

Análisis cinemático de la trayectoria de la barra en la Arrancada y su relación con el rendimiento

JOSÉ CAMPOS GRANELL

Licenciado en Educación Física

Doctor en Filosofía y Ciencias de la Educación

Profesor Titular del Departamento de Educación Física y Deportiva

y Director de la Unidad de Investigación del Rendimiento Físico y Deportivo

Universitat de València

JUAN J. RABADÉ ESPINOSA

Licenciado en Ciencias de la Educación Física y del Deporte

Colaborador de la Unidad de Investigación del Rendimiento Físico y Deportivo (URIFIDE)

Departamento de Educación Física y Deportiva

Universitat de València

Correspondencia con autor

José Campos Granell

jose.campos@uv.es

Resumen

El objetivo de este estudio está centrado en la descripción de la trayectoria de la barra en la Arrancada, así como analizar las diferencias entre levantadores de diferente nivel de rendimiento en términos relativos, incorporando como elemento de análisis el desplazamiento de los pies. La muestra está formada por 31 levantadores de categoría masculina de diferentes categorías de peso. Para el estudio comparativo se conforman dos grupos de levantadores en función de la carga relativa, esto es, la carga máxima levantada en función del peso corporal. Se utiliza la metodología Fotogrametría 3D. Los resultados revelan que los levantadores que consiguen una mayor carga relativa desplazan la barra siguiendo una trayectoria más vertical. Estas diferencias se concretan en un menor desplazamiento horizontal de la barra en el instante en que la barra alcanza la máxima elevación y en el instante del encaje ($p: 0,030$ y $p: 0,005$, respectivamente) y en un menor desplazamiento atrás de los pies ($p: 0,012$). No se han encontrado diferencias en el recorrido vertical de la barra. Estos hallazgos podrían ser tenidos en cuenta en el entrenamiento individualizado de los levantadores, especialmente de los más jóvenes.

Palabras clave

Biomecánica; Halterofilia; Técnica; Entrenamiento; Desplazamiento de los pies.

Abstract

Kinematical analysis of bar trajectory in the Snatch, relating to performance

The purpose of this study was to analyse the relationships between bar trajectory and foot displacement in the Snatch, and the differences in elite junior weightlifters of different performance level. Sample was a group of 31 men weightlifters from different weight categories. The comparative study included two groups, taking into account relative performance (weight lifted relative to body mass). 3D photogrammetry technique was utilized. Regarding group differences, we can conclude that lifters belonging to higher relative performance group are more efficient, as they manage to have a more barbell vertical trajectories and a minor horizontal displacement of the bar at the instant in which the bar reaches the maximum height and at the instant of catching ($p: 0.030$ and $p: 0.005$ respectively) and a minor backward horizontal displacement of the feet ($p: 0,012$). There are not differences between groups in the vertical displacement of the bar. These evidences should be taken into account in the individual technical training of young lifters.

Key words

Biomechanics; Weightlifting; Technique; Coaching; Foot displacement.

Introducción

La técnica de la Arrancada, como movimiento acíclico, requiere de un alto nivel coordinativo justificado en la idea de Bernstein (1967) de una cadena cinemática en la que cada eslabón contribuye a la creación de fuerzas reactivas o reflejas que se transmiten entre sí y que

acaban conformando un patrón idóneo de organización temporal. Existe un consenso general respecto de que los levantadores más habilidosos utilizan un patrón de coordinación intersegmentaria óptimo lo que les posibilita para conseguir amplias fases de aceleración (Enoka, 1988). Concretamente, en la Halterofilia, donde el peso

corporal determina las categorías de competición, se ha sugerido la existencia de diferentes estructuras o modelos adaptados a las características morfológicas de los levantadores, lo que significaría reconocer la existencia de fronteras en la estructura temporal y en la fluidez del movimiento (Vorobyev, 1978, and Bartonietz, 1996).

La técnica de Arrancada fue descrita por Luchkin (1962) como un movimiento recto hacia arriba hasta el instante en el que la barra se descuelga hacia atrás del levantador, descendiendo mientras el atleta se mueve rápidamente por debajo de ella para conseguir su encaje. Por ello, la trayectoria que describe la barra a lo largo del levantamiento es una consecuencia directa de las fuerzas que el levantador aplica sobre ella.

