

Fundamentos biomecánicos del ejercicio pliométrico

*Profesora titular de biomecánica en la facultad de la Universidad de Ciencias de la Cultura Física y el Deporte en Pinar del Río.

**Profesor de Biomecánica en la facultad de la Universidad de Ciencias de la Cultura Física y el Deporte en Pinar del Río.

***Especialista en Medicina del Deporte. Instituto de Medicina deportiva en Pinar del Río

Msc. Zelma Quetglas González*

Lic. Omar Iglesia Pérez**

Dr. Razel Martínez Quetglas***

zelmagg@inder.cu

(Cuba)

Resumen

Los ejercicios pliométricos se transformaron en fundamentales para el proceso de preparación física después que diferentes científicos, demostraron los beneficios que producían. Para posibilitar un mejor aprovechamiento de sus beneficios en el desarrollo de la fuerza explosiva, se requiere explotar las leyes de la mecánica considerando la estructura y funciones del hombre como sistema biomecánico. Esta razón condujo a la determinación de cinco fundamentos biomecánicos: la elasticidad como propiedad mecánica del músculo, la característica cinemática duración, el principio de la fuerza inicial, el principio del curso óptimo de aceleración y el principio de reacción, que como sustento de los ejercicios pliométricos, posibilitarán una mejor selección de los mismos, garantizando un mejor aprovechamiento de sus beneficios en el desarrollo de la fuerza explosiva.

Palabras clave: Biomecánica. Ejercicio pliométrico. Fuerza explosiva.

Introducción

Al analizar la segunda Ley de Newton en su forma mas sencilla ($F = ma$), se deduce que se puede generar la misma fuerza moviendo una carga pesada (gran masa) con poca aceleración, que moviendo una carga ligera con gran aceleración, aunque la intención del entrenamiento es diferente.

Los ejercicios con resistencias normales, con pesos, se basan en cargas de inercia alta, o sea lo que se aumenta es la masa, teniendo como efecto el desarrollo de fuerza máxima. En otros ejercicios se emplean cargas de inercia relativamente baja, en este caso es la aceleración la que aumenta, teniendo como efecto el desarrollo de la fuerza explosiva, de hecho nos estamos refiriendo a los ejercicios pliométricos.

Desde las décadas del 70 y el 80 del siglo XX, cuando varios científicos demostraron los beneficios que producían los entrenamientos que utilizaban ejercicios con efectos pliométricos, se asume el método pliométrico como la metodología para producir la adaptación neuromuscular que facilite movimientos rápidos y potentes, basado en la mejora de la capacidad reactiva del sistema neuromuscular (Verkhoshansky, 1999).

La particularidad que caracteriza los ejercicios en el método pliométrico, está dada en que la tensión muscular generada bajo la ejecución de los mismos se alcanza por medio de un estiramiento brusco en el instante en el que el cuerpo, o el implemento que cae, es detenido.

Bajo la consideración de que en los ejercicios del método pliométrico, como estímulo mecánico externo para la actividad muscular (carga), se utiliza la energía cinética acumulada por el cuerpo del deportista, o de un implemento, durante la caída libre desde cierta altura, nos propusimos determinar los fundamentos biomecánicos que los sustentan, para la aplicación exitosa de los mismos.

Desarrollo

Para determinar los fundamentos biomecánicos del ejercicio pliométrico, resultó imprescindible examinar las fases de estos ejercicios explicadas por Siff y Verkhoshansky (2000) y las expresadas por Komi (2010), los que difieren en número y nombre de las fases. Pese al nombre y número utilizado para designar las fases

en los ejercicios pliométricos, fueron objeto de análisis los acontecimientos que sucedían en ellas, desde el inicio hasta el término de la secuencia, en particular las respuestas fisiológicas ante el estiramiento muscular como estímulo mecánico en la actividad pliométrica.

Inicialmente el cuerpo o parte del cuerpo se mueve debido a la energía cinética que se ha generado en la acción precedente, o sea, cuando se deja caer desde determinada altura, denominando a este hecho fase de impulso inicial.

