

Monograph

# Composición del Tipo de Fibra Muscular y Composición Corporal de los Lanzadores de Martillo

Gerasimos Terzis<sup>1</sup>, Konstantinos Spengos<sup>2</sup>, Stavros Kavouras<sup>3</sup>, Panagiota Manta<sup>2</sup> y Giorgos Georgiadis<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Athletics Laboratory, School of Physical Education and Sport Science, University of Athens, Greece.*

<sup>2</sup>*Department of Neurology, Eginition Hospital, School of Medicine, University of Athens, Greece.*

<sup>3</sup>*Laboratory of Nutrition and Clinical Dietetics, Harokopion University of Athens, Greece.*

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio ha sido describir la composición del tipo de fibra muscular y la composición corporal de lanzadores de martillo bien entrenados. Seis lanzadores de martillo experimentados se sometieron a las siguientes mediciones: una repetición máxima en sentadilla, en arranque y en envión, salto en largo, lanzamiento hacia atrás por encima de la cabeza y lanzamiento de martillo. Para el análisis de la composición corporal se utilizó el método de absorciometría dual de rayos X. La composición del tipo de fibra y el área de sección cruzada se determinaron en muestras de biopsia del músculo vasto externo derecho. Ocho estudiantes de educación física actuaron como grupo de control. Los valores de la fuerza en una repetición máxima en los ejercicios de sentadilla, arranque y envión para los lanzadores de martillo fueron de  $245 \pm 21$ ,  $132 \pm 13$  y  $165 \pm 12$  kg, respectivamente. La masa magra corporal fue más elevada en los lanzadores de martillo ( $85.9 \pm 3.9$  kg vs  $62.7 \pm 5.1$  kg ( $p < 0.01$ )). El porcentaje del área ocupada por las fibras musculares tipo II fue de  $66.1 \pm 4\%$  en los lanzadores de martillo y de  $51 \pm 8\%$  en el grupo de control ( $p < 0.05$ ). Los lanzadores de martillo tuvieron fibras tipo IIA significativamente más grandes ( $7703 \pm 1171$  vs.  $5676 \pm 1270 \mu\text{m}^2$ ,  $p < 0.01$ ). El rendimiento en el lanzamiento de martillo estuvo significativamente relacionado la masa magra corporal ( $r = 0.81$ ,  $p < 0.05$ ). Estos datos indican que los lanzadores de martillo tienen una mayor masa magra corporal y áreas musculares más grandes ocupadas por fibras tipo II, en comparación con los sujetos no entrenados. Además, al parecer la mayor masa muscular de los lanzadores de martillo contribuye de manera significativa al rendimiento durante el lanzamiento de martillo.

**Palabras Clave:** pista y campo, lanzamientos del atletismo, masa magra corporal

## INTRODUCCION

El lanzamiento de martillo es un evento del atletismo con altas exigencias de potencia (Zatsiorsky, 2005). Se cree que la potencia muscular del ser humano se determina principalmente por la composición del tipo de fibra de los músculos protagonistas, la magnitud de la masa muscular, que define la fuerza muscular, y el nivel de activación neuromuscular durante el movimiento (Moritani 2005). Sin embargo, no existen reportes relacionados con la composición de la fibra de los músculos protagonistas de los lanzadores de martillo mientras que existe un solo informe con respecto a la masa corporal magra de los lanzadores de martillo de nivel medio (es decir, un rendimiento de lanzamiento de martillo de 55.09 m,

Morrow et al., 1982). Estudios previos, en relación a un evento relacionado con la pista y el campo, el lanzamiento de peso lineal, han revelado que la masa corporal magra (De Rose y Biazus, 1978), así como también la activación neuromuscular durante el lanzamiento competitivo (Terzis et al., 2007), son importantes para el rendimiento del lanzamiento del lanzador de peso bien entrenado. En contraste, la composición del tipo de fibra de los músculos gastrocnemios *no pudo predecir el rendimiento del* lanzamiento de peso de lanzadores de peso de elite (Costill et al., 1976; Coyle et al., 1978). Además, un reciente estudio de casos reportó que un lanzador de peso de categoría mundial poseía un porcentaje relativamente bajo de fibras musculares tipo II (40 %) en su vasto externo (Billeter et al., 2003). En conjunto, estos datos sugieren que la composición del tipo de fibra es menos importante en la determinación del rendimiento en un evento potente como el lanzamiento de peso. No obstante, no hay datos que tengan que ver con la composición del tipo de fibra del músculo vasto externo de los lanzadores de martillo de categoría, por lo tanto, la importancia de este parámetro biológico para dicho rendimiento humano sigue siendo incierta.

Durante el período de preparación se utilizan varios tests de fuerza y potencia para el lanzamiento de martillo. Un estudio previo reveló que el rendimiento moderado del lanzamiento de martillo no estaba relacionado con el salto vertical, el salto de longitud, la carrera de esprint, la fuerza isocinética ni con los diferentes tests de fuerza de una repetición máxima (1RM), en los lanzadores de martillo entrenados de manera moderada (Morrow et al., 1982). Sin embargo, aún no se ha descrito el rendimiento en dichos tests de fuerza y tests de campo para los lanzadores de martillo bien entrenados. Por lo tanto, el propósito del presente estudio ha sido describir la composición del tipo de fibra muscular, la composición corporal y el rendimiento de fuerza/potencia de los lanzadores de martillo bien entrenados.