Tomando en consideración los parámetros anatómicos y biomecánicos que intervienen en el movimiento, Vorobyev (1978) planteó que la barra debía describir una trayectoria curva tal y como se representa en la *figura 1*, en forma de “s” alargada. La trayectoria A fue presentada como la menos adecuada de las tres; la trayectoria B, fue considerada como técnica defectuosa que requería el desplazamiento de los pies hacia atrás para conseguir el Encaje; y por último, la trayectoria C, que se presentaba como la técnica más correcta por suponer una trayectoria más vertical gracias a la reducción de los desplazamientos horizontales de la barra. La determinación de la mayor idoneidad de una y otra trayectoria ha sido también referida en algunos estudios como es el caso de González Badillo (1991) y de Isaka, Okada, Funato (1996).

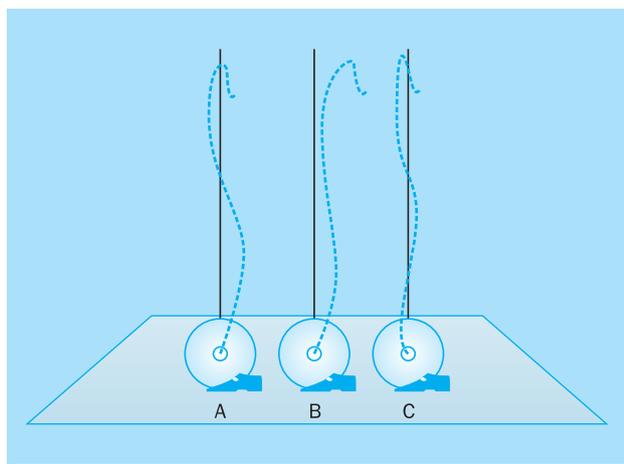


Figura 1
Diferentes trayectorias de la barra en la Arrancada (adaptado de Vorobyev, 1978).

Desde la perspectiva de la biomecánica, son numerosos los estudios que han descrito el movimiento que realiza la barra y el levantador en la realización de la Arrancada ofreciendo una detallada información de los parámetros que justifican el rendimiento máximo de los levantadores. En esta línea cabe destacar los trabajos realizados por Lukashev (1972), Isaka, Okada, Funato (1996), Vorobyev (1978), Garhammer (1985), Bartonietz (1996), Baumann, Gorss, Quade, Galbierz and Schwirz. (1988), Stone, O’Bryant, Willians, Jonson, Pierce (1998), Gourgoulis, Aggelousis, Mavromatis, Garas (2000), Schilling, Stone, O’Bryant, Fry, Coglianesi, Pierce (2002).

Los resultados provenientes de dichos estudios ponen de manifiesto que, a pesar de la teórica elección de la trayectoria C como la más adecuada, los levantadores de élite utilizan de forma indistinta las técnicas B y C. Concretamente, algunos estudios han constatado que muchos levantadores de nivel internacional utilizan la variante B en la que la barra no cruza la línea vertical de referencia (Isaka *et al.*, 1996), lo que significa que el levantador inicia el movimiento con una acción de desequilibrio hacia los talones, lo que obliga a realizar un desplazamiento atrás de los pies. Generalmente, este desplazamiento de los pies viene precedido de una acción de salto realizada por las piernas para impulsar la barra hacia la vertical en apoyo de las fuerzas que se generan en el segundo tirón, y que asemeja la acción que se realiza en un salto vertical tal y como establecen Garhammer (1992) y Canavan *et al.*

En relación con los desplazamientos de los pies, los trabajos que han estudiado estas acciones técnicas en la Arrancada y sus efectos en la superación de la carga no revelan efectos directos sobre el rendimiento, aunque representan referencias documentales valiosas. En esta línea, el estudio realizado por Schilling, Stone, O’Bryant, Fry, Coglianesi and Pierce (2002) sobre levantadores de nivel universitario constató que, a pesar de que los desplazamientos de la barra y de los pies estaban muy relacionados entre sí, este hecho no afectaba al éxito del levantamiento. En relación con los desplazamientos horizontales de la barra, Baumann *et al.* (1988) constataron que durante el primer tirón y la fase de transición la barra se movía alrededor de 6,20 cm en hacia el levantador por detrás de la proyección vertical del punto de arranque, y que durante el segundo tirón el movimiento se realizaba hacia delante, alejándose del levantador, alrededor de 3,2 cm, sin llegar a cruzar tampoco la proyección vertical del punto

de arranque. Por otro lado, el estudio de Stone, *et al.* (1998) constató que los levantadores de las categorías de menor peso corporal realizaban un mayor desplazamiento de los pies hacia atrás.

