616$	$p = 0.025$	13
		♀	$r = 0.806$	$p = 0.002$	12
	$\Theta_HOMB_{d(hdisco_max)}$	♂	$r = 0.728$	$p = 0.005$	13
		♀	$r = 0.900$	$p = 0.001$	12
$hDISCO_{min}$	$VvDISCO_{lib}$	♂	$r = -0.303$	$p = 0.314$	13
		♀	$r = -0.878$	$p = 0.001$	12
	$\Theta_HOMB_{d(hdisco_min)}$	♂	$r = 0.148$	$p = 0.628$	13
		♀	$r = -0.139$	$p = 0.667$	12
	$\Theta_ROD_{d(hdisco_min)}$	♂	$r = -0.310$	$p = 0.303$	13
		♀	$r = -0.779$	$p = 0.003$	12
$\Delta h_DISCO_{min-DISCO_{lib}}$		♂	$r = -0.175$	$p = 0.568$	13
		♀	$r = -0.573$	$p = 0.051$	12
$\Delta h_DISCO_{min-DISCO_{lib}}$	$VvDISCO_{lib}$	♂	$r = 0.807$	$p = 0.001$	13
		♀	$r = 0.625$	$p = 0.030$	12
$hDISCO_{lib}$	$\Delta h_DISCO_{min-DISCO_{lib}}$	♂	$r = 0.900$	$p < 0.001$	13
		♀	$r = 0.789$	$p = 0.002$	12
	$VvDISCO_{lib}$	♂	$r = 0.654$	$p = 0.015$	13
		♀	$r = 0.018$	$p = 0.955$	12
	$\Theta_HOMB_{d(lib)}$	♂	$r = 0.557$	$p = 0.048$	13
		♀	$r = 0.348$	$p = 0.267$	12

r : Coeficiente de correlación de Pearson. Se señalan con negrita las correlaciones estadísticamente significativas a un nivel de $p < 0.05$. ♂: sexo masculino. ♀: sexo femenino.

Discusión

El principal hallazgo de este estudio fue que, tanto para categoría masculina como en femenina, se encontró que las variables utilizadas para describir el comportamiento de la trayectoria vertical del disco estuvieron relacionadas con la velocidad de liberación del disco. Las correlaciones entre la $hDISCO_{max}$ y $VvDISCO_{lib}$ y $\Delta h_DISCO_{min}-DISCO_{lib}$ y $VvDISCO_{lib}$ fueron, ambas, estadísticamente significativas en las dos categorías estudiadas. Las anteriores correlaciones indicaron que aumentos en la distancia de aceleración, bien incrementando $hDISCO_{max}$ lograda en la FSAS o bien incrementado la variable $\Delta h_DISCO_{min}-DISCO_{lib}$, se asocian, en ambas categorías, a aumentos en $VvDISCO_{lib}$. Estos resultados están en consonancia, tanto con las recomendaciones que desde la bibliografía hacen los técnicos deportivos, como con los resultados científicos. Silvester (2003) en su capítulo sobre el lanzamiento de disco en un libro publicado sobre lanzamientos atléticos identificó la elevación máxima del disco en la FSAS y el descenso continuado, seguido de un aumento en la altura del disco hasta su liberación, como aspectos técnicos observables útiles para evaluar la técnica del lanzamiento de disco. Por otro lado, en la investigación llevada a cabo por Silvester y McCoy (1995) concluyeron que una de las diferencias entre lanzadores de categoría absoluta con respecto a los de categoría júnior fue que los primeros lograban una altura máxima relativa a la estatura mayor que los segundos. De igual forma, en ese mismo estudio, los autores advirtieron que una diferencia alta entre las alturas mínimas y de liberación facilitaría potencialmente el aumento de la velocidad de liberación del disco. Por lo tanto, las recomendaciones de los técnicos deportivos y las descripciones realizadas en estudios científicos guardan relación y están apoyadas por las asociaciones encontradas en este estudio.

