

Propiedades biomecánicas del músculo y su aplicación al lanzamiento de peso

Miguel Martínez y Eusebio Esparza

Resumen

Después de una somera profundización de las propiedades biomecánicas del músculo, se intenta evidenciar de qué manera inciden éstas en el gesto técnico del lanzamiento de peso. A continuación se sugiere una modificación de la técnica clásica de lanzamiento (técnica O'Brien) y se discuten las posibilidades de aumentar su rendimiento en base a suposiciones teóricas y a una pequeña experiencia realizada.

Introducción

Según las leyes de la mecánica, la longitud horizontal que alcanza un proyectil (L) depende de la velocidad inicial en el momento del despegue (v), del ángulo de proyección (α) y de la altura del lanzamiento (h), si consideramos despreciables las fuerzas de rozamiento del aire sobre el artefacto.

$$L = \frac{v^2 \operatorname{sen} 2\alpha}{g} + \frac{h}{\operatorname{tag} \alpha}$$

De los tres factores citados, la velocidad del proyectil en el momento del despegue es el más importante, ya que la distancia horizontal alcanzada es proporcional al cuadrado de esta velocidad. Transfiriendo lo anterior a la modalidad atlética del peso, podemos afirmar que la distancia alcanzada en un lanzamiento de peso depende fundamentalmente de la velocidad que tiene el artefacto en el momento que

abandona la mano del atleta lanzador.

Las dimensiones del círculo de lanzamiento determinan que las fuerzas aplicadas al artefacto queden limitadas a un reducido trayecto, y por ende, el lanzador dispone de poco tiempo para acelerar el peso y conferirle una velocidad máxima. En los mejores lanzadores, la velocidad del peso pasa de 2'5 m/s al final de la fase de deslizamiento a valores de 14 m/s en el momento de la pérdida de contacto con la mano del lanzador (Koltai, 1976). Este cambio tan importante en la velocidad del artefacto se realiza en una trayectoria de unos 1'6 - 1'8 m y la acción dura 20-30 centésimas de segundo. Barajando los anteriores datos podemos afirmar que la aceleración que se le imprime al peso es importante y que el rendimiento que se saca de este corto trayecto de aceleración es muy alto.

En el desarrollo y evolución de la técnica de lanzamiento de

peso para conseguir altos niveles de aceleración y rendimiento han contribuido estudios biomecánicos (Ariel, 1973; Dessureault, 1978; Marhold, 1974; Renard, 1976; Zatsiorsky, Lanka y Shalmanov, 1981) y apreciaciones de entendidos en el tema (Dyson, 1975; Erdozain, 1977; Grigalka, 1981; Kemp, 1979; Koltai, 1976; Koslov, 1970; Spenke, 1976; Winch, 1976). Sin embargo, de entre estos estudios no hemos encontrado referencias claras sobre la manera más adecuada de aprovechar la fuerza del músculo durante el lanzamiento. Los autores citados escriben sobre distancias, tiempos, ángulos, aceleraciones, velocidades, fuerzas, etc., sin relacionar el máximo rendimiento del gesto técnico con el máximo rendimiento de la acción de los músculos actuantes en el lanzamiento de peso. Sólo Koltai (1976) hace referencia a la mayor eficacia muscular que se consigue con el estiramiento de los músculos del tronco en el inicio de la fase del lanzamiento propiamente dicha.

La fibra muscular desarrolla diferentes tensiones según sea su estimulación y la circunstancia en que se encuentre (contracción isométrica, concéntrica o excéntrica). Nuestro interés con este trabajo se centra en indagar bajo qué situaciones en el lanzamien

to de peso se aprovechan mejor las propiedades mecánicas del músculo. Partimos de un análisis básico de las propiedades mecánicas del músculo para comprender de qué manera inciden éstas en el gesto técnico del lanzamiento de peso. A continuación se sugiere una modificación de la técnica O'Brien y se discuten las posibilidades de incrementar su rendimiento en base a una pequeña experiencia realizada y a suposiciones teóricas.

Propiedades mecánicas del músculo

La velocidad que adquiere un móvil después de aplicarle una fuerza en un trayecto de aceleración depende del impulso ($F \times t$); es decir, la velocidad de salida del móvil será más alta si se incrementa la fuerza o el tiempo de actuación.