## METODOS

### Participantes

De este estudio participaron seis lanzadores de martillo masculinos bien entrenados (edad:  $25.8 \pm 5$  años; altura:  $1.85 \pm 0.04$  m; masa corporal:  $116 \pm 6$  kg; IMC:  $34.1 \pm 1.6$  kg·m<sup>-2</sup>).

Todos los atletas eran diestros y habían participado en entrenamientos y competencias organizadas de lanzamiento de martillo al menos durante 5 años. Uno de ellos estuvo en el puesto 8 del campeonato mundial de pista y campo de 2003, y en el 3 del Campeonato Europeo de 2002. El rendimiento promedio del lanzamiento de martillo de los sujetos ( $72.17 \pm 6.40$  m) fue del 84% del record mundial actual y del 88% del mejor rendimiento alcanzado en los Juegos Olímpicos de 2008. Antes del ingreso al estudio y luego de que se les informara sobre los procedimientos experimentales y los posibles riesgos de la técnica de biopsia muscular, todos los atletas dieron su consentimiento por escrito. Ocho estudiantes masculinos de educación física (edad:  $22 \pm 1$  años; altura:  $1.82 \pm 0.04$  m; masa corporal:  $78.5 \pm 8.0$  kg; IMC:  $23.2 \pm 3$  kg·m<sup>-2</sup>) actuaron como grupo de control. También dieron su consentimiento por escrito después de que se les informara en detalle acerca de los procedimientos experimentales. Los datos de estos sujetos se han publicado con anterioridad (Terzis et al., 2008b). El grupo de control no realizó el lanzamiento de martillo, tampoco la 1RM en arranque y envión debido a que no poseían la técnica correcta para el ejercicio. Todos los procedimientos fueron aprobados por el Comité de Ética de la institución local.

### Lanzamiento de Martillo

El rendimiento del lanzamiento de martillo se midió entrada la tarde, con una temperatura ambiente de 19 °C. Todos los atletas se encontraban en buena condición y no sufrían ninguna lesión. No obstante, dado que se encontraban al final del periodo de preparación de pre-temporada, no habían participado de ningún evento de lanzamiento de martillo durante ese año específico. Cada atleta realizó su entrada en calor individual (aproximadamente 30 min) y luego realizaron seis lanzamientos con un implemento de 7.26 kg. Se registró el mejor lanzamiento y más adelante se utilizó en los análisis estadísticos. El coeficiente de correlación intra-clase (ICC) para el rendimiento en el lanzamiento de martillo se analizó en dos días consecutivos ( $R = 0.93$ ).

### Una Repetición Máxima en Sentadilla, Arranque y Envión

La evaluación de la fuerza máxima (1RM) en sentadilla, arranque y envión se llevó a cabo otro día según métodos descritos previamente (Baechle et al., 2000; Terzis et al., 2008a). En pocas palabras, después de una corta entrada en calor consistente en ejercicio en cicloergómetro y algunos ejercicios de estiramiento, los participantes realizaron esfuerzos submáximos progresivamente mayores, hasta que no pudieran levantar un peso mayor. Se permitió un descanso de tres minutos entre las pruebas. La fuerza máxima en los tres ejercicios se determinó en el mismo día en el orden descrito anteriormente, con un período de descanso de 30 min entre los ejercicios. Se determinó el ICC para la fuerza en 1RM en los ejercicios de sentadilla, arranque y envión en dos días consecutivos ( $R = 0.92$ ,  $R = 0.93$ ,  $R = 0.90$ , respectivamente).

## Lanzamiento hacia Atrás por sobre la Cabeza y Salto en Largo

El rendimiento en lanzamientos hacia atrás por encima de la cabeza (Dunn y McGill, 1991; Silvester, 2003) se midió en un día diferente, al aire libre, en un círculo estándar, durante las horas de la mañana, utilizando un implemento de 7.26 kg. La temperatura ambiente era de 18 - 20 °C. Se permitieron cuatro intentos para cada atleta y sólo se utilizó el mejor lanzamiento en los análisis estadísticos. Quince minutos más tarde, los atletas realizaron el salto en largo desde posición de parado, en interiores, tal como se describiera previamente (Adam et al., 1988). Se permitieron cuatro intentos para cada atleta y en los análisis estadísticos sólo se utilizó el mejor salto. El ICC para el lanzamiento hacia atrás por encima de la cabeza y el salto en largo se determinó en dos días consecutivos ( $R = 0.92$ ,  $R = 0.93$ , respectivamente).

## Biopsias y Análisis Histoquímicos de los Músculos

Las muestras de los músculos (Bergström, 1962) se obtuvieron por succión de la porción media del vasto externo de la pierna derecha, a 20 cm de la sección media de la rótula. Las muestras fueron alineadas, colocadas en compuesto integrado y congeladas en isopentano, que se enfrió previamente hasta llegar a su punto de congelamiento. Todas las muestras se mantuvieron en nitrógeno líquido hasta el día del análisis. Las secciones cruzadas en serie, 10  $\mu\text{m}$  de grosor, se cortaron a -20 °C y se tiñeron para determinar el contenido de ATPasa miofibrilar después de la pre-incubación a pH 4.3, 4.6 y 10.3 (Brook y Kaiser 1970a; 1970b). Las muestras de todos los atletas se incubaron al mismo tiempo en el mismo recipiente para cada pH específico. Se clasificó un promedio de  $679 \pm 68$  fibras musculares como tipo I, IIA o IIX de cada muestra (Staron 1997). El área de sección cruzada (CSA) de todas las fibras clasificadas de cada muestra se midió con un sistema de análisis de imagen (ImagePro, Media Cybernetics Inc, Silver Spring, MD, EUA) con un aumento conocido y calibrado. Además, se midió el menor diámetro (es decir, "el máximo diámetro a lo largo del menor aspecto de la fibra muscular", Dubowitz y Sewry, 2006) de todas las fibras evaluadas. Los ICCs para el porcentaje de fibras tipo I, IIA y IIX en el laboratorio fueron  $R = 0.96$ ,  $R = 0.95$ ,  $R = 0.93$ , respectivamente. Esto se calculó en 14 biopsias musculares mediante el análisis de la distribución de porcentaje de las diferentes fibras musculares en dos micro-imágenes distintas de la misma biopsia, cada una conteniendo al menos 200 fibras.