Con todo, el objetivo del presente trabajo está centrado en el análisis de las diferencias existentes en la trayectoria que describe la barra en función del nivel de rendimiento de los levantadores entendido en términos relativos (carga levantada en función del peso corporal). De esta forma, tendremos la posibilidad de establecer si los levantadores que son capaces de levantar una mayor carga relativa mantienen un modelo diferenciado del resto. Además, y considerando que la trayectoria de la barra se ve afectada por el posible desplazamiento horizontal de los pies, hemos introducido también esta variable para entender mejor el problema.

Respecto del contexto situacional utilizado, el estudio se ha realizado sobre un grupo de levantadores junior de élite de categoría internacional en situación real de competición.

Método

Se ha utilizado una muestra de 31 levantadores de categoría junior masculina, participantes en el Campeonato de Europa Junior de Halterofilia celebrado en Valencia en el año 2003, todos ellos finalistas en sus respectivas categorías de peso de 56 kg (7), 62 kg (8), 85 kg (9) y 105 kg (7). Se seleccionó para el análisis el mejor levantamiento de cada levantador.

Para realizar el estudio comparativo se conformaron dos grupos de levantadores en función del rendimiento expresado en términos de carga relativa (carga levantada en función del peso corporal). Se utiliza como variable de rendimiento la carga relativa para homogeneizar los grupos en cuanto a parámetros antropométricos (peso y talla), así como para facilitar la diferenciación en cuanto

a la variable de rendimiento utilizada. De esta manera, el grupo A, quedó formado por todos los levantadores que conseguían un índice de carga relativa superior a la media de su categoría de peso, y el grupo B, quedó formado por todos los levantadores que conseguían un índice de carga relativa inferior a la media de su categoría de peso, de tal forma que los grupos quedaron compuestos por levantadores de las cuatro categorías de peso analizadas.

En la *tabla 1* se presentan las características de los levantadores de ambos grupos y los resultados del ANOVA en el que se comprueba que los grupos A y B son homogéneos en lo que a peso corporal y talla de los levantadores se refiere, mientras que el nivel de rendimiento expresado en términos relativos (carga relativa), es significativamente diferente (p : 0,006). Concretamente, los levantadores del grupo A conseguían un índice de carga relativa superior en un 9,47% al conseguido por los levantadores del grupo B.

El estudio está basado en Fotogrametría 3D. Se utilizaron 2 cámaras de video S-VHS, sincronizadas temporalmente, con una frecuencia de muestreo de 50 campos por segundo. La calibración del espacio se realizó mediante un Sistema de referencia formado por un cubo de 3 m \times 3 m \times 1,5 m. El proceso de digitalización y tratamiento de variables se realizó mediante el *software* Kinescan Digital 1.1 (IBV). El cálculo de las coordenadas tridimensionales se realizó mediante el algoritmo de Transformación Lineal Directa (DLT) descrito por Abdel-Aaziz y Karaka (1976). Se calcularon unos errores absolutos medios de $3,3 \pm 2,6$ mm en la coordenada X; de $3,5 \pm 1,5$ en la coordenada Y; y de $1,8 \pm 1,4$ mm en la coordenada Z, para un valor RMS total de 5,97 mm. El suavizado de las trayectorias de los marcadores se hizo con el método GVC, mediante splines de 5º orden (Woltring, 1985).

Las fases de la Arrancada se establecieron a partir de las propuestas de Gourgoulis *et al.* (2000) y Campos, Poletaev, Cuesta, Pablos, Carratalá (2006), en base a la

Variables	GRUPO A (n: 15) (M \pm SD)	GRUPO B (n: 16) (M \pm SD)	F	P
Peso (kg)	74,18 \pm 18,18	74,05 \pm 19,03	0,000	0,984
Talla (m)	1,72 \pm 0,07	1,71 \pm 0,08	0,169	0,684
Carga relativa	1,85 \pm 0,13	1,69 \pm 0,16	8,946	0,006

Tabla 1
Características de la muestra en función del grupo de pertenencia de los levantadores y resultados del ANOVA.

Tabla 2
Eventos y fases temporales en la Arrancada.