Ese movimiento termina al contactar con una superficie, este contacto además de evitar que el miembro siga moviéndose, provoca que el músculo se contraiga, a la ocurrencia de este hecho se le nombra fase de impacto (choque).

Esa contracción muscular que aparece, contracción excéntrica del músculo, va acompañada del estiramiento de los componentes elásticos en serie (CES), lo que conduce al almacenamiento de energía potencial elástica. A la vez ese estiramiento muscular genera un poderoso reflejo de estiramiento o miotático. Estos sucesos tan importantes ocurren en la fase que Siff. y Verkhoshansky nombraron de amortiguamiento.

El tránsito de la contracción excéntrica a la concéntrica no es directo, entre el final de la contracción excéntrica y el inicio de la contracción concéntrica hay una contracción isométrica explosiva que dura un tiempo llamado de acoplamiento.

Es este tiempo de acoplamiento quien determina si una acción forma o no parte de la pliometría clásica, la que se acepta si su duración es inferior a 0,15 segundos, en correspondencia con el tiempo de vida de los puentes cruzados de actina – miosina.

Los fenómenos ocurridos por el estiramiento muscular (contracción excéntrica), potencian la contracción concéntrica siguiente, que tiene como objetivo despegar de esa superficie con la que se contactó, llamándole a esta fase de rebote.

Es decir, que a la contracción concéntrica voluntaria que tiene como fin separarse (rebotar) de la superficie de contacto, se añade la contribución de la liberación de la energía elástica almacenada en los componentes elásticos sucesivos (CES) junto con la contracción involuntaria concéntrica, generada por el reflejo de estiramiento o miotático.

Finalmente, al término de la contracción concéntrica el cuerpo, o parte del cuerpo, sigue moviéndose gracias a la energía cinética generada por la contracción concéntrica y la liberación de energía en los CES, denominándose esta última fase de impulso final.

Las consecuencias de cada una de estas fases, demuestran que la supremacía del método pliométrico para el desarrollo de la fuerza explosiva está dada por la respuesta contráctil favorecida que deriva de los efectos fisiológicos que genera el brusco estiramiento mecánico muscular, en particular, la reutilización de la energía acumulada en los componentes elásticos, y la contracción refleja potente originada por el reflejo miotático.

Al examinar los sustentos fisiológicos que condicionan la fuerza explosiva, que permitieron implantar la pliometría como método de entrenamiento, se distinguen aspectos mecánicos que pueden constituir los fundamentos biomecánicos del mismo.

En el proceso de análisis de las investigaciones fisiológicas realizadas fundamentalmente por Cometti, Komi, Viitasalo, Bosco y Verkhoshansky en las que señalan que el método pliométrico propicia el desarrollo de los dos factores neuromusculares fundamentales involucrados en la producción de fuerza explosiva, siempre y cuando el tiempo que demora el tránsito de la contracción excéntrica a la contracción concéntrica se corresponda con el tiempo de vida de los puentes de actina – miosina, se infiere la importancia del tiempo de acoplamiento, arribando a la conclusión de que "la característica temporal duración", que determina el fin del ejercicio pliométrico, es uno de los fundamentos biomecánicos del mismo.

Se ha demostrado también en las investigaciones fisiológicas que una característica de los ejercicios empleados en el método pliométrico de entrenamiento es que gran parte de la energía cinética del cuerpo, o del implemento que cae, se transforma durante la fase de contracción excéntrica en energía elástica empleándose en el trabajo concéntrico siguiente.

En estas investigaciones los fisiólogos aseguran que en los ejercicios pliométricos el aumento de la fuerza concéntrica, en respuesta a una rápida carga de choque, se produce fundamentalmente por la absorción de la energía del cuerpo del deportista o del implemento deportivo en caída y que la utilización de la energía del cuerpo del deportista o del implemento en caída, como estimulación mecánica, requiere que los músculos desarrollen al principio una tensión elástica importante para vencer la inercia de ese peso relativamente pequeño para pasar después, con rapidez, al trabajo concéntrico produciendo una alta velocidad de contracción muscular.