## Absorciometría Dual de Rayos X (DXA)

Se llevó a cabo un escaneo del cuerpo entero (DXA modelo DPX-L, Radiación LUNAR, Madison, WI, EUA) que fue analizado utilizando el programa de composición corporal por radiación LUNAR. Se determinó la masa grasa, la masa magra corporal (LMB) y la densidad mineral ósea (BMD) para todo el cuerpo, los brazos, las piernas y el tronco. Dos investigadores diferentes realizaron todos los análisis y el valor promedio se utilizó en los análisis estadísticos. El ICC determinado en nuestro laboratorio para la medición de DXA en lanzadores de bala es de  $R = 0.92$ .

## Análisis Estadísticos

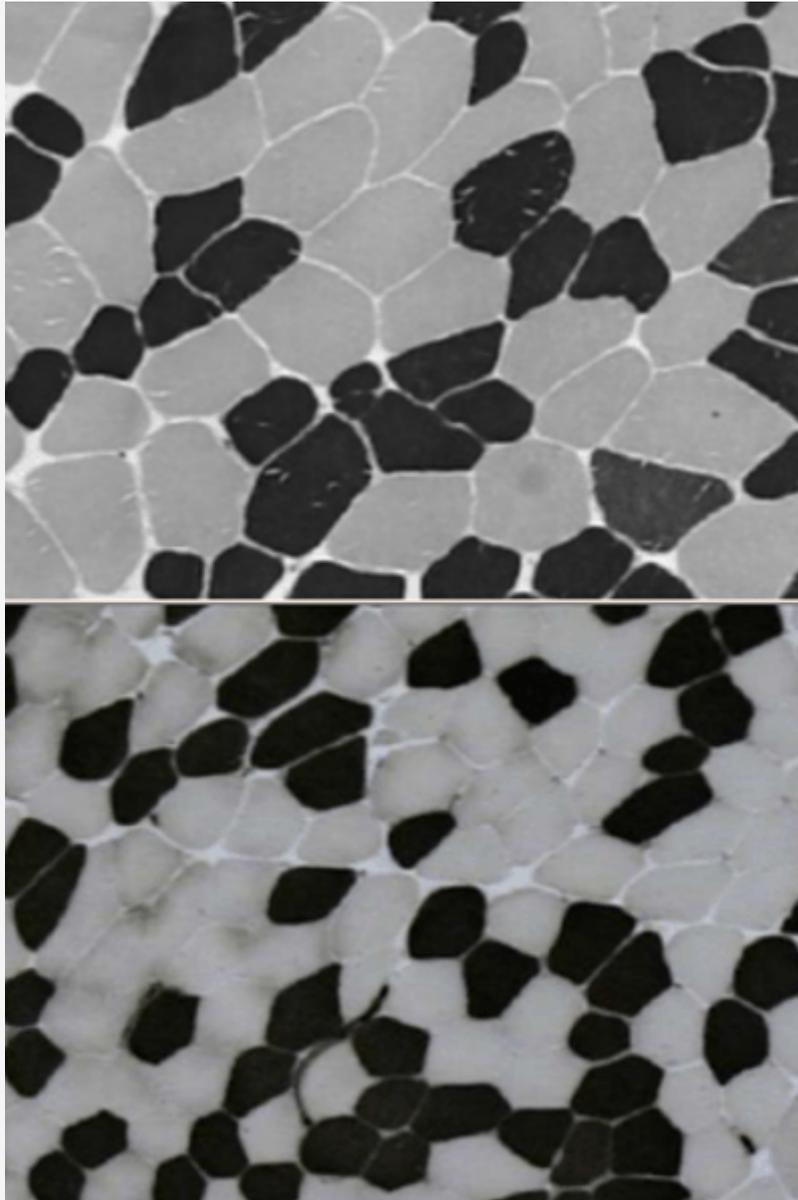
Para la descripción de las variables se utilizaron medias  $\pm$  desviaciones estándar. Se utilizó una prueba t independiente para evaluar las diferencias entre los lanzadores de martillo y el grupo de control. El coeficiente de variación se calculó ( $\text{CV \%} = [\text{DE}/\text{promedio}] \cdot 100$ ) como la medida de la homogeneidad de cada variable. El coeficiente de correlación producto-momento de Pearson ( $r$ ) se utilizó para explorar las relaciones entre las diferentes variables. Se llevó a cabo un análisis  $\chi^2$  de una vía entre los atletas y los controles con respecto a la distribución de frecuencia de los diámetros de las fibras musculares tipo I y tipo II. Se utilizó un nivel de significancia a dos colas  $p \leq 0.05$ .