Eventos	Fases
T1: Instante en el que los discos de la barra despegan del suelo.	Primer tirón. (De t1 a t2).
T2: Instante en el que se produce la primera máxima extensión de las rodillas.	Transición. (De t2 a t3).
T3: Instante de máxima flexión de rodillas posterior a T2.	Segundo tirón. (De t3 a t4).
T4: Instante de la segunda máxima extensión de las rodillas.	Turnover (De t4 a t5).
T5: Instante de altura máxima de la barra.	Encaje. (De t5 a t6).
T6: Instante en el que se produce el encaje.	Amortiguación. De t6 a t7).
T7: Instante de máxima flexión de rodillas.	

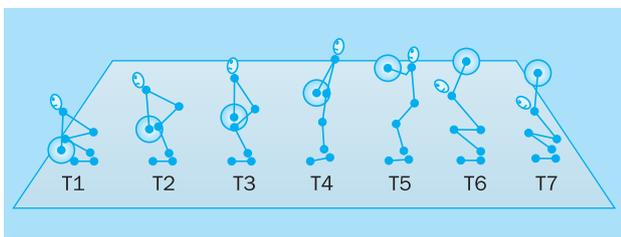


Figura 2
Posiciones correspondientes a los instantes de referencia temporal (Adaptado de Campos et al., 2006).

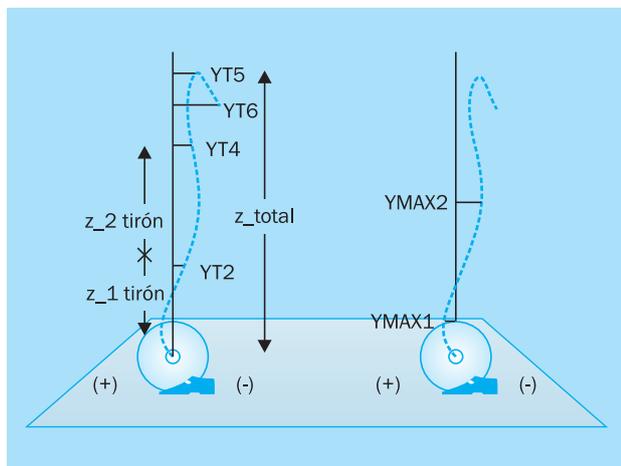


Figura 3
Localización de los instantes de referencia temporal en la trayectoria de la barra y descripción de los desplazamientos horizontales y verticales.

posición de la barra y los rangos de flexo-extensión de la articulación de la rodilla. De esta forma, se consideraron los eventos y fases temporales que se muestran en la *tabla 2*.

Para poder describir la trayectoria de la barra en el plano horizontal se han utilizado cinco puntos de referencia denominados YT2; YT4; YT5; YT6; YMAX1;

YMAX2: Los cuatro primeros, correspondientes al desplazamiento horizontal respecto de la proyección vertical del punto de arranque de la barra que se produce en los instantes del final del primer tirón, final del segundo tirón, máxima altura de la barra, y de Encaje. El punto YMAX1, representa la distancia de la barra al punto de la trayectoria más alejado de la proyección vertical del punto de arranque durante el primer tirón, y que puede situarse por delante o por detrás de dicha proyección, y el punto YMAX2, el punto de la trayectoria más alejado de la proyección vertical del punto de arranque que se produce durante el segundo tirón y que suele ser de signo negativo al situarse por detrás de la vertical de referencia, acercándose hacia el levantador (*Figura 3*).

Respecto del recorrido vertical de la barra se toma en consideración la distancia que recorre la barra en el eje vertical en cada una de las fases del levantamiento ($Z_{1tirón}$; $Z_{2tirón}$; Z_{max} , correspondientes al primer y segundo tirón, y el recorrido total respectivamente).

Se realiza una estadística descriptiva para el conjunto de los datos (medidas de tendencia central y de dispersión: media, desviación típica y coeficiente de variación). También para el conjunto de los datos se realiza un estudio correlacional (Pearson) sobre las parámetros cinemáticos considerados. Para el estudio comparativo se realiza una prueba *t*, aplicando la prueba de Levene para la igualdad de varianzas.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos confirman que la trayectoria de la barra se ajusta a una “s” alargada en coincidencia con los estudios que se han utilizado como referencias teóricas (Vorobyev, 1974 y 1978; Baumann *et al.*, 1988; González, 1991, y Gourgoulis *et al.*, 2000).