Estas valoraciones conducen a designar a la "elasticidad", propiedad mecánica del músculo, como otro de los fundamentos biomecánicos del ejercicio del método pliométrico.

En los principios biomecánicos de Hochmuth (1973), derivados de las leyes de la mecánica clásica, también se encontraron fundamentos biomecánicos del método pliométrico.

Generalmente en las acciones motoras el potencial para desarrollar la fuerza inicial suele estar limitado, depende de la capacidad de concentrarse intensamente en un esfuerzo voluntario específico.

En los ejercicios pliométricos, según lo referido con anterioridad, la tensión muscular se alcanza por medio de un estiramiento brusco en el instante en que el cuerpo u objeto que cae son detenidos, en estos ejercicios donde ese desarrollo casi instantáneo de la tensión muscular debido a la estimulación mecánica de los propioceptores del sistema neuromuscular, se crean las condiciones para desarrollar una fuerza inicial.

Al añadir que como movimientos balísticos, en los ejercicios pliométricos, el curso de la acción del segmento que se mueve viene determinada por el impulso inicial agonista, es razonable asociar también la mejora del trabajo con la práctica de estos ejercicios a la acción impulsiva excéntrica – concéntrica, producto del preestiramiento del complejo muscular, que garantiza una gran tensión en el inicio de la acción muscular concéntrica, lo que no ocurre en los casos en que se parte del reposo.

Teniendo en cuenta que en los ejercicios pliométricos el movimiento que se realiza para lograr esa elevada velocidad final va precedido de un movimiento en sentido contrario que tiene que ser frenado, se llega a la conclusión de que esa fuerza positiva dirigida hacia arriba, que surge cuando cae el propio cuerpo del deportista o implemento deportivo, es una fuerza inicial, pues existe ya al inicio del movimiento y lo favorece (Figura1).

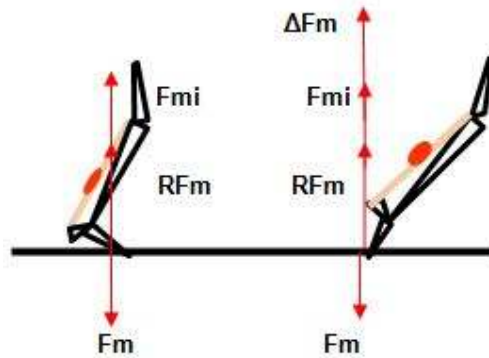


Figura 1

Entonces si sobre el cuerpo actúa una fuerza inicial en la dirección y sentido del movimiento, antes de comenzar la fase aceleratriz, la producción de altos valores de fuerza en el menor tiempo posible será favorecida significativamente.

Del análisis realizado con un enfoque fisiológico y mecánico de lo que ocurre al transitar por las fases de pre - activación, de trabajo excéntrico y trabajo concéntrico, después de un proceso de generalización de la información contenida en la teoría de la contracción muscular, las leyes de la mecánica y los principios de Hochmuth se deriva el "principio de la fuerza inicial" como otro de los fundamentos biomecánicos que distingue a los ejercicios pliométricos del resto de los ejercicios utilizados para el desarrollo de la fuerza muscular.

Tendríamos entonces que si el propósito de la aplicación de los ejercicios pliométricos, consiste en el desarrollo de altos valores de fuerza en el menor tiempo posible de modo tal que el cuerpo o un segmento corporal alcance una elevada velocidad final, al moverse en una dirección y sentido preestablecido, al disponer de una fuerza al comienzo de la fase concéntrica, se favorece esta contracción, lo que minimizará el transcurso del tiempo para lograr los valores de fuerza que posibilitan el resultado deseado, siempre y cuando la transición de la fase excéntrica a la fase concéntrica se realice fluidamente.

Resulta conveniente también tener en cuenta que esta fuerza surgida al final de la fase excéntrica tiene igualmente un efecto fisiológico; la velocidad de estiramiento que se genera en la fase excéntrica trae como consecuencia la disminución del umbral de excitabilidad de las motoneuronas facilitando un mayor reclutamiento (Komí, 2009), y por tanto mayor fuerza.