## RESULTADOS

El rendimiento del lanzamiento de martillo fue de  $72,17 \pm 6,4$  m. La Fuerza en 1RM en el ejercicio de arranque fue de  $131.7 \pm 13$  kg mientras que la fuerza en 1RM en el ejercicio de envión fue de  $165 \pm 12$  kg. En la Tabla 1 se presentan el resto de las variables de rendimiento, así como las variables relacionadas con la morfología muscular y la composición corporal de los lanzadores de martillo y del grupo de control. El porcentaje del área muscular ocupada por las fibras tipo II fue bastante homogéneo en los lanzadores de martillo ( $66.1 \pm 4$  %,  $\text{CV} = 6$  %). En la Figura 1 se muestra una imagen representativa de la morfología de la fibra muscular de un lanzador de martillo y un individuo de control. Los lanzadores de martillo se desempeñaron relativamente mejor en todos los tests de fuerza/potencia ( $p < 0.01$ , Tabla 1). El porcentaje de las fibras musculares tipo I fue más bajo en los lanzadores de martillo ( $p < 0.01$ ), el porcentaje de las fibras musculares tipo II fue más elevado en los lanzadores de martillo en comparación con los individuos no entrenados ( $p < 0.01$ ), mientras que en el porcentaje de las fibras tipo IIX no hubo diferencias significativas entre los dos grupos (Tabla 1). Interesantemente, el área de sección cruzada de las fibras fue estadísticamente diferente entre los dos grupos sólo para las fibras musculares del tipo IIA ( $p < 0.01$ , Tabla 1).

Variable	Lanzadores de martillo	Controles
Fibras musculares tipo I (%)	39.9 (5.0) **	51.4 (7.0)
Fibras musculares tipo IIa (%)	51.1 (9.0) **	34.4 (6.0)
Fibras musculares tipo IIx (%)	9.0 (7.0)	14.3 (7.0)
CSA de fibras tipo I ( $\mu\text{m}^2$ )	5793 (670)	4979 (1266)
CSA de fibras tipo IIa ( $\mu\text{m}^2$ )	7703 (1171) **	5676 (1270)
CSA de fibras tipo IIx ( $\mu\text{m}^2$ )	6554 (2040)	4893 (1260)
CSA de fibras tipo I (%)	33.9 (4.0) **	49.0 (8.0)
CSA de fibras tipo IIa (%)	57.3 (9.0) **	37.9 (8.0)
CSA de fibras tipo IIx (%)	8.8 (7.0)	13.1 (5.0)
Masa corporal magra total (kg)	85.9 (3.9) **	62.7 (5.1)
Masa corporal magra del brazo (kg)	10.5 (1.5) **	7.8 (0.7)
Masa corporal magra de las piernas (kg)	30.4 (1.9) **	21.9 (2.3)
Peso corporal (kg)	116.4 (6.2) **	78.7 (1.0)
Grasa corporal (%)	22.4 (2.9) *	16.4 $\pm$ 5.9
Densidad mineral ósea ( $\text{g}/\text{cm}^2$ )	1.484 (0.046) **	1.264 (0.08)
Lanzamiento hacia atrás (m)	18.88 (1.80) **	9.45 (0.4)
Salto de longitud de parado (m)	3.09 (12.00) **	2.29 (21.00)
Sentadilla de 1RM (kg)	245 (21) **	81 (12)

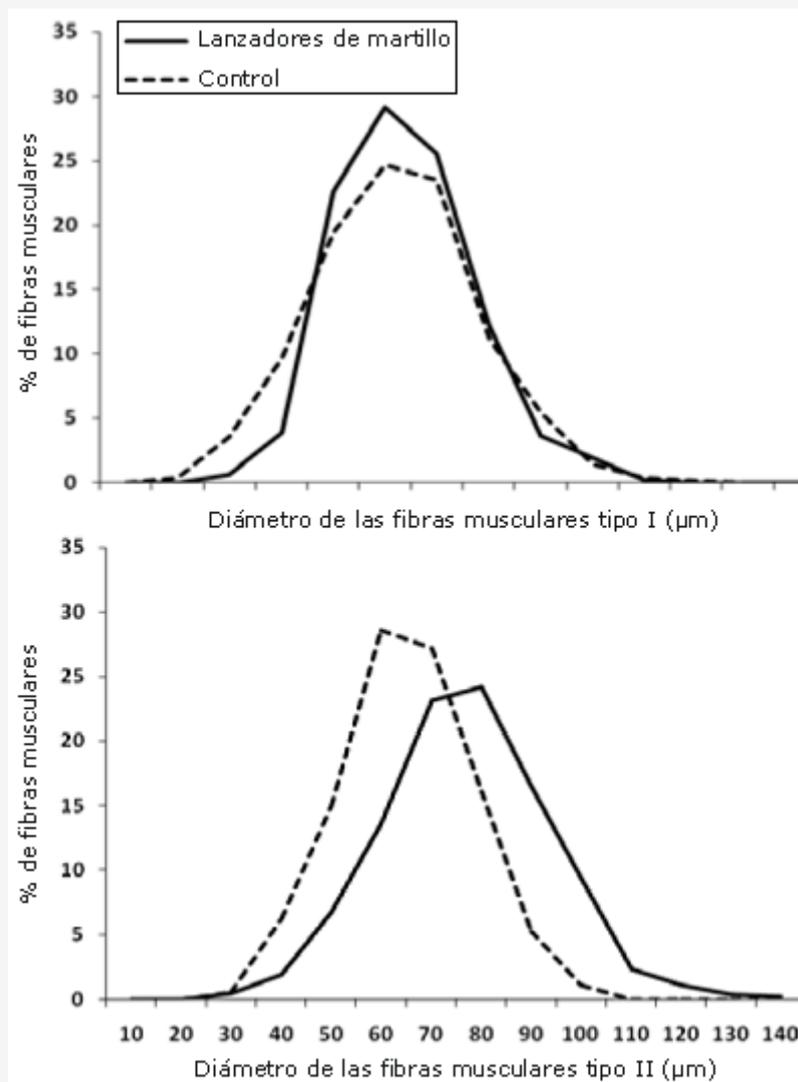
**Tabla 1.** Morfología del vasto externo derecho, composición corporal y variables de rendimiento seleccionadas, en lanzadores de martillo bien entrenados y estudiantes de educación física. Los datos son medias ( $\pm$  DE). \* y \*\* indican  $p < 0.05$  y  $0.01$ , respectivamente. CSA: área de sección cruzada.