Si atendemos a los resultados del conjunto de la muestra, se ha podido constatar que el punto Y MAX 1

aparece en 18 de los 31 levantadores estudiados, lo que significa que estos levantadores desplazan la barra hacia delante entre 1,5 y 7 cm durante los instantes iniciales del primer tirón en coincidencia con las características descritas por Vorobyev para el tipo C como la trayectoria más eficiente, mientras que el resto se ajustaría a un modelo cercano al tipo B, lo que pone de manifiesto que en los instantes iniciales del levantamiento se utilizan ambas técnicas de ejecución.

Respecto del movimiento de los pies, y también en referencia al conjunto de la muestra, hemos comprobado que las tendencias son similares aunque, en este caso, con un mayor número de levantadores que utilizan técnicas cercanas a las características de la trayectoria B. Para describir este comportamiento técnico se ha considerado que se realizaba desplazamiento hacia atrás cuando éste era superior a los 3 centímetros (en este caso, se expresa con signo negativo). Por el contrario, se consideró que no había desplazamiento cuando el desplazamiento oscilaba entre ± 3 cm. Por último, se consideró que existía desplazamiento de los pies hacia delante cuando éste era superior a los 3 cm, expresándose entonces los valores con signo positivo. Bajo estas condiciones, los resultados ponen de manifiesto que 21 levantadores realizaban lo que hemos establecido como desplazamiento de los pies hacia atrás, lo que significa un porcentaje superior al 67% del total. Por otro lado, había 8 levantadores que no realizaban desplazamiento, y sólo dos realizaban un desplazamiento hacia delante. En la *tabla 3* se presentan los descriptivos del desplazamiento de los pies en los casos que se han considerado como desplazamiento frontal (DF), sin desplazamiento (SD), y con desplazamiento hacia atrás (DA). Como información complementaria, hay que tener en cuenta también que el estudio correlacional sobre el conjunto de la muestra indica que existe una relación significativa ($p \leq 0,01$) entre el desplazamiento de los pies (Y_{pies}) y el de la barra (YT5) en el plano transversal, confirmando que el desplazamiento horizontal de los pies influye de forma directa sobre la trayectoria de la barra. Además, también el desplazamiento de los pies guarda una relación directa con la trayectoria vertical de la barra en el primer tirón, de forma que los levantadores que más desplazan los pies realizan una menor trayectoria vertical en el primer tirón (Z_{1° tirón) ($p \leq 0,01$).

En relación con el objeto central de este estudio, esto es, tratar de establecer si los levantadores de diferente nivel de rendimiento utilizan trayectorias diferenciadas, los resultados revelan que existen diferencias estadísti-

camente significativas entre los grupos A y B. En la *tabla 4* se muestran los resultados correspondientes a las variables que diferencian a los grupos, indicando los valores medios de los desplazamientos horizontales de la barra y de los pies, teniendo en cuenta que los valores con signo negativo corresponden a los desplazamientos de los pies hacia atrás, y a los desplazamientos de la barra que se producen por detrás de la proyección vertical del punto de partida de la barra. Como puede comprobarse, no se han encontrado diferencias en la máxima velocidad vertical de la barra (Vz_{max}), con valores entorno a los 1,74 m/s para ambos grupos, ni tampoco en los recorridos verticales de la barra. En ambos grupos se da la circunstancia de que el recorrido de la barra en el primer tirón es mayor que el del segundo tirón con diferencias que oscilan entre los 12 y 15 cm para en los grupos A y B respectivamente.

Variables	DA (<-3 cm) (n: 21)	DF (> +3 cm) (n: 2)	SD (± 3 cm) (n: 8)
Media	-11,9	18	-0,4
Desviación estándar	6,01	2,83	1,92
Máximo	-25	20	2
Mínimo	-5	16	-3

Tabla 3

Descriptivos del desplazamiento horizontal de los pies (cm) para el conjunto de levantadores.

