

Estudio comparativo de la fuerza explosiva y arquitectura muscular en cuatro grupos de estudiantes

DAVID AZNAR CHICHARRO

Diploma de Estudios Avanzados

TOMÁS DELGADO BLAS

Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

LUIS M.ª ALEGRE DURÁN*

Doctor por la Universidad de Castilla-La Mancha

XAVIER AGUADO JÓDAR**

Profesor Titular de Universidad

Laboratorio de Biomecánica.

Facultad de Ciencias del Deporte de Toledo, Universidad de Castilla-La Mancha

Correspondencia con autores

* luis.alegre@uclm.es

** xavier.aguado@uclm.es

Resumen

Los objetivos de este estudio han sido describir y comparar transversalmente las características de la arquitectura muscular y la fuerza explosiva de las extremidades inferiores en cuatro grupos de estudiantes de Ciencias del Deporte, pertenecientes a diferentes cursos de una misma facultad. La fuerza explosiva fue medida mediante los test de salto Squat Jump (SJ) y salto con contramovimiento (CMJ), mientras que se midió mediante ecografía la arquitectura muscular de los músculos vasto lateral, gastrocnemio lateral y gastrocnemio medial. No se encontraron diferencias significativas entre cursos en ninguna de las variables estudiadas, salvo entre 3.º y 4.º en tiempo de vuelo y altura de vuelo del SJ. Los alumnos de 3.º mostraron los valores más altos de fuerza explosiva, aunque estos fueron algo más bajos que los encontrados en otros estudios. Las longitudes relativas de los fascículos musculares eran similares, comparadas con otros estudios. En nuestro trabajo, analizando el conjunto de la muestra, no encontramos correlaciones significativas, entre ninguna variable de fuerza y arquitectura muscular, algo posiblemente provocado por la influencia de otros factores en la producción de fuerza muscular, como el tipo de fibra muscular o la activación neural.

Palabras clave

Biomecánica, Tests de salto, Longitud del fascículo, Plataforma de fuerzas, Ecografía.

Abstract

Comparative study of the explosive force and muscle architecture in four groups of students

The purposes of this study were to describe and establish comparisons between groups in the explosive force and muscle architecture of the lower extremities, in four groups of Sports Sciences students, from the same faculty. Explosive force was tested by the Squat Jump (SJ) and the Counter-movement Jump (CMJ), and muscle architecture of vastus lateralis, gastrocnemius lateralis and gastrocnemius medialis was analysed with an ultrasonographer. There were no significant differences between groups in the variables studied, except for the jump height and flight time in the SJ, in the groups of 3rd and 4th courses. The students from the 3rd course showed greater jump performance than the others, although these values were lower than those found in other studies with similar populations. Relative fascicle lengths were similar to those reported in the literature. There were no significant correlations between explosive force and muscle architecture variables, probably because there are more factors involved in the force production, like fibre type and neural activation.

Key words

Biomechanics, Jump tests, Fascicle length, Force Platform, Ultrasound.

Introducción

La fuerza muscular ha sido considerada como un factor importante dentro del rendimiento físico y deportivo y, por ello, ha sido estudiada en las Ciencias del Deporte por diferentes áreas como la biomecánica o la teoría del entrenamiento.

A la hora de evaluar la fuerza que un sujeto es capaz

de producir, debemos considerar múltiples factores y la importancia de los mismos en el resultado final. Algunos de ellos, como los metabólicos, han sido ampliamente estudiados, pero no ha ocurrido lo mismo con otros. En este sentido, la arquitectura muscular tiene una gran relevancia, puesto que su modificación implica variaciones mecánicas, que influyen considerablemente en el com-

portamiento del músculo. Algunos autores llegan a afirmar que estos cambios pueden tener más peso en la manifestación de la fuerza que, por ejemplo, el porcentaje de diferentes tipos de fibras que pueda tener el músculo (Wickiewicz, Roy, Powell y Edgerton, 1983, Lieber y Fridén, 2000).

La arquitectura muscular es definida por Enoka (1994) como la “disposición física de los elementos contráctiles del músculo”. De estos elementos caben destacar 3 variables fundamentales: grosor muscular, ángulo de peneación y longitud de los fascículos.