**Figura 1.** Miosina ATPasa (pH 4.3) del vasto externo de un lanzador de martillo (arriba) y de un joven no entrenado (abajo). Las células con manchas oscuras son fibras musculares tipo I. Bar = 100  $\mu$ m.

Los lanzadores de martillo tuvieron una mayor masa magra corporal, una mayor densidad mineral ósea y una mayor grasa corporal, en comparación con los individuos no entrenados ( $p < 0.01$ , Tabla 1). En la Figura 2 se presenta la distribución de frecuencia para los diámetros de las fibras musculares tipo I y tipo II. El diámetro promedio para las fibras tipo II fue de  $74.1 \pm 5 \mu\text{m}$  en los lanzadores de martillo y de  $62.3 \pm 5 \mu\text{m}$  en los individuos de control ( $p < 0.05$ ).

La distribución de frecuencia de los diámetros de las fibras musculares (Figura 2) reveló un porcentaje significativamente mayor de las fibras tipo II con diámetros entre 100 - 120  $\mu\text{m}$ , para los lanzadores de martillo ( $p < 0.05$ ).



**Figura 2.** Distribución de frecuencia de los diámetros de las fibras musculares tipo I (arriba) y tipo II (abajo) de lanzadores de martillo (línea continua) y jóvenes sin entrenamiento (línea punteada). Las biopsias de los músculos se obtuvieron del vasto externo.

El rendimiento del lanzamiento de martillo guardó una correlación significativa con el lanzamiento hacia atrás por encima de la cabeza ( $r = 0.95$ ,  $p < 0.01$ ), como también con la masa magra corporal total ( $r = 0.81$ ,  $p < 0.05$ ), con la masa magra de la pierna ( $r = 0.84$ ,  $p < 0.05$ ) y con la masa magra del tronco ( $r = 0.85$ ,  $p < 0.05$ ). En contraste, se hallaron correlaciones relativamente bajas y sin significancia entre el rendimiento en lanzamiento de martillo y la grasa corporal ( $r = 0.14$ , ns), la densidad mineral ósea ( $r = 0.17$ , ns) y el peso corporal ( $r = 0.35$ , ns). Además, el rendimiento en lanzamiento de martillo guardó una correlación significativa con la CSA de las fibras musculares tipo I ( $r = 0.93$ ,  $p < 0.01$ ), las fibras musculares tipo IIA ( $r = 0.96$ ,  $p < 0.01$ ) y las fibras musculares tipo IIX ( $r = 0.90$ ,  $p < 0.01$ ). En contraste, la correlación entre el rendimiento en lanzamiento de martillo y la composición del tipo de fibra muscular fue baja y no significativa ( $r = 0.41$ , ns).

## DISCUSION

El propósito del presente estudio ha sido describir la morfología muscular del vasto externo, el rendimiento de fuerza y potencia, y la composición corporal de los lanzadores de martillo bien entrenados. El lanzamiento de martillo es un evento del atletismo, que requiere una gran producción de potencia muscular (Cook, 2006; Zatsiorsky, 2005). La potencia muscular del ser humano se determina principalmente por la composición del tipo de fibra de los músculos protagonistas, la relación fuerza/masa muscular y el nivel de activación neuromuscular durante el movimiento (Moritani, 2005). Las fibras

musculares tipo II pueden producir una mayor potencia muscular en comparación con las fibras musculares tipo I (Bottinelli et al., 1996). Por lo tanto, se ha planteado la hipótesis de que los lanzadores de martillo bien entrenados tendrían un porcentaje de fibras musculares tipo II más elevado en el músculo vasto externo, áreas más grandes de sección cruzada de fibras musculares y una mayor masa corporal magra en comparación con los individuos jóvenes relativamente sin entrenamiento. Los resultados del estudio revelaron que, en efecto, los lanzadores de martillo tienen una masa corporal magra significativamente mayor (+37%) en comparación con los individuos no entrenados. Además, se halló un porcentaje de fibras musculares tipo IIA más elevado en el grupo de lanzadores de martillo y un porcentaje comparable de fibras tipo IIX entre los dos grupos en el vasto externo, aunque la hipertrofia de la fibra muscular se limitó a las fibras tipo IIA. La mayoría de las hipertrofias musculares esqueléticas pueden atribuirse a la hipertrofia de la fibra muscular debido al entrenamiento con sobrecarga (Adams et al., 1993; Fry et al., 2004). En contraste, las diferencias en la distribución relativa de las fibras tipo IIA del vasto externo podrían ser resultado del entrenamiento o bien de la predisposición genética.