Gráficamente, la velocidad de salida de un artefacto en un movimiento explosivo estará en función del área que encierra la curva $F - t$ (figura 1).

rior puede cambiar y acercarse a la configuración de la figura 1.b. Con la contracción isométrica previa el área del impulso ha aumentado, y por consiguiente la velocidad de salida del artefacto será superior.

Además en una contracción isométrica el mecanismo contráctil trabaja al principio de la excitación estirando los elementos elásticos del músculo y esta energía elástica puede ser utilizada en movimientos de propulsión como el lanzamiento (Delhez, 1982).

El fenómeno de la potenciación postetánica también podría influir positivamente en un gesto de lanzamiento, si éste se realiza inmediatamente después de una contracción isométrica máxima. En muchos músculos, si se registra la tensión después de un impulso simple antes y después de un período de estimulación tetánica, la contracción postetánica provoca mayor tensión que la pretetánica (O'Connell and Gardner, 1972).

A pesar de las ventajas que supone iniciar un movimiento

después de un estiramiento del músculo que cuando empieza desde un estado de contracción isométrica (Cavagna, Dusman and Margaria, 1968; Bergel et al, 1972).

Un músculo que se contraiga después de haber sido estirado es capaz de acortarse contra una fuerza igual o superior que la isométrica (Cavagna, 1974). Asimismo, después del estiramiento de un músculo, se ha encontrado un deslizamiento de la relación fuerza-velocidad hacia velocidades más elevadas (Edman, Elzinga and Noble, 1976).

El fenómeno de estiramiento previo a una contracción produce mejora de las propiedades elásticas y potencia el componente contráctil del músculo (Cavagna, 1978). Estas ventajas se mantienen y se potencian si aumenta la velocidad del estiramiento (Cavagna, 1968), en movimientos de poca amplitud (Thys et al, 1975), y si existe poco espacio de tiempo entre el estiramiento y el acortamiento (Margaria et al, 1963).

Después de un estiramiento muscular, además de mejorarse las propiedades elásticas y contráctiles de la fibra, también se aprovecha el reflejo de estiramiento (miotático) sacando partida de la actividad de los husos neuromusculares (Astran, 1980).

En un ser vivo, este estiramiento rápido, enérgico e inmediatamente anterior de un acortamiento muscular se produce muchas veces cuando una contracción excéntrica de un músculo precede a una contracción concéntrica del mismo músculo. En el hombre se ha estudiado mucho este fenómeno de preestiramiento utilizando la acción del detente con movimiento contrario previo (Hochmuth, 1973; Fukashiro et al, 1983; Bosco and Komi, 1981). De estos estudios se deduce que el grado de contracción excéntri-

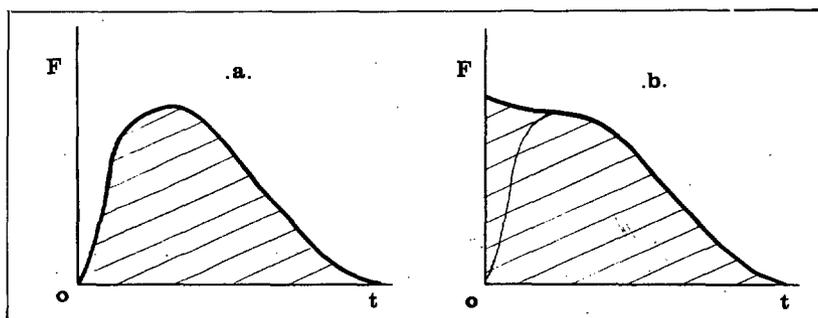


Fig. 1. Representación gráfica del impulso ($F \times t$).

- a) Actuación concéntrica del músculo (fuerza inicial igual a cero).
- b) Actuación isométrica previa del músculo (se parte de una fuerza inicial superior a cero).

En toda actuación concéntrica del músculo la fuerza inicial es cero (figura 1.a); en cambio, si previamente a la contracción concéntrica el músculo se encuentra en un estado de contracción isométrica, la curva ante-

explosivo con una contracción isométrica previa, se ha encontrado que la fuerza ejercida y el trabajo positivo desarrollado por una contracción concéntrica son superiores cuando el acortamiento empieza inmediatamente

ca de un músculo, previo a la contracción concéntrica del mismo músculo, tiene un valor ideal para cada movimiento y para cada persona. Hemos encontrado un estudio sobre la influencia del preestiramiento en la flexión del codo con resultados en la misma línea que los obtenidos con el movimiento de detente (Van Leemputte et al, 1983).