Por otro lado, a la vista de los resultados de la cinemática de las variables $VvDISCO$ y $hDISCO$, reflejados en la figura 8, se podría esperar que los lanzadores y las lanzadoras que incrementasen la distancia de aceleración descendiendo el disco a una menor altura durante la FSAD, serían capaces de aumentar la velocidad en la liberación ($VvDISCO_{lib}$). Aunque, tanto en categoría masculina como en femenina, las correlaciones encontradas fueron de signo negativo, indicando que aumentos en la $VvDISCO_{lib}$ estuvieron asociados a descenso en $hDISCO_{min}$, la magnitud de la relación sólo fue estadísticamente significativa en categoría femenina. Estos datos podrían indicar la posibilidad de que el descenso de la altura del disco en la última fase tenga una gran influencia causal sobre $VvDISCO_{lib}$ en categoría femenina. Mientras que, en categoría masculina no se obtuvo ninguna correlación significativa entre las mismas variables anteriores. Esta diferencia entre géneros podría indicar que esta variable no es trascendente en hombres para el logro de una velocidad vertical mayor en la liberación, o simplemente que en este estudio se ha obtenido un rango de valores, en esas variables, insuficiente para establecer una correlación significativa. Del mismo modo, solamente en categoría masculina se obtuvieron correlaciones significativas, de sentido positivo, entre $hDISCO_{lib}$ y $VvDISCO_{lib}$. Estos resultados, junto con los expuestos en párrafos anteriores, sugieren que los lanzadores y lanzadoras analizados en este estudio podrían obtener mayores incrementos de altura entre los instantes de mínima altura y de liberación de forma distinta. Así, los hombres la podrían haber adquirido elevando la altura de liberación, mientras que las mujeres la podrían haber logrado disminuyendo la altura mínima y elevando la altura de liberación. Estas deducciones estarían apoyadas por las correlaciones encontradas entre $\Delta h_DISCO_{min}-DISCO_{lib}$ y $hDISCO_{lib}$ en categoría masculina y, en categoría femenina, entre $\Delta h_DISCO_{min}-DISCO_{lib}$ y $hDISCO_{min}$ y entre $\Delta h_DISCO_{min}-DISCO_{lib}$ y $hDISCO_{lib}$.

El Θ_{HOMBd} está asociado con la trayectoria vertical del disco. Tanto en categoría masculina como en femenina se observó que $\Theta_{\text{HOMBd}}(\text{hDISCO}_{\text{max}})$ estaba significativamente correlacionado con $\text{hDISCO}_{\text{max}}$. Esta correlación indicó que a mayor aumento en el $\Theta_{\text{HOMBd}}(\text{hDISCO}_{\text{max}})$, mayor aumento en la $\text{hDISCO}_{\text{max}}$. Estos resultados sugieren que el ángulo del hombro es un aspecto técnico a observar y valorar durante la FSAS y que éste puede ser utilizado para incrementar la altura máxima del disco. Además, durante la ejecución rápida del gesto del lanzamiento, es difícil para el atleta intuir la distancia vertical real existente entre el centro del disco y el suelo, pero “es más sencillo” percibir si el brazo que sujeta el disco está más o menos separado del tronco. Sorprendentemente, no se encontró, ni en categoría masculina ni en femenina, que la $\text{hDISCO}_{\text{min}}$ estuviera correlacionada significativamente con el $\Theta_{\text{HOMBd}}(\text{hdisco}_{\text{min}})$. Esta falta de asociación sugiere que aunque los datos del $\Theta_{\text{HOMBd}}(\text{hdisco}_{\text{min}})$ señalaron que el atleta aducía su brazo a la vez que disminuía la altura del disco (figura 7), podría existir otro aspecto técnico, ejecutado durante el descenso del disco, relevante para disminuir la altura del disco, o simplemente en este estudio no se ha obtenido un rango de valores en estas dos variables que pudiese demostrar la esperada asociación entre ellas. Entre los aspectos técnicos que podrían permitir un descenso del disco más acentuado se podría citar la flexión de la rodilla derecha. Cuando la altura del disco es baja, éste se encuentra en el lado opuesto al de liberación y, por lo tanto, cercano al miembro inferior derecho. Una mayor flexión de la articulación de la rodilla derecha podría ayudar a que el disco descendiera más en su trayectoria. Este supuesto estaría apoyado por la correlación estadísticamente significativa encontrada entre el ángulo de la rodilla derecha en el instante que el disco logra su altura mínima ($\Theta_{\text{RODd}}(\text{hdisco}_{\text{min}})$) y $\text{hDISCO}_{\text{min}}$ en categoría femenina ($r = -0.779$; $p < 0.003$); aunque la no significación obtenida en categoría masculina hacen que sean necesarias más investigaciones en esta línea que ayuden a entender como el lanzador desciende el disco.