Un resultado interesante del presente estudio ha sido la morfología muscular homogénea con respecto al porcentaje del área ocupada por las fibras tipo II. De hecho, el porcentaje del área de las fibras musculares tipo II fue de  $66 \pm 4\%$ , con un coeficiente de variación (CV) de sólo el 6%. Este resultado podría estar relacionado con las exigencias fisiológicas de los estímulos del entrenamiento. Anteriormente se ha informado que ciertos estímulos de entrenamiento llevan a adaptaciones específicas del tipo de fibra muscular y del área de sección cruzada (por ejemplo, Schantz et al., 1983). No obstante, este concepto requiere más investigación. Puesto que este es el primer trabajo que analiza la composición del tipo de fibra en los lanzadores de martillo, estos datos no se pueden comparar con anteriores. Sin embargo, existe cierta información disponible sobre atletas de lanzamiento de peso. En un estudio vanguardista, Costill et al. (1976) hallaron que el porcentaje del área de fibra muscular tipo II en el músculo gastrocnemio de los lanzadores de disco y de peso masculinos bien entrenados, fue de (66%), lo cual se compara al hallado en el presente estudio. No obstante, en el estudio previo, el rango de valores individuales fue mayor (50 - 97 %). En otro estudio (Coyle et al., 1978), el porcentaje del área de fibra muscular tipo II en los músculos gastrocnemios de lanzadores de peso de elite también fue similar al del presente estudio (62.1 %), pero, una vez más, el rango de valores individuales fue mayor (rango: 36.6 - 83.9 %, CV = 24 %). Además, estos autores (Coyle et al., 1978) reportaron que las áreas de sección cruzada de las fibras musculares fueron significativamente mayores en los lanzadores de peso que en los sujetos sin entrenamiento, aunque no hubo diferencias en el área de sección cruzada de las fibras entre las fibras tipo I y II en el grupo de los lanzadores de peso. Un estudio muy informativo con respecto a la importancia de la composición del tipo de fibra en el rendimiento del lanzamiento es el reporte del caso del lanzador de peso de elite W. Günthör (Billeter et al. 2003). Este estudio ha mostrado que este atleta de elite poseía un porcentaje moderado (40%) de fibras musculares tipo II en su vasto externo. Sin embargo, tenía un CSA de fibra tipo II elevada ( $10,265 \mu\text{m}^2$ ), por lo tanto, un alto porcentaje del área de fibras tipo II (66.6 %). Este hallazgo concuerda con los resultados del presente estudio. De hecho, el porcentaje de fibras musculares tipo II del mejor lanzador de martillo del presente estudio fue de 52.7 % (el porcentaje más bajo de fibras tipo II de este grupo). No obstante, su CSA de fibra tipo II fue la más elevada del grupo ( $9110 \mu\text{m}^2$ ). Por lo tanto, el porcentaje del área de fibras tipo II en el vasto externo fue cercano al del resto del grupo (60.9%). En conjunto, estos hallazgos podrían sugerir que la combinación entre el porcentaje y la hipertrofia de las fibras musculares de tipo II es importante en los eventos de lanzamiento donde se utiliza una gran sobrecarga externa (por ejemplo, el martillo y el peso). Por lo tanto, al parecer la hipertrofia muscular cumple un papel importante en estos eventos de pista y campo porque determina el área muscular de sección cruzada absoluta ocupada por fibras musculares de tipo II, que muy probablemente contribuyen de manera significativa a un rendimiento más veloz y potente. En contraste, Morrow et al. (1982) demostraron que la masa corporal magra no está relacionada con el rendimiento de los lanzadores de martillo de nivel medio. La discrepancia entre los resultados del presente trabajo y los del estudio previo podrían atribuirse a la habilidad atlética de los sujetos (rendimiento de martillo de 55.09 m en el estudio previo vs. 72.17 m en la presente investigación) o al método de evaluación de LBM (peso hidrostático y utilización de la ecuación de Siri vs. DXA).

Otro hallazgo interesante del presente estudio fue el porcentaje relativamente alto de fibras tipo IIX halladas en los lanzadores de martillo ( $9 \pm 7\%$ ), que no fue significativamente diferente del grupo de control. Se describe bien que el entrenamiento con sobrecarga en individuos sin entrenamiento o con un entrenamiento moderado lleva a una disminución de las fibras musculares tipo IIX y a un incremento concomitante en el porcentaje de las fibras musculares tipo IIA (Adams et al., 1993; Terzis et al., 2008b). Por lo tanto, sería razonable esperar que estos lanzadores de martillo entrenados en fuerza tengan un porcentaje relativamente pequeño de fibras tipo IIX en su vasto externo al final del período de preparación del invierno, cuando el volumen de entrenamiento con sobrecarga se eleva al máximo. Desafortunadamente, no existen datos previos con respecto al porcentaje de fibras tipo IIX de los lanzadores de martillo para compararlas con los presentes resultados. Sin embargo, un estudio reciente reportó un porcentaje aún mayor de distribución de isoformas de tipo IIX MHC en el vasto externo de culturistas bien entrenados (D'Antona et al., 2006), mientras que un estudio más antiguo ha demostrado un porcentaje aún más elevado de fibras musculares tipo IIX en el vasto externo de los esprinters (Sjoström et al., 1988). Como se sugirió anteriormente (D'Antona et al., 2006), el porcentaje relativamente alto de fibras musculares tipo IIX en el vasto externo de individuos entrenados con sobrecarga podría deberse a un entrenamiento con sobrecarga intensivo y longitudinal, una predisposición genética o a una dieta hiper-proteica. Otra posible explicación para