Si usamos la terminología del entrenamiento, podemos concluir este apartado diciendo que en los movimientos donde se pretende conseguir una elevada velocidad final (tal como es el caso del lanzamiento de peso), la fuerza de contracción concéntrica de los músculos que van a impulsar el cuerpo será superior si aquella es precedida de una contracción isométrica, y aún será mucho mejor el resultado de la contracción concéntrica si es precedida de una contracción excéntrica idónea o de un estiramiento de dicho músculo.

Potenciación de la acción muscular en la técnica O'Brien

En la técnica O'Brien, de todos conocida, se aprovecha el fenómeno de la potenciación muscular después de un preestiramiento del músculo.

El adelantamiento de la línea de caderas a la línea de hombros, después de la fase de deslizamiento, tiene la ventaja de estirar los músculos del tronco (Zatsiorky, Lanka and Shalmanov, 1981). Durante el deslizamiento, la pelvis al moverse hacia adelante gira de modo natural provocando un movimiento de giro del cinturón escapular. En este momento, con la ayuda del brazo izquierdo puede pararse el movimiento de giro del cinturón escapular, creándose así una pretensión de los músculos del tronco (Grigalka, 1981). Si después

del deslizamiento el pie derecho cae con un ángulo de 90° en relación a la dirección del lanzamiento, en vez de 45° como empezó siendo en la técnica O'Brien, se crea una pretensión mayor de los músculos rotadores del tronco (Kemp, 1979).

No hemos encontrado referencias sobre el efecto de potenciación por preestiramiento de la musculatura extensora de las piernas. Sin embargo, analizando el gesto técnico del lanzamiento de peso, podemos determinar dos momentos en los que se da el fenómeno de preestiramiento de los extensores de las piernas. Uno es el de la fase preparatoria, justo antes de impulsar hacia atrás con el pie de-

recho (en figura 2. posición 2). El otro momento se produce una vez finalizado el deslizamiento: la pierna derecha potencia su musculatura extensora cuando se encarga de frenar el movimiento hacia adelante (en figura 2. posiciones 5 y 6), y en la pierna izquierda se produce el preestiramiento un poco después, también cuando contacta con el suelo contenedor y acaba de frenar el movimiento hacia adelante (en figura 2, posiciones 7 y 8).

Aunque no hemos encontrado ninguna referencia al respecto, suponemos que la potenciación muscular por preestiramiento también afecta a los músculos flexores horizontales del hom-

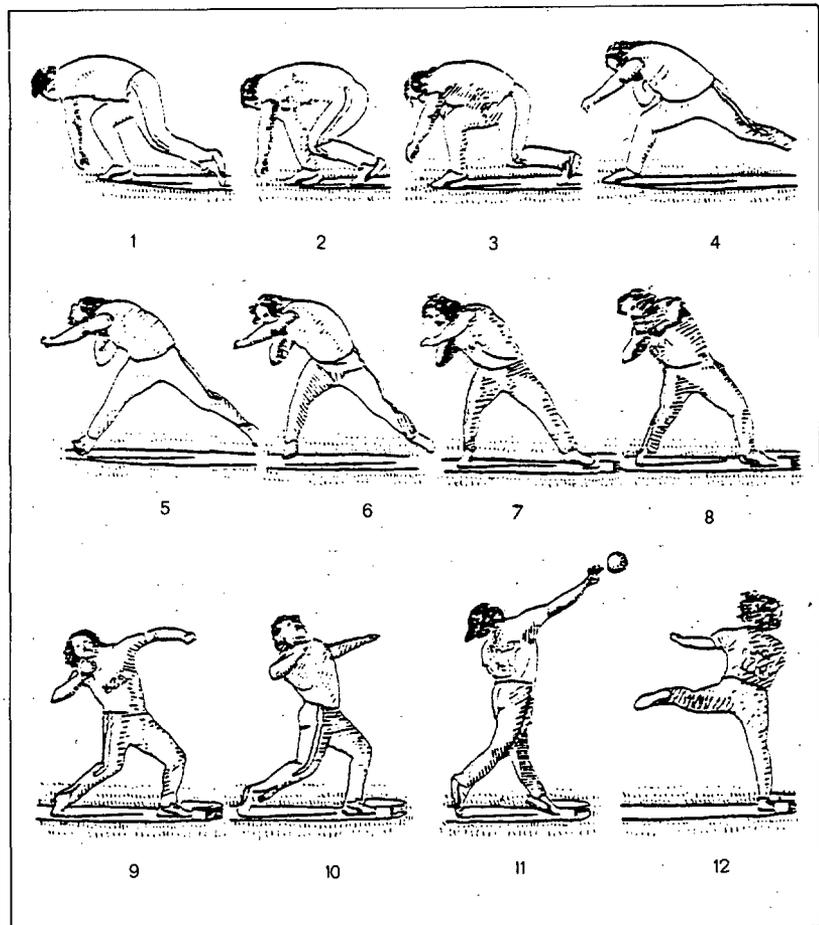


Fig. 2. Cinegrama de un lanzamiento de Al Feuerbach (Winch, 1976).