Variables	GRUPO A (n: 15) (M \pm DS)	GRUPO B (n: 16) (M \pm DS)	P
Vz_max	1,73 \pm 0,08	1,74 \pm 0,12	0,788
Z_1 tirón (m)	0,37 \pm 0,06	0,39 \pm 0,06	0,740
Z_2 tirón (m)	0,25 \pm 0,05	0,24 \pm 0,04	0,195
Z_Total (m)	1,01 \pm 0,07	1,03 \pm 0,08	0,660
YT2 (cm)	-2,32 \pm 2,87	-3,6 \pm 2,13	0,163
YT3 (cm)	-3,50 \pm 2,89	-5,16 \pm 1,93	0,068
YT4 (cm)	-3,37 \pm 2,83	-4,55 \pm 2,81	0,255
YT5 (cm)	-4,39 \pm 5,47	-8,26 \pm 3,87	0,030
YT6 (cm)	-5,01 \pm 7,96	-12,04 \pm 4,72	0,005
YMAX2 (cm)	-5,19 \pm 2,94	-5,91 \pm 2,32	0,451
Y_pies (cm)	-2,60 \pm 11,25	-11,19 \pm 5,95	0,012

Tabla 4

Valores de los desplazamientos horizontales y verticales de la barra y de los pies en los instantes y fases de referencia por grupos. (Media \pm desviación estándar y significación estadística en la prueba t).

Las diferencias significativas entre grupos apuntan que los levantadores del grupo A utilizan una trayectoria en la que los desplazamientos horizontales de la barra son menores en instantes claves del levantamiento. Concretamente, los levantadores del grupo A, a diferencia de los del grupo B, sitúan la barra más próxima a la línea vertical de referencia en los instantes en que la barra alcanza su máxima altura (YT5) y en el de Encaje (YT6) con diferencias cercanas a los 7 y 9 centímetros respectivamente. En todo caso, en ambos grupos se comprueba que la barra se sitúa en una posición por detrás de la vertical de referencia en todos los instantes temporales que se han considerado en busca de la posición de Encaje (tabla 4).

Así pues, parece evidente que los grupos representan dos patrones diferentes en lo que se refiere a la trayectoria que sigue la barra. El patrón de levantamiento del grupo A, caracterizado por describir una trayectoria próxima a la línea vertical de referencia, con pequeños desplazamientos horizontales de la barra, y el patrón de los levantadores del grupo B caracterizado por un mayor desplazamiento horizontal de la barra, acompañado de un desequilibrio hacia atrás como consecuencia de un mayor desplazamiento horizontal de los pies hacia atrás durante la fase del turnover.

Con todo, las trayectorias obtenidas por los levantadores de uno y otro grupo, contienen elementos comunes a las propuestas realizadas por Vorobyev (1978). Por un lado, los levantadores del grupo A, cuya trayectoria se acerca a la que considera como la más apropiada, y por otro lado, los levantadores del grupo B, cuya trayectoria se acerca a la que considera como menos apropiada, en coincidencia también con los datos procedentes de otros estudios anteriormente referidos.

En todo caso, habría que considerar el hecho de que algunos estudios han venido a demostrar que la trayectoria B está bastante generalizada entre los levantadores de élite, incluso que llega a ser la preferida por éstos (Isaka *et al.*, 1996). En el estudio de Shilling *et al.* (2002) analizaron los desplazamientos de los pies llegando a la conclusión de que el desplazamiento de los pies y el de la barra estaban relacionados entre sí. Sin embargo, no encontraron diferencias significativas en el rendimiento obtenido de manera que parecía que ambas técnicas podrían ser igualmente de eficientes.

En nuestro estudio, hemos podido comprobar que los levantadores que consiguen vencer una mayor carga relativa utilizan diferentes trayectorias, condicionadas de forma especial por el grado de desplazamiento horizon-

tal de los pies, por lo que entendemos que existen causas suficientes para reflexionar sobre esta circunstancia en el contexto del entrenamiento de los levantadores.

Conclusiones

Los resultados del presente estudio permiten afirmar que los levantadores que superan una carga relativa superior, esto es, aquellos que disponen de un mayor potencial dinámico, utilizan un patrón técnico diferenciado que influye en la trayectoria que describe la barra, caracterizada por una mayor verticalidad. Estos resultados vienen a sugerir que en la preparación técnica de los levantadores, el desarrollo de una habilidad tal que les permita levantar la barra siguiendo una trayectoria próxima a la línea vertical de referencia constituye un objetivo que puede reportar beneficios en la ejecución del movimiento de Arrancada.

En el caso particular de los desplazamientos de los pies, y dada su influencia en la trayectoria de la barra, la atención debería ser más importante porque estos desplazamientos se producen como consecuencia de la dirección de las fuerzas que se generan a partir del impulso de las piernas. Un factor técnico que puede ser reorientado a través del entrenamiento en beneficio de las características físicas y dinámicas de cada levantador.