De acuerdo con las propiedades del sistema biomecánico un impulso demasiado fuerte en la fase excéntrica, con el objetivo de posibilitar la deseada fuerza inicial, implicaría un empleo demasiado grande en el trabajo para el frenado, lo que influiría negativamente en la fuerza aceleratriz a desarrollar en la fase concéntrica (Aguado, 2010).

Del análisis de estas observaciones se concluye que el supuesto de que al aumento del tiempo de aceleración le corresponde un aumento de velocidad, no se cumple para el sistema biomecánico pues existen inconvenientes mecánicos y biológicos que generan influencias desfavorables para determinados valores de la distancia de aceleración.

El aprovechamiento de la distancia de aceleración está influido por el nivel de fuerza muscular, sucede que esa distancia de aceleración, determinada por la posición del CG del cuerpo o segmento en posición

flexionada y en plena extensión, puede producir cargas que conducen a los momentos máximos de la fuerza de gravedad, a las que los músculos extensores deben sobreponerse.

Analizando la ejecución de cuclillas (Figura 2) para aumentar el espacio de aceleración se hace más profunda, en este caso la musculatura extensora tendría que superar momentos de fuerza gravitatorios máximos y se deduce entonces que esta desventaja mecánica en el factor fuerza no queda compensada por la aparente ventaja que se obtiene al aumentar el espacio de aceleración.

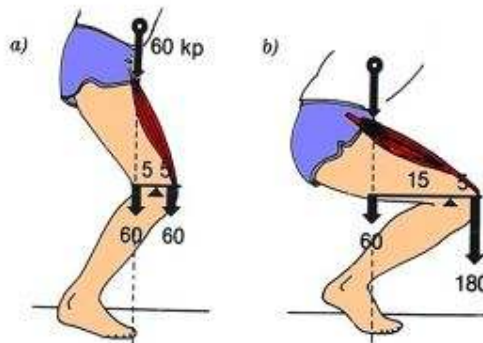


Figura 2

Las reflexiones sobre estas observaciones conducen a suponer que la distancia de aceleración en el sistema biomecánico puede influir negativamente en la fuerza de aceleración, se requiere de una relación óptima entre los impulsos de frenado y de aceleración, una distancia óptima de aceleración, por lo que se infiere que el "principio del curso óptimo de aceleración" es otro de los fundamentos biomecánicos de los ejercicios pliométricos.

Al inconveniente mecánico estudiado se suma el relativo a la fisiología muscular, referido al fenómeno de la contracción muscular que se lleva a cabo entre la actina, proteína que forma los filamentos finos de la miofibrilla, y la miosina, proteína que forma los filamentos gruesos, explicado por la "teoría del deslizamiento de los filamentos" de Hugo E. Huxley (1996).

Durante la contracción muscular los filamentos finos y gruesos se deslizan unos sobre otros. En situación de reposo los filamentos finos y gruesos de un sarcómero se solapan ligeramente.

Si la longitud del sarcómero se modifica, se acorta o se alarga, el grado de solapamiento de los filamentos finos y gruesos también lo hace, repercutiendo en el número de puentes cruzados activos y como consecuencia en la producción de fuerza generada: Huxley (1996), Komi (1986), Zatsiorski (2001), González Badillo y Ribas (2002).

De estos estudios se infiere que el alargamiento muscular condiciona la respuesta del músculo. Si el mecanismo intrínseco para la producción de fuerza es el deslizamiento de los filamentos delgados sobre los filamentos gruesos y la fuerza generada está relacionada con el número de puentes cruzados, mientras mayor sea el número de puentes cruzados, mayor será la fuerza; entonces, la respuesta muscular para buscar altos valores de fuerza está en función del alargamiento muscular óptimo.

La altura de caída y el ángulo de flexión en los ejercicios pliométricos deben ser determinados de modo tal que posibiliten la longitud óptima de la trayectoria de aceleración para garantizar el éxito del método pliométrico.