A pesar de que la altura del disco es el parámetro de liberación de menor peso en el movimiento parabólico de vuelo del implemento, si lo comparamos con la velocidad y el ángulo de liberación (Kreighbaum y Barthels, 1999) sin embargo, podría ser considerado como uno de los más susceptibles de mejora. Cualquier aspecto ha de ser perfeccionado para obtener la máxima eficacia técnica, dado que, ni todas las variables pueden ser modificadas, ni dicho cambio puede realizarse al nivel necesario para provocar un incremento cuantitativo en el resultado final. Por tanto, resulta muy valioso mejorar esta variable y, por tanto, conocer qué acciones técnicas podría ejecutar el lanzador para elevar el disco hasta su altura óptima. En los sujetos estudiados, se ha encontrado que en categoría masculina $\Theta_{\text{HOMBd}}(\text{lib})$ estaba correlacionado estadísticamente con $\text{hDISCO}_{\text{lib}}$. Esta relación sugiere que los lanzadores aumentan la altura de liberación del disco aumentando el ángulo del hombro, aunque la moderada relación encontrada entre esas mismas variables en categoría femenina advierte de que puedan existir otros aspectos técnicos que determinen la altura de liberación del disco.

Conclusiones

Los hallazgos de este estudio indican que los aspectos técnicos indicados por los entrenadores a sus atletas, en el proceso de aprendizaje y perfeccionamiento de la técnica, relacionados con “*elevantar el disco por encima de la cabeza*”, “*descender el disco durante la última fase*” y “*liberar el disco a una altura elevada*”, tienen una evidencia científica y, por tanto, se considera que han de ser observados y valorados por parte de los técnicos deportivos. Esto se fundamenta en los resultados encontrados en el presente estudio en el que se constata que combinaciones de estos indicadores pueden conseguir aumentar la velocidad vertical del disco en la liberación.

Así mismo, el ángulo del hombro derecho se halló relacionado con la trayectoria vertical del disco, y las variables cinemáticas que lo valoran como son la altura máxima, mínima y de liberación del disco, mientras que el ángulo de flexión de la rodilla derecha, se relacionó con un descenso del disco, en las mujeres, para aumentar el recorrido de aceleración.

Por último, la valoración biomecánica de la técnica del lanzamiento es útil para la mejora del rendimiento puesto que utiliza conocimientos y tecnología precisa que proporciona información objetiva. El uso de la biomecánica está siendo cada vez más extendido en el ámbito del deporte, demostrando su utilidad y siendo una herramienta complementaria para los entrenadores.

Agradecimientos

A la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (M^o de Educación, Cultura y Deporte y M^o de Cultura y Deporte) por financiar la investigación (1995-2002).

Al Centro de Alto Rendimiento y de Investigación en Ciencias del Deporte (CARICD) del Consejo Superior de Deportes (CSD) por aportar su Laboratorio de Biomecánica, el personal necesario para la realización de este estudio y la financiación necesaria.

A los investigadores de los Laboratorios de Biomecánica del CARICD (CSD) y los de Valoración Mecánica del INEFEC de Lérida por su colaboración en este estudio.