bro, debido al adelantamiento de la línea de caderas a la de hombros y al consiguiente efecto de "latigazo". (El pectoral mayor, músculo motor principal de la flexión horizontal del hombro, se preestiraría justamente antes de empezar su acción agonista.)

Por el mismo fenómeno, también puede existir un preestiramiento de la musculatura flexora de la muñeca cuando se está extendiendo el codo, siempre y cuando el movimiento en ese punto sea acelerado. El peso apoyado en las yemas de los dedos y actuando de resistencia en una palanca cuyo eje de giro es la articulación de la muñeca, tendería a extender tanto los dedos como la muñeca si se le suministrara una fuerza capaz de acelerar el móvil.

No encontramos ningún momento, ni en las referencias bibliográficas ni en el análisis teórico, en que se favorezca la acción muscular por preestiramiento de los músculos del codo. Es curioso, por otra parte, que Koltai (1976) preconice una mejora en la proporción existente entre la fuerza de piernas por un lado y la fuerza del brazo y la mano por otro, en favor de estos últimos grupos musculares del miembro superior. Es difícil que se consiga el efecto de preestiramiento en los grupos musculares extensores del codo, por la razón de que el artefacto, según el reglamento de atletismo, tiene que tocar o estar muy cerca de la barbilla durante la acción del lanzamiento y la mano no puede descender en ese trayecto.

Por estas razones, pensamos que sería interesante potenciar la musculatura extensora del codo mediante una contracción isométrica previa. A pesar de que las propiedades elásticas y contráctiles del músculo no mejoraran como ocurre cuando se preestira el músculo, sí que nos podríamos beneficiar del incremento de fuerza inicial y de la recu-

peración de la energía elástica si coordinamos bien una presión isométrica en el transcurso de la coordinación global del movimiento; e incluso, si la contracción isométrica fuera muy fuerte, nos beneficiaríamos de la potenciación muscular postetánica.

Modificación de la técnica O'Brien

Desde una posición puramente teórica que acabamos de justificar, pensamos que la contracción isométrica de la musculatura extensora del codo tenía que producirse justo antes de que estos músculos iniciaran su acción en el lanzamiento y por un espacio de tiempo de unas 5 décimas de segundo. Este espacio de tiempo de actuación isométrica lo justificamos con la gráfica de la figura 3.

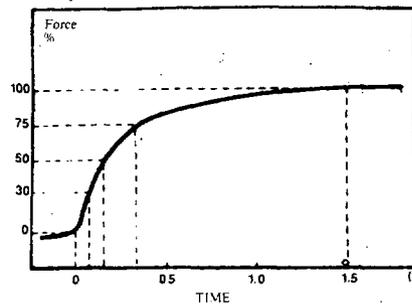


Fig. 3. Representación esquemática de los tiempos necesarios para alcanzar diferentes niveles de fuerza durante un máximo esfuerzo isométrico (Komi, 1983).

Podemos observar que con 0'5 segundos de esfuerzo máximo isométrico se consiguen niveles de fuerza muy grandes, y a partir de ahí la mejoría de fuerza en el transcurso del tiempo es muy pequeña.

La contracción isométrica de la musculatura citada la procuraríamos mediante una oposición al movimiento con la mano contraria haciendo presión sobre

el peso (figura 4.a). La práctica nos enseñó que una contracción isométrica en estas condiciones sobrecarga en exceso la musculatura flexora de la mano en com-