el alto porcentaje de las fibras musculares tipo IIX podría estar relacionada con la fase de entrenamiento de estos atletas (es decir, el final de la preparación de la pre-temporada). Andersen y Aagaard (2000) han demostrado que el porcentaje de fibras tipo IIX puede variar dependiendo de la fase del entrenamiento con sobrecarga. Otra posible explicación para el porcentaje relativamente alto de fibras musculares tipo IIX en los lanzadores de martillo podría estar relacionada con una falta de reclutamiento consecuente de esta reserva de fibras durante el entrenamiento, aunque es difícil brindar pruebas para tal concepto (Enoka, 2008). O bien, este porcentaje relativamente alto de fibras tipo IIX podría deberse a los métodos de análisis. La histoquímica de ATPasa puede identificar fibras musculares como las del tipo IIX, aunque estas fibras podrían contener sólo pequeñas cantidades de cadenas pesadas de miosina (MHCs) tipo IIX (Fry, 2004; Parcell et al., 2003; Pette y Staron 2001). Desafortunadamente, aquí no se ha podido realizar un análisis de fibra única para la composición de isoformas MHC para determinar el porcentaje exacto de fibras musculares que contengan MCHs tipo IIX.

La masa corporal magra total guardó una significativa relación con el rendimiento del lanzamiento de martillo. Además, las masas magras del tronco y de las piernas estuvieron muy asociadas al rendimiento del lanzamiento de martillo en este pequeño grupo de atletas experimentados. La significativa correlación hallada entre las áreas de sección cruzada de las fibras musculares (de todos los tipos de fibras) del vasto externo y el rendimiento del lanzamiento de martillo reforzó estos hallazgos. En conjunto, estos resultados enfatizan la importancia de la masa muscular en el rendimiento del lanzamiento de martillo. Sin embargo, debería resaltarse que la cantidad de sujetos que participaron en el presente estudio fue limitada ( $n = 6$ ). Por lo tanto, todos los datos correlativos deberían interpretarse con cautela hasta que se recopile información adicional de un grupo más grande de lanzadores de martillo bien entrenados.

En comparación con un informe previo sobre lanzadores de martillo de nivel moderado (Morrow et al., 1982), estos atletas tenían una altura similar, eran mucho más pesados, con menos masa corporal magra y un mayor porcentaje de grasa corporal, pero se desempeñaron mejor en las pruebas de fuerza/potencia/martillo. La densidad mineral ósea de estos lanzadores de martillo fue mayor que el grupo de control y que la informada para los levantadores de peso recreacionales (Hamdy et al., 1994), pero menor que la hallada en los levantadores de potencia altamente entrenados (Dickerman et al., 2000). Es probable que la densidad mineral ósea de los lanzadores de martillo refleje las adaptaciones del tejido óseo debido al fuerte entrenamiento con sobrecarga. Además, el porcentaje de masa grasa de los lanzadores de martillo que participaron en el presente estudio fue mayor al informado con anterioridad para los lanzadores de martillo de nivel más bajo (Morrow et al., 1982), los lanzadores junior (Thorland et al., 1981) y los lanzadores de peso (Dickerman et al., 2000; Fahey et al., 1975).

## CONCLUSION

---

Los resultados del presente estudio revelan que las principales adaptaciones del entrenamiento de los lanzadores de martillo, en comparación con los individuos de control, son la masa magra corporal, la densidad mineral ósea, y la hipertrofia de las fibras musculares tipo IIA en el vasto externo. Además, hay dos cuestiones que requieren una mayor investigación: el porcentaje incrementado de fibras musculares tipo IIX en el vasto externo de estos atletas, así como también la homogeneidad del porcentaje del área de fibra muscular tipo II.

### Puntos Clave

- Los lanzadores de martillo bien entrenados tuvieron una mayor masa magra corporal, mayores áreas de sección cruzada de fibras musculares tipo IIA, así como también una mayor densidad mineral ósea, en comparación con los sujetos de control.
- La masa magra corporal estuvo muy relacionada con el rendimiento en el lanzamiento de martillo.
- El porcentaje relativamente elevado de las fibras musculares tipo IIX del vasto externo de los lanzadores de martillo merece más investigación

### Agradecimientos

Se agradece a todos los sujetos que participaron en el estudio, en particular a los lanzadores de martillo. Este estudio en parte ha sido respaldado por la S.A.R.F. de U.O.A. Todos los procedimientos experimentales cumplen con las actuales leyes estatales.