El éxito del levantamiento depende de una base multifactorial que se materializa de forma individual en el patrón técnico de cada levantador. En el presente trabajo se han detectado diferencias en la trayectoria de la barra en levantadores de diferente nivel de rendimiento entendido en términos relativos. Pero estas diferencias constituyen tan sólo un pequeño avance en el conocimiento del problema básico como es la obtención del máximo rendimiento. De hecho, las diferencias encontradas no son suficientemente sólidas para asumir la existencia de patrones técnicos diferenciados en la Arrancada, todo lo cual refuerza la idea de que el entrenamiento debe orientarse desde una perspectiva abierta e individualizada para ayudar a los levantadores a construir un patrón individual lo más eficiente posible.

Referencias bibliográficas

- Abdel-Aaziz, Y. I. y Karaka, H. M. (1971). Direct linear transformation por comparator coordinates in close range photogrammetry. *En ASP Symposium on Close Range Photogrammetry*, American Society of Photogrammetry (eds.), ASP, Falls Church, 1-18.
- Bartonietz, K.E. (1996). Biomechanics of the snatch: toward a higher training efficiency. *Strength and Conditioning*, 18, 24-31.

- Baumann, W.; Gorss, V.; Quade, V.; Galbierz, P. y Schwirz, A. (1988). The snatch technique of world class weightlifters at the 1985 world championships. *International Journal of Sport Biomechanics*, 4, 68-89.
- Bernstein, N. A. (1967). *The Coordination and Regulation of Movement*. Baltimore: Pergamon Press.
- Campos, J.; Poletaev, P.; Cuesta, A.; Pablos, C. y Carratalá, V. (2006). Kinematical analysis of the snatch in elite male junior weightlifters of different weight categories. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20 (4), 843-850
- Canavan, P. K.; G. E. Garret y L. E. Armstrong (1996). Kinematic and kinetic relationships between an Olympic-style lift and the vertical jump. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 10; 127-130.
- Enoka, R. M. (1988). Load –and skill– related changes in segmental contributions to weightlifting movement. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20 (2), 178-187.
- Garhammer, J. (1985). Biomechanical profiles of Olympic Weightlifters. *International Journal of Sports Biomechanics*, 1(2) 122-130.
- (1992). A comparison of propulsive forces for weightlifting and vertical jumping. *Journal of Applied Sport Sciences Research*, 6, 129-134.
- González Badillo, J. J. (1991). *Halterofilia*. Comité Olímpico Español.
- Gourgoulis, V.; Aggeloussis, N.; Mavromatis, G. y Garas, A. (2000). Three-dimensional kinematic analysis of the snatch of elite Greek weightlifters. *Journal of Sports Sciences*, 18, 643-652.
- Isaka, T.; Okada, J. i Funato, K. (1996). Kinematic analysis of the barbell during the snatch movement of elite Asian weight lifters. *Journal of Applied Biomechanics*, 12, 508-516.
- Luchkin, N. I. Tiazhelaya atletika (1962). (*Weightlifting*). Moskva. Ed. Fiskultura y sport].
- Lukashev, A. A. (1972). Лукшев А.А. Анализ техники выполнения рывка тяжёлоатлетами высокой квалификации. Автореф. Дисс. На соискание учён. степени канд. Пед. Наук. (734) М. 1972. [*Analysis of the Snatch Technique in elite weightlifters*. Doctoral Thesis. National Central Institute of Physical Culture. Moscow.
- Schilling, B.; Stone, M.; O'Bryant, H.; Fry, A.; Coglianese, R. y Pierce, K. (2002). Snatch Technique of Collegiate National Level Weightlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16 (4), 551-555.
- Stone, M. H.; O'Bryant, H. S.; Williams, F. E.; Johnson, R. L. y Pierce, K. C. (1998). Analysis of bar during the Snatch in elite male weightlifters. *Journal of Strength Conditioning*. 20 (5):30-38
- Vorobyev, A.N. (1974). *Halterofilia. Ensayo sobre fisiología y entrenamiento deportivo*. Méjico.
- *A textbook on weightlifting*. Budapest: International Weightlift Federation.
- Woltring, H. J. (1986) Fortran package for generalized, cross validation spline smoothing and differentiation. *Adv. Eng. Software*, 6, 104-113.