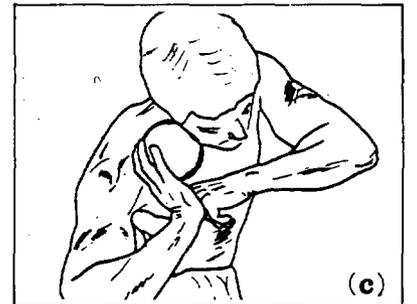
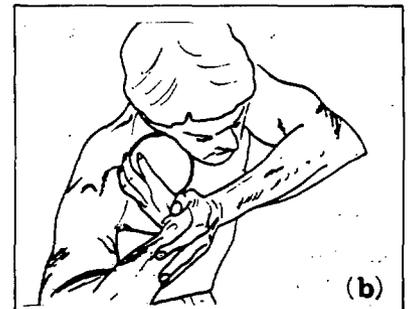
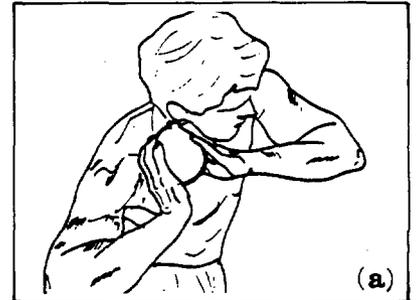


Fig. 4. Diferentes formas de provocar una contracción isométrica dependiendo de la manera de hacer la oposición con la mano no ejecutora:

- a) Oposición sobre el peso con la otra mano.
- b) Oposición sobre la parte proximal del carpo con el carpo de la mano contraria.
- c) Oposición sobre el carpo con el puño cerrado de la otra mano.

paración a la extensora del codo ya que el brazo de palanca en la muñeca es muy grande. Por ello cambiamos el punto de oposición en la mano ejecutora hasta

situarlo sobre la porción proximal del carpo presionando con el puño o carpo de la mano contraria, según la afinidad del lanzador (figuras 4.b y c).

La oposición con la mano izquierda se iniciaría en un momento determinado de la fase preparatoria de tal manera que el final de la contracción isométrica de unos 0'5 segundos finalice justo antes de que entren en actuación concéntrica el pectoral mayor y tríceps (coincide con la posición 8 de la fig. 2). En cierta manera, tanto el pectoral mayor como el flexor horizontal del hombro quedarían un poco influenciados por la contracción isométrica.

En el cinegrama de la figura 2, podemos observar que sería fácil y no muy incómodo realizar la

oposición con la mano izquierda desde la posición 1 a la 8, ya que la única posición segmentaria que variaría sería la colocación del miembro superior izquierdo, que en lugar de llevarse estirado tendría que ir flexionado por el codo y su mano haciendo oposición sobre el carpo de la otra mano. Hemos intentado ejemplarizar lo anterior con las fotos presentadas en la figura 5.

Se necesitaría, eso sí, una gran coordinación y dominio del movimiento para que una contracción isométrica de unos músculos no perturbe el estado tónico ideal y la coordinación de los restantes músculos actuantes en el gesto del lanzamiento.

Experimentación y conclusiones

Para que no todo quedara en suposiciones exclusivamente teóricas, nos propusimos iniciar la experimentación de nuestras hipótesis.

Decidimos experimentar a partir de la posición fundamental de lanzamiento ya que, aunque el desplazamiento tenga su importancia, en un lanzamiento de unos 18'20 m sólo interviene en un 7% aproximadamente (Dyson, 1976). Además, es mucho más fácil, en un primer estadio de aprendizaje, coordinar la contracción isométrica con el resto del movimiento partiendo de la posición básica de lanzamiento que realizando un deslizamiento previo.

Dos entrenadores de atletismo y dos licenciados en Educación Física con un nivel básico de la