La arquitectura muscular varía considerablemente de unas personas a otras debido a diversas causas. Características genéticas, sexo, raza, edad y tipo de entrenamiento han sido mencionadas en la bibliografía (Abe, Brechue, Fujita y Brown, 1998; Chow y cols., 2000; Fukashiro, Abe, Shiba y Brechue, 2002; Kubo y cols., 2003). Estas variaciones en sí mismas explicarían gran parte de las diferencias interindividuales en la manifestación de la fuerza.

Los primeros trabajos *in vivo* sobre arquitectura muscular, aprovechando las posibilidades de la ecografía y la resonancia magnética son relativamente recientes (Griffiths, 1987; Henrikson-Larsen, Wretling, Loretzon y Oberg, 1992; Kawakami, Abe y Fukunaga, 1993; Rutherford y Jones, 1992; Scott y Engstrom, 1993). Esto hace que algunas implicaciones no hayan sido aún aclaradas como, por ejemplo, la influencia que diferentes tipos y niveles de entrenamiento pueden ejercer. También son escasos en la bibliografía, estudios en los que se relacione la arquitectura muscular con la capacidad de salto, o la fuerza explosiva de las extremidades inferior-

res (Kumagai y cols., 2000a; Alegre, Aznar, Delgado, Jiménez y Aguado, 2003; Blazevich y Zhu, 2004). Sin embargo, dado el interés que está suscitando entre los científicos, es previsible que en los próximos años aumente considerablemente el conocimiento que tenemos de las repercusiones que el entrenamiento y desentrenamiento tienen en la mecánica del músculo y cómo determinados programas nos pueden llevar a ganar fuerza más eficazmente.

Los objetivos de este estudio han sido describir y comparar transversalmente las características de la arquitectura muscular y la fuerza explosiva de las extremidades inferiores en cuatro grupos de estudiantes de Ciencias del Deporte, pertenecientes a diferentes cursos de una misma facultad. La hipótesis de partida fue que se encontrarían diferencias entre los grupos, en función de la edad.

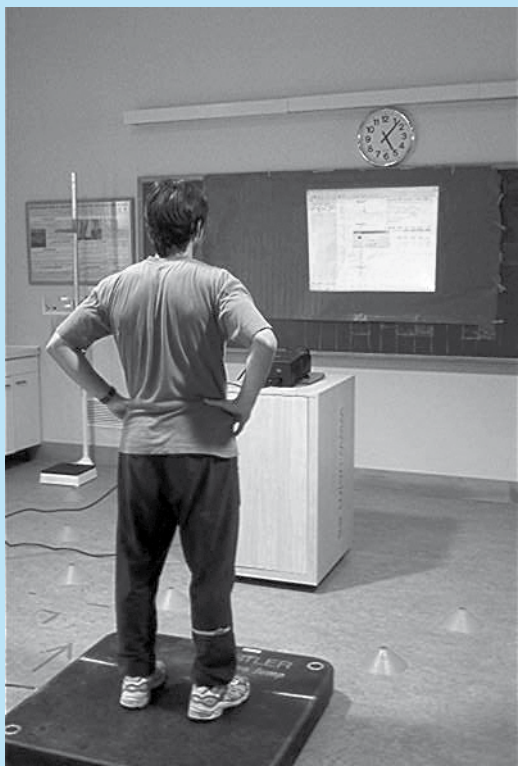
Metodología

En un grupo de 34 sujetos varones (8 sujetos del 1.º curso, 8 sujetos del 2.º curso, 9 sujetos del 3.º curso y 9 sujetos del 4.º curso), estudiantes de Ciencias del Deporte, se realizaron mediciones de cineantropometría, fuerza explosiva y arquitectura muscular, con las metodologías y protocolos que, a continuación, se exponen. A todos los sujetos, se les administró también un cuestionario de actividad física con el fin de comprobar que hicieran actividad física, pero no entrenaran un mismo deporte más de 2 días a la semana y así, homogeneizar la muestra. Las características de los sujetos, agrupados por cursos, aparecen en la *tabla 1*.