## REFERENCIAS

1. Adam, C., Klissouras, V., Ravazzolo, M., Renson, R. and Tuxworth, W (1988). Eurofit: European Test of Physical Fitness. *Council of Europe. Rome: Committee for the Development of Sport*
2. Andersen, J.L. and Aagaard, P (2000). Myosin heavy chain IIX over-shoot in human skeletal muscle. *Muscle Nerve* 23(7), 1095-10104
3. Adams, G.R., Hather, B.M., Baldwin, K.M. and Dudley, G.A (1993). Skeletal muscle myosin heavy chain composition and resistance training. *Journal of Applied Physiology* 74, 911-915
4. Beachle, T.R., Earle, R.W. and Wathen, D (2000). Resistance training. In: Essentials of strength training and conditioning. Eds: Beachle, T.R., and Earle, R.W. *Champaign IL: Human Kinetics*. 395-425
5. Bottinelli, R., Canepari, M., Pellegrino, M.A. and Reggiani, C (1996). Force-velocity properties of human skeletal muscle fibres: myosin heavy chain isoform and temperature dependence. *Journal of Physiology* 495(2), 573-586
6. Brooke, M. and Kaiser, K (1970). Muscle fibre types. How many and what kind. *Archives of Neurology* 23, 369-379
7. Brooke, M. and Kaiser, K (1970). Three myosin ATPase systems. The nature of their pH lability and sulfhydryl dependence. *Journal of Histochemistry and Cytochemistry* 18, 670-672
8. Cook, M (2006). Muscular power (upper and lower body) and performance in the hammer throw. *PhD thesis, University of Wisconsin-Whitewater, Wisconsin*
9. Costill, D.L., Daniels, J., Evans, W., Fink, W., Krahenbuhl, C. and Saltin, B (1976). Skeletal muscle enzymes and fibre composition in male and female track athletes. *Journal of Applied Physiology* 40(2), 149-154
10. Coyle, E.F., Bell, S., Costill, D.L. and Fink, W (1978). Skeletal muscle fibre characteristics of world class shot-putters. *Research Quarterly* 49(3), 275-284
11. D'Antona, G., Lanfranconi, F., Pellegrino, M.A., Brocca, L., Adami, R., Rossi, R., Moro, G., Miotti, D., Canepari, M. and Bottinelli, R (2006). Skeletal muscle hypertrophy and structure and function of skeletal muscle fibres in male body builders. *Journal of Physiology* 1, 611-627
12. De Rose, E.H. and Biazus, L (1978). Distance assessment in shot put based on lean body mass. In: International Conference on Nutrition, Dietetics and Sport. *Torino: Minerva Medica*. 233-240
13. Dickerman, R.D., Pertusi, R. and Smith, G.H (2000). The upper range of lumbar spine bench bone mineral density? An examination of the current world record holder in the squat lift. *International Journal of Sports Medicine* 21, 469-470
14. Dubowitz, V. and Sewry, C (2006). Muscle biopsy: a practical approach. *Elsevier Health Sciences, Philadelphia*
15. Dunn, G.D. and McGill, K (1991). The throws manual. *Tafnews Press, CA*
16. Enoka, R (2008). Neuromechanics of human movement. *Champaign IL: Human Kinetics*
17. Fahey, T.D., Akka, L. and Rolph, R (1975). Body composition and VO<sub>2</sub>max of exceptional weight-trained athletes. *Journal of Applied Physiology* 39(4), 559-561
18. Fry, A.C (2004). The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Medicine* 34(10), 663-679
19. Hamdy, R.C., Anderson, J.S., Whalen, K.E. and Harvill, L.M (1994). Regional differences in bone density of young men involved in different exercises. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 26(7), 884-888
20. Moritani, T (2005). Motor unit and motoneurone excitability during explosive movement. In: Strength and power in sport. Ed: Komi, P.V. *Oxford: Blackwell Scientific Publications*. 27-49
21. Morrow, J.R., Disch, J.C., Ward, P.E., Donovan, T.J., Katch, F.I., Katch, V.L., Weltman, A.L. and Tellez, T (1982). Anthropometric, strength and performance characteristics of american world class throwers. *Journal of Sports Medicine* 22, 73-79
22. Parcell, A.C., Sawyer, R.D. and Poole, R.C (2003). Single muscle fibre myosin heavy chain distribution in elite female track athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 35(3), 434-438
23. Pette, D. and Staron, R.S (2001). Transition of muscle fibre phenotypic profiles. *Histochem. Cell Biology* 115, 359-372
24. Schantz, P.G., Henriksson, J. and Jansson, E (1983). Adaptation of human skeletal muscle to endurance training of long duration. *Clinical Physiology* 3, 141-151
25. Silvester, J (2003). Complete book of throws. *Human Kinetics, Champaign, IL*
26. Staron, R.S (1997). Human skeletal muscle fibre types: delineation, development, and distribution. *Canadian Journal of Applied Physiology* 22, 307-327
27. Terzis, G., Karamatsos, G. and Georgiadis, G (2007). Neuromuscular control and performance in shot put athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 47, 284-290
28. Terzis, G., Stratakos, G., Manta, P. and Georgiadis, G (2008). Throwing performance after resistance training and detraining. *Journal of Strength and Conditioning Research* 22(4), 1198-1204
29. Terzis, G., Georgiadis, G., Stratakos, G., Vogiatzis, I., Kavouras, S., Manta, P., Mascher, H. and Blomstrand, E (2008). Resistance exercise-induced increase in muscle mass correlates with p70S6 kinase phosphorylation in human subjects. *European Journal of Applied Physiology* 102(2), 145-152
30. Thorland, W., Johnson, G., Fagot, T., Tharp, G. and Hammer, R (1981). Body composition and somatotype characteristics of junior Olympic athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 13(5), 332-338
31. Zatsiorsky, V (2005). Biomechanics of strength and strength training. In: Strength and power in sport. Ed: Komi, P.V. *Oxford: Blackwell Scientific Publications*. 439- 487

### Cita Original

Gerasimos Terzis, Konstantinos Spengos, Stavros Kavouras, Panagiota Manta and Giorgos Georgiadis. Muscle Fibre Type Composition and Body Composition in Hammer Throwers. *Journal of Sports Science and Medicine* (2010) 9, 104 - 109