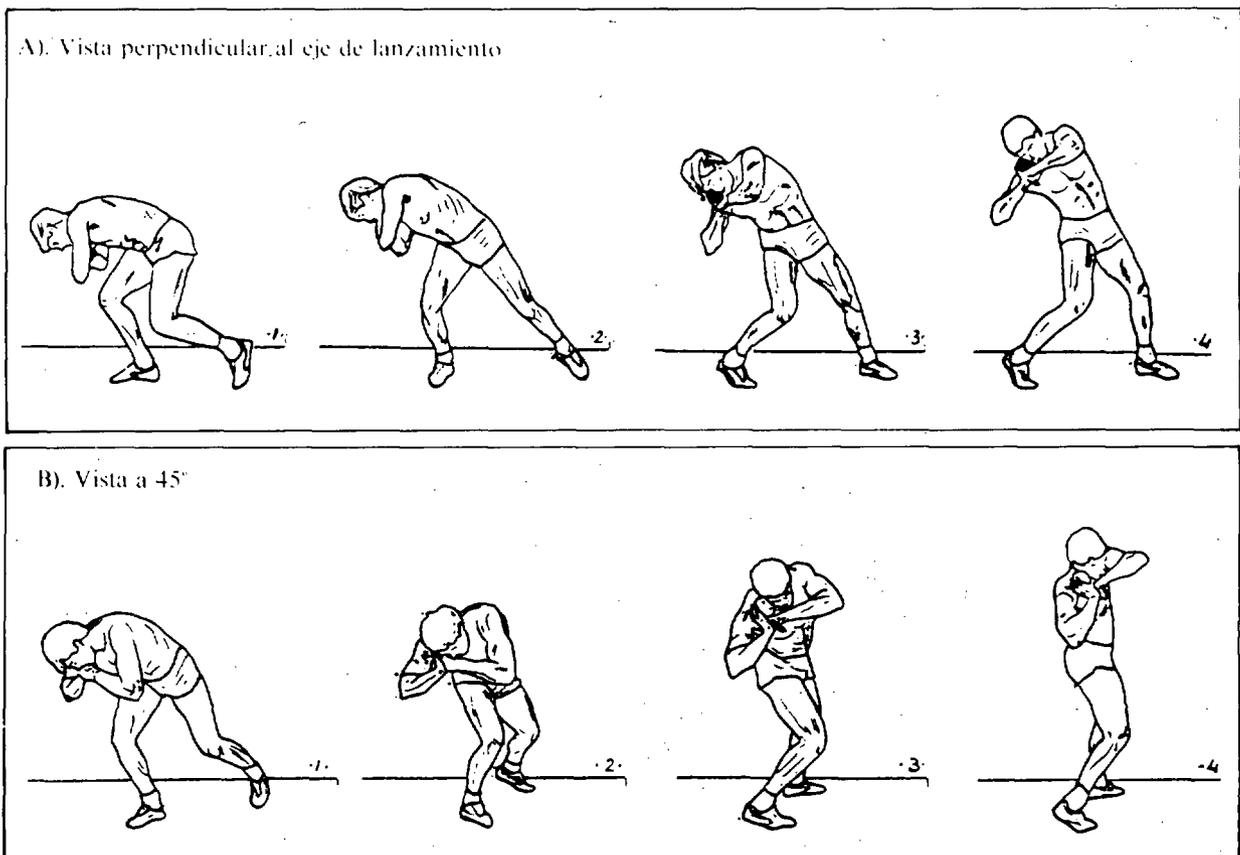


Fig. 5. Fotogramas secuenciados del lanzamiento de peso (técnica O'Brien) incorporando la oposición con la mano izquierda. A partir del fotograma nº 4, la técnica de lanzamiento y las posiciones segmentarias serían iguales que en la técnica O'Brien.

técnica de lanzamiento, y un atleta lanzador de peso en activo fueron los sujetos de nuestra experimentación. Después de un calentamiento estandarizado se les explicaba la nueva forma de lanzamiento. Desde la posición básica de lanzamiento y haciendo oposición con la mano izquierda sobre el carpo de la ejecutante, realizaban una contracción isométrica desde una señal sonora a la siguiente (separadas en el tiempo 0'5 segundos), e inmediatamente después efectuaban el gesto de lanzamiento habitual del sujeto.

Una vez que habían practicado un par de veces el lanzamiento normal y otro par de veces el lanzamiento con contracción isométrica, se les medían 10 lanzamientos de cada tipo intercálándolos cada dos minutos. El peso utilizado fue el habitual para el atleta en activo y de 4 kg para los demás. Pensamos que un peso de 4 kg supondría igual carga para sujetos de unos 70 kg no entrenados que uno de 7'260 kg en un lanzador entrenado.

La media de los 10 lanzamientos en cada modalidad (normal y con contracción isométrica previa) para cada sujeto se exponen en la tabla I.

Podemos observar que sólo un sujeto obtuvo una media superior utilizando el lanzamiento con previa contracción isométrica. Los demás lanzan más con su habitual técnica pero en ningún caso se aprecian grandes diferencias.

Si comparamos en cada sujeto las medias y desviaciones de los cinco primeros lanzamientos de cada modalidad con las medias y desviaciones de los cinco últimos, obtenemos por regla general disminuciones de las dispersiones en los cinco últimos lanzamientos con contracción isométrica. En los sujetos 3 y 5 se hace muy evidente e incluso se da un notable incremento en el rendimiento (el sujeto 3, lanzado con contracción isométrica previa, pasa de una media de $11'49 \pm 0'71$ en los cinco primeros lanzamientos a $12'03 \pm 0'23$ en los cinco últimos. El sujeto 5, en las mismas circunstancias, pasa de $9'84 \pm 1'15$ a $10'97 \pm 0'37$ m).