Variables (Número de sujetos)	\bar{x} (\pm SD)				
	Todos los sujetos (34)	1.º curso (8)	2.º curso (8)	3.º curso (9)	4.º curso (9)
Edad (años)	20,71 (1,87)	18,88 (1,36)	20,50 (1,41)	21,33 (2,24)	21,89 (0,78)
Peso (kg)	74,45 (6,44)	71,50 (3,38)	76,55 (4,35)	75,74 (7,53)	73,90 (8,52)
Estatuta (cm)	178,16 (5,69)	180,00 (5,57)	178,50 (6,54)	178,61 (4,51)	175,79 (6,23)
FFM (kg)	66,91 (5,04)	65,27 (3,01)	68,41 (3,84)	68,13 (6,42)	65,83 (5,90)
% grasa	9,84 (2,51)	8,69 (2,31)	10,60 (2,40)	9,38 (1,71)	10,66 (3,25)
Perímetro muslo (cm)	57,35 (2,96)	55,91 (2,40)	57,25 (1,21)	57,96 (3,57)	58,11 (3,72)
Longitud muslo (cm)	44,70 (2,97)	45,30 (3,02)	43,88 (3,14)	45,21 (3,18)	44,39 (2,85)
Perímetro pierna (cm)	37,56 (1,80)	37,10 (0,84)	37,84 (0,99)	37,76 (1,81)	37,51 (2,89)
Longitud pierna (cm)	42,23 (3,12)	41,83 (4,01)	42,86 (2,47)	43,02 (1,83)	41,23 (3,87)

Tabla 1

Características de edad y cineantropometría de la población estudiada.



▲
Figura 1
Ejecución de un test de salto sobre la plataforma *Quattro Jump*.

Cineantropometría

Se usó un tallímetro *SECA* (*SECA Ltd*, Alemania), una báscula de pie *SECA* (*SECA Ltd*, Alemania), un antropómetro *GPM* (*SiberHegner Ltd*, Japón), una cinta antropométrica *Fat-O-Meter* (*Novel Products*, EE.UU.), un paquímetro *GPM* (*SiberHegner Ltd*, Japón) y un plicómetro *Holtain* (*Holtain Ltd*, Reino Unido).

Todas las medidas laterales se tomaron en el lado derecho del cuerpo, con el sujeto descalzo y con pantalón corto. Se marcaron los puntos anatómicos previamente con lápiz dermatográfico. En todas las mediciones se usaron los protocolos y recomendaciones del Grupo Español de Cineantropometría (*GREC*) publicados en el manual de *Esparza* (1993).

Las variables estudiadas fueron: el peso, la talla, el peso libre de grasa, el perímetro de la pierna, el perímetro del muslo, la longitud de la pierna y la longitud del muslo.

Fuerza explosiva

Se usó una plataforma de fuerzas portable *Quattro Jump* (*Kistler*, Suiza) con una frecuencia de muestreo de 500 Hz. Se registraron las fuerzas verticales durante la batida y el tiempo de vuelo de los saltos. Se dibujó una línea sobre la plataforma en la que se debían alinear la parte anterior de los pies.

Se evaluó la fuerza explosiva de las extremidades inferiores mediante los test de salto *CMJ* (salto con contramovimiento) y *SJ* (salto sin contramovimiento) (*Fig. 1*). En el *SJ* se determinó el ángulo previo de flexión de 90°, medidos mediante escuadra, ajustada a los ejes medios de pierna y muslo, sobre la rodilla.

Aunque los sujetos del estudio ya habían realizado test de salto en otras ocasiones se realizó una sesión de familiarización aprovechando la opción de retroinformación en tiempo real de la plataforma de fuerzas. Esta opción permite mostrar durante el salto, en forma de gráfica proyectada mediante un cañón de video de-

lante del sujeto, las fuerzas que se ejercen contra el suelo.

Antes de la realización de los test se realizó un calentamiento previo que fue estandarizado y estuvo supervisado por el investigador.

Las variables estudiadas fueron: el tiempo de vuelo, la altura del salto, el pico de máxima fuerza, el impulso de aceleración, el impulso de frenado, el ratio de impulsos, la potencia máxima, el tiempo de la fase concéntrica de la batida y el ratio de alturas SJ/CMJ.