Además, reflexionando sobre los criterios expuestos por Siff y Verkhoshansky (2000) y Aguado (2010), en los ejercicios se tendrá en cuenta también que su estructura y dinámica sea tal que en la fase de amortiguamiento no se genere un impulso de fuerza de frenado que afecte la magnitud del impulso de fuerza aceleratriz siguiente, ya que un gasto energético grande en la fase excéntrica, afectará la energía disponible para la fase concéntrica siguiente.

En los ejercicios pliométricos se producen interacciones del cuerpo del deportista con cuerpos externos, ya sea el suelo, una pared, un implemento, un adversario, lo que evidencia la manifestación del "principio de reacción", que se deriva de la tercera ley de Newton, en el que se expresa el universal mecanismo de la interacción, postulando que si un cuerpo actúa sobre otro mediante una fuerza, sobre él actuará otra fuerza de igual valor y dirección pero de sentido contrario.

Como consecuencia de la manifestación de este principio, en los ejercicios pliométricos resultaría muy beneficioso aprovechar la fuerza positiva que actúa sobre el segmento que contacta cuando cae el propio cuerpo del deportista o implemento en la fase excéntrica, que surge como reacción a la acción de la fuerza gravitacional.

Del fundamento biomecánico dado por la ley universal de la interacción se infiere que la superficie sobre la cual se produce el contacto, no debe ser muy blanda o tener gran capacidad de absorber el choque, ya que ello puede disminuir el almacenamiento de energía elástica en los CES y retrasar el desencadenamiento de la reacción positiva sobre el segmento de trabajo al tocar la superficie de apoyo.

Conclusiones

Como todo movimiento los ejercicios pliométricos están sustentados sobre fundamentos mecánicos, y en este caso teniendo en cuenta que el cuerpo que se mueve, es un ser biológico, fue necesario valorar no solo las leyes de la mecánica, si no las respuestas fisiológicas del cuerpo ante estos movimientos para determinar los fundamentos biomecánicos que sustentan los ejercicios pliométricos.

Bajo estas consideraciones, se determinaron los siguientes fundamentos biomecánicos para los ejercicios en el método pliométrico: la elasticidad como propiedad mecánica del músculo, la característica cinemática duración, el principio de la fuerza inicial, el principio del curso óptimo de aceleración y el principio de reacción.

El concientizar estos fundamentos, garantizará una mejor elección de la estructura y dinámica de los ejercicios con efectos pliométricos, lo que posibilitará un mejor aprovechamiento de sus beneficios en el desarrollo de la fuerza explosiva.

Bibliografía

- Aguado, X. (2010) *Análisis cualitativo de la fuerza con plataformas de fuerzas*. Trabajo presentado en el I Congreso Iberoamericano de Biomecánica aplicada al Deporte. Mérida, Venezuela.
- Bosco, C. (2001) *La fuerza explosiva en la fuerza muscular. Aspectos metodológicos*. Barcelona, Ed. Inde, España.

- _____ . (1994) *La valoración de la fuerza con el test de Bosco*. Barcelona, Ed. Paidotribo, España.
- Cometti, G. (1998) *La Pliometría*. Barcelona, Ed. Inde, España.
- Hochmuth, G. (1973) *Biomecánica de los movimientos deportivos*. Madrid, Ed. Doncel, España
- Komi, P. (2009) *Avances recientes en investigaciones sobre la función neuromuscular en el deporte*. Trabajo presentado en la III Convención AFIDE, La Habana, Cuba.
- Siff, C. y Verkhoshansky, Y. (2000) *Superentrenamiento*. Barcelona, Ed. Paidotribo, España.
- Verkhoshansky, Y. (1999) *Todo sobre el método pliométrico*. Barcelona, Ed. Paidotribo, España.

Lecturas: Educación Física y Deportes, Revista Digital. Buenos Aires, Año 17, N° 167, Abril de 2012. <http://www.efdeportes.com/efd167/fundamentos-biomecanicos-del-ejercicio- pliometrico.htm>