Si tomamos la dispersión como un índice indirecto del grado de coordinación de la técnica, se comprueba que con sólo cinco lanzamientos se disminuye bastante la dispersión del lanzamiento con contracción isométrica; es decir, con sólo cinco lanzamientos se afianza bastante la coordinación técnica del nuevo gesto de lanzamiento. Esto se hace muy patente en el lanzador en activo: de una dispersión de 1'15 m pasa a 0'37 m. No obstante, la experiencia nos mostró que se necesita un cierto aprendizaje para sacar el máximo provecho de la innovación que introducimos en la técnica O'Brien. Dos de nuestros sujetos realizaron la mayor parte de sus intentos sin lograr que cesara la contracción isométrica en el ini-

cio de la extensión del codo.

Los sujetos 1 y 3 lanzando con contracción isométrica previa proyectaban el peso con trayectorias mucho más bajas que cuando lanzaban con su habitual técnica. Como cuando el ángulo de proyección del peso es demasiado pequeño se atribuye la falta a la escasa acción de piernas y tronco (Dyson, 1975), cabría preguntarse si la concentración en la presión isométrica sobre el carpo perturba la acción de piernas y tronco en los sujetos mencionados.

La ligera diferencia a favor de la técnica habitual del sujeto, en relación a la técnica con contracción isométrica previa, podía ser debida a que:

a) La modificación técnica repercute en la coordinación del movimiento. No sabemos si, después de un período de aprendizaje y práctica, estas diferencias disminuirían o, incluso, cambiarían de signo.

b) La contracción isométrica en ese momento del lanzamiento vaya en detrimento de otras circunstancias del lanzamiento tradicional que lo potencian. Por ejemplo, el brazo izquierdo cumple en muchos lanzadores la función de aumentar el grado de estiramiento de los músculos rotadores del tronco; si la mano izquierda se apoya contra el carpo de la ejecutante se pierde esta función, y si el sujeto quiere mantener el mismo grado de estiramiento en la citada muscula-

	Sujeto 1		Sujeto 2		Sujeto 3		Sujeto 4		Sujeto 5	
Lanzamiento NORMAL	11'61	0'71	9'78	0'35	12'05	0'64	7'16	0'16	11'61	0'29
Lanzamiento con CONTRACCIÓN ISOMÉTRICA previa	10'77	0'41	10'15	0'38	11'76	0'57	6'86	0'25	10'41	1'0

Media y desviación de 10 lanzamientos de peso para cada modalidad y en cada sujeto. El sujeto 5 es el lanzador en activo.

tura tendría que meter más el pie derecho hacia la dirección del lanzamiento.

Con nuestra pequeña experimentación no hemos querido ni validar ni invalidar una hipótesis; sólo hemos pretendido vivenciar unas consideraciones teóricas y ahondar un poco más en el gesto técnico del lanzamiento de peso. La investigación propiamente dicha podría empe-

zar aquí y los siguientes interrogantes podrían servir de referencia:

- Después de un aprendizaje de las dos modalidades de lanzamiento (O'Brien y O'Brien + contracción isométrica), ¿con cuál se consiguen mejores resultados?

- ¿Con el mentón se puede realizar una oposición al movimiento parecida a la que hemos descrito?

- ¿Merece la pena complicar más la actual técnica de lanzamiento para conseguir potenciar la musculatura extensora del codo, cuando ésta interviene en un porcentaje reducido del lanzamiento global?

Esperemos que este trabajo sea útil a entrenadores y atletas para ahondar más en esta atractiva especialidad y permita vislumbrar nuevas posibilidades de mejora de su actual rendimiento.

Bibliografía

ARIEL, I. "Análisis biomecánico de los mejores lanzadores de peso mundiales procesado mediante ordenador". VI Congreso Internacional de la ITFCA, Madrid, 1973.

ASTRAND, P.O. y RODAHL, K. *Précis de Physiologie de l'exercice musculaire*. Masson, Paris, 1980.

BERGEL et al. "The effect of stretching a contracting muscle on its subsequent performance". *Journal of Physiology*, 225, 1972, pp. 21-22.

BOSCO, C. and KOMI, P.V. "Influence of counter-movement in potentiation of muscular performance". en *Biomechanics VII*, University Park Press, Baltimore, 1981, pp. 129-135.