Arquitectura muscular

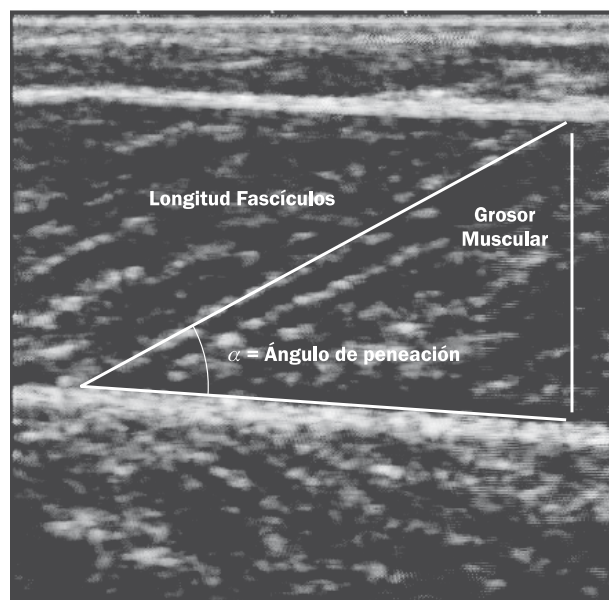
Se usó un ecógrafo en modo B y tiempo real modelo *Just Vision* (Toshiba, Japón) con un cabezal lineal a 7,5 MHz. Se obtuvieron imágenes a 4 cm de profundidad en cortes oblicuo-sagitales, en la extremidad inferior derecha. Se analizaron 3 músculos: el vasto lateral (VL), al 50 % de la distancia entre el trocánter mayor del fémur y la meseta tibial, y los gastrocnemios medial (GM) y lateral (GL) al 30 % de la distancia entre la apófisis estiloides del peroné y el maleolo lateral.

Los sujetos se colocaron sobre una camilla en decúbito supino para las mediciones en el vasto lateral y para las de los gastrocnemios en decúbito prono, con la rodilla extendida y el tobillo en posición anatómica. En todas las mediciones el examinador se aseguraba de que la musculatura analizada estaba relajada.

Se usó gel hidrosoluble sobre el cabezal del ecógrafo para facilitar la señal de las imágenes, y en el momento de considerar que la imagen era buena, se procedió a su grabación en vídeo (1-3 s de duración). Después se volcaron esas imágenes al ordenador donde se seleccionaron las mejores para su posterior análisis. De cada sujeto, se obtuvieron 5 imágenes diferentes de cada uno de los 3 músculos estudiados. Para el análisis posterior se descartaron las 2 mediciones extremas (mayor y menor) y se promediaron las otras 3 para dar el resultado final.

Las variables estudiadas fueron: el grosor muscular, el ángulo de peneación, la longitud de los fascículos (Fig. 2) y la longitud de los fascículos normalizados con la longitud del muslo o de la pierna, según el músculo.

Con la metodología utilizada se realizaron estudios de reproducibilidad en donde se obtuvieron coeficientes de variación del 5,4 % al 8,2 % (menores que los encontrados en otros estudios, como Narici y cols. (1996), que dan valores entre el 8 y el 9,8 %).



▲
Figura 2

Imagen de ecografía donde se pueden ver las tres variables estudiadas: grosor muscular, ángulo de peneación y longitud de los fascículos.

Estadística

Se utilizó para el análisis estadístico, el programa informático Statistica 5.1. Con él se hallaron la media, la desviación estándar y los coeficientes de correlación. Para evaluar si las variables utilizadas seguían una distribución normal se utilizó el Test de la *W de Shapiro-Wilks* y se calcularon los coeficientes de curtosis y asimetría de cada una de ellas. Las variables que no seguían una distribución normal fueron el perímetro de la pierna, la fuerza máxima/peso (CMJ), la longitud de los fascículos del VL, el ángulo de peneación del GL, la longitud de los fascículos del GL y la longitud de la pierna.