Referencias bibliográficas

- Abdel-Aziz, Y.I., y Karara H.M. (1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close – range photogrammetry. En *ASP Symposium on Close Range Photogrammetry*. Falls Church: American Society of Photogrammetry.
- Barclay, L. (1993). Some basic hints to young discus throwers. *Modern Athlete and Coach*, 31, 24-25.
- Bartlett, R.M. (1992). The biomechanics of the discus throw: A review. *Journal of Sports Sciences*, 10, 467-510.
- Bidault, P. (1998). Le disque. Les bases de la technique pour un lancer techniquement réussi. *Revue de l'A.E.F.A.*, 149. 15-21.
- Dapena, J. (1993). New insights on discus throwing. *Track Technique*, 125, 3977-3983.
- Dapena, J., Anderst, W.J. (1997). Discus throw #1 (Men). *Report for Scientific Services Project (USATF)*. Indianapolis: USA Track & Field.
- Dapena, J., LeBlanc, M.K., Anderst, W.J. (1997). Discus throw #2 (Women). *Report for Scientific Services Project (USATF)*. Indianapolis: USA Track & Field.
- Dunn, G. (1969). Common errors in the discus. *Athletic Journal*, 49, 52.
- Ferro, A. (2001). *La Carrera de Velocidad. Metodología del Análisis Biomecánico*. Madrid: Estaban Sanz.
- Ferro, A., Floría, P., Ferreruela, M., García-Fogeda, A. (2004). Longitudinal biomechanical analysis of individual athletes' evolution of the distance of discus throw. En *Book of Abstracts of 9th Annual Congress European College of Sport Science*. Clermont-Ferrand: Université Blaise Pascal.
- Ferro, A., García-Fogeda, A., Valios, J.C., Blanco, I., Graupera, J.L. (1998). Metodología y modelo de actuación en el proyecto de lanzamiento de disco. En *Biomecánica Aplicada al Deporte I*. León: Universidad de León
- Ferro, A., Rivera, A., García-Fojeda, A., Pagola, I., Valios, J.C. (1999). Influencia del cambio de peso del disco en la técnica individual de lanzamiento. *Investigaciones en Ciencias del Deporte*, 22:25-36.
- Gregor, R.V., Whiting, W.C., McCoy, R.W. (1985). Kinematic analysis of Olympic discus throws. *International Journal of Sport Biomechanics*, 1, 131-138.
- Hay, J.G., Yu, B. (1995). Critical characteristics of techniques in throwing the discus. *Journal of Sports Sciences*, 13, 125-140.
- Knicker, A. (1992). Kinematic characteristics of the discus throw. *Modern Athlete and Coach*, 30, 3-6.
- Knicker, A. (1994a). Kinematic analyses of the discus throwing competition at the IAAF World Championships in Athletics, Stuttgart 1993. *New Studies in Athletics*, 9, 9-16.

- Knicker, A. (1994b). Kinematic analyses of the discus throwing competitions at the World Athletics Championships 1993 in Stuttgart. En A. Barabas y G. Fabian (eds.), *Proceedings of the 12th International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 363-370). Budapest: Hungarian University of Physical Education.
- Knicker, A. (1999). Biomechanical analysis of the throwing events. Discus throw. *Biomechanical Research Project Athens 1997. Final Report*. Oxford: Meyer & Meyer Sport.
- Kreighbaum, E.; Barthels, K.M. (1999). *Biomechanics. A Qualitative Approach for Studying Human Movement*. Needham Heights, MA: Allyn and Bacon-
- Leva, P. (1996). Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameter. *Journal of Biomechanics*, 29, 1223-1230.
- McCoy, R.W., Whiting M.W.C., Rich, R.G., Gregor, R.J. (1985). Kinematic analysis of discus throwers. *Track Technique*, 91, 2902-2905.
- Knowles, D. (1997). Discus fundamentals. *Modern Athlete and Coach*, 35, 34-39.
- Powell, J. (1975). John Powell on the discus. *Track Technique*, 59, 1875-1876.
- Silvester, L.J. (2003). *Discus. Complete Book of Throws*. Champaign: Human Kinetics.
- Silvester, L.J., McCoy, R. (1995). Paths of the discus: a comparison of elite and junior elite discus throwers. *Track Coach*, 133, 4238-4243.
- Stepanek, J. (1986). Discus throw. En P. Susanka, P. Brüggemann y E. Tsarouchas (eds.), *Scientific Report on the 1st World Junior Championship in Athletics, Athens 1986* (pp. J/1-11). International Amateur Athletic Federation.
- Susanka, P., Dumbrovsky, M., Barak, F., Stepanek, J., Nosek, M. (1988). Biomechanical analysis of the discus throw. *Scientific Report on the Second World Championship in Athletics, Rome 1987*. International Amateur Athletic Federation.
- Terauds, J. (1978). Computerised biomechanical cinematography analysis of discus throwing at the 1976 Montreal Olympiad. *Track and Field Quarterly Review*, 78, 25-28.
- Tidow, G. (1994). Model technique analysis sheets part IX: the discus throw. *New Studies in Athletics*, 9, 47-68.
- Woltring, H.J. (1985). On optimal smoothing and derivate estimation from noisy displacement data in biomechanics. *Human Movement Science*, 4, 229-245.
- Yu, B., Broker, J., Silvester, L.J. (2002). A kinetic analysis of discus-throwing techniques. *Sports Biomechanics*, 1, 25-46.