CAVAGNA, G.A. "Storage and utilization of elastic energy in skeletal muscle", en *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 5, 1977, pp. 89-129.

CAVAGNA, G.A. "Aspects of efficiency and inefficiency of terrestrial locomotion", en Asmussen and Jorgesen (eds.), *Biomechanics VI*, University Park Press, Baltimore, 1978.

CAVAGNA, G.A. y CITTERIO, G. "Effect of stretching on the elastic characteristics and the contractile component of frog estriated muscle". *Journal of Physiology*, 239, 1974, pp. 1-4.

CAVAGNA, G.A., DUSMAN, B. y MARGARIA, R. "Positive work done by previously stretched muscle". *Journal of Applied Physiology*, 24, 1968, pp. 21-32.

DELHEZ, L. *Analyse des mouvements*. Texto ciclostilado del Institut Supérieur d'Éducation Physique de la Université de Liège. 1982.

DESSUREAULT, J. "Kinetic and Kinematic factors involved in shot putting", en Asmussen and Jorgensen (eds.), *Biomechanics VI*, University Park Press, Baltimore, 1978.

DYSON, G. *Mécanique en athlétisme*. Vigot Frères, Paris, 1975.

EDMAN, A.P. ELZINGA, G. y NOBLE, M.J. "Force enhancement induced by stretch of contracting single isolated muscle fibers of the frog". *Journal of Physiology*, 257, 1976, pp. 58-59.

ERDOZAIN, M.A. "Traectoria de desplazamiento del peso durante el lanzamiento". *Athlétisme Español*, 267, 1977, pp. 17-24.

FUKASHIRO et al. "Utilization of stored elastic energy in leg extensors", en *Biomechanics VIII*, Human Kinetic Publishers, Illinois, 1983.

GRIGALKA, O. "Sobre la técnica del lanzamiento de peso, situación actual y perspectivas". *Cuadernos de*

Atletismo, 6, 1981, pp. 73-91.

HOCHMUTH, G. *Biomecánica de los movimientos deportivos*. INEF, Madrid, 1973.

KEMP, M. "Modificaciones de la técnica O'Brien". *Modern Athlete and Coach*, 17 (2), 1979.

KOLTAI, J. "Estudios de los experimentos llevados a cabo en el pasado en el campo de la técnica del lanzamiento de peso". *Atletismo Español*, 68, 1976, pp. 17-21.

KOMI, P.V. "Neuromuscular performance: Factors influencing force and speed production". *Scand. J. Sports Sci.* 1 (1), 1979, pp. 2-15.

KOSLOV, V. "Lanzamientos atléticos. Aplicación de máxima potencia". *Modern Athlete and Coach*, Julio, 1970.

MARGARIA, R., CAVAGNA, G.A. y SAIBENE, F.P. "Possibilità di sfruttamento dell'elasticità del muscolo contratto durante l'esercizio muscolare". *Bolletino della Società Italiana di Biologia Sperimentale*, 106, 1963, pp. 1815-1816.

MARHOLD, G. "Biomechanical analysis of the shotput", en Nelson and Morehouse (eds.), *Biomechanics IV*, University Park Press, Baltimore, 1974, pp. 175-179.

O'CONNELL, A. y GADNER, E. *Understanding the Scientific Bases of Human Movement*. Williams and Wilkins, Baltimore, 1972.

RENARD, D. *Lancer du poids en rotation*. Tesina de licenciatura en la Université Libre de Bruxelles, 1976.

SPENKE, J. "Problemas de la técnica y del entrenamiento en el lanzamiento de peso". *Atletismo Español*, 252, 1976, pp. 24-28.

THYS, H., CAVAGNA, G.A. y MARGARIA, R. "The role played by elasticity in an exercise involving movements of small amplitude". *Pflügers Archiv*, 354, 1975, pp. 281-286.

VAN LEEMPUTTE, M. et al. "Influence of pre-stretch on armflexion" en *Biomechanics VIII*, Human Kinetic Publishers, Illinois, 1983, pp. 270-274.

WINCH, H. "La prochaine révolution en lancer du poids". *Moderns athlete and Coach*, mars 1976.

ZATSIORSKY, V.M. LANKA, G.E. y SHALMANOV, A.A. "Biomechanical analysis of shot putting technique", en *Exercise and Sports Science Reviews*, 9, 1981, pp. 353-389.