Se realizaron ANOVAs para buscar diferencias entre grupos, y cuando aparecieron diferencias significativas, se utilizó el test *post hoc* de *Scheffé*. Se usó el criterio de significación estadística de $p < 0,05$.

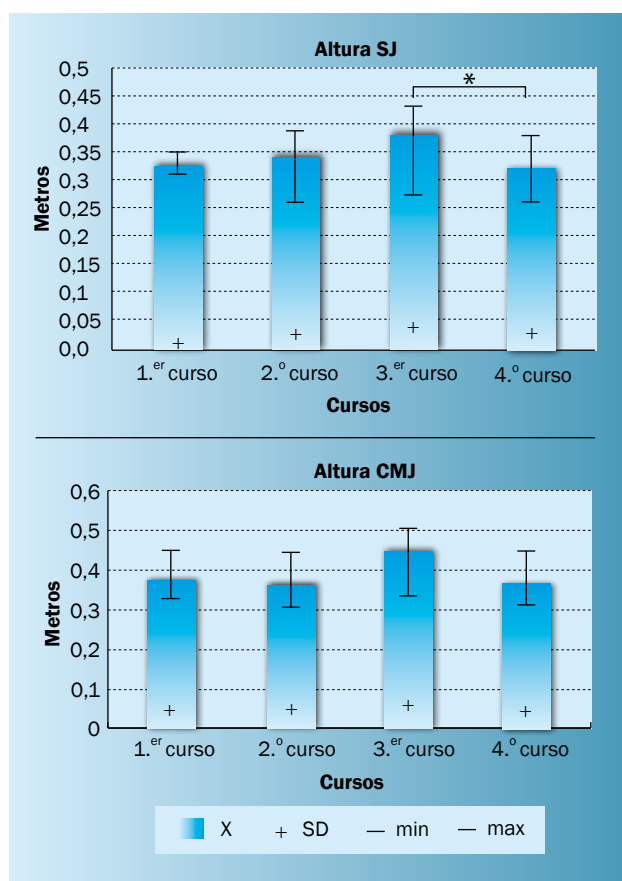
Resultados y discusión

Como podemos ver en la tabla 1, no existieron diferencias significativas entre los resultados cineantropométricos obtenidos en los 4 cursos de educación física. Tampoco hubo una tendencia evolutiva dentro de dichos cursos, aunque sí llamaba la atención, que los menores porcentajes de grasa apareciesen en el 1.º curso y los

Variables (Número de sujetos)	$\bar{x} (\pm SD)$				
	Todos los sujetos (34)	1.º curso (8)	2.º curso (8)	3.º curso (9)	4.º curso (9)
Altura SJ (m)	0,333 (0,044)	0,317 (0,014)	0,325 (0,43)	0,372 (0,054)	0,314 (0,032)
Altura CMJ (m)	0,390 (0,051)	0,375 (0,041)	0,373 (0,045)	0,432 (0,060)	0,374 (0,034)
Altura SJ/Altura CMJ	0,856 (0,057)	0,853 (0,074)	0,869 (0,046)	0,862 (0,037)	0,842 (0,072)
Tiempo fase concéntrica batida CMJ (s)	0,261 (0,040)	0,285 (0,037)	0,253 (0,056)	0,262 (0,021)	0,244 (0,036)
Potencia máxima SJ/Masa (W/kg)	54,69 (6,39)	53,50 (5,41)	54,10 (7,70)	58,10 (6,83)	52,85 (5,06)
Potencia máxima en CMJ/Masa (W/kg)	53,90 (6,15)	53,27 (4,57)	52,58 (8,51)	55,90 (5,90)	53,62 (5,73)
Impulso de aceleración SJ (N-s)	199,79 (20,54)	191,06 (4,61)	201,95 (16,65)	214,09 (25,81)	191,32 (20,52)
Impulso de aceleración CMJ (N-s)	211,22 (21,51)	205,75 (9,65)	209,98 (22,75)	222,93 (26,76)	205,47 (20,87)
Impulso frenado/Impulso aceleración CMJ	0,49 (0,07)	0,49 (0,10)	0,49 (0,07)	0,48 (0,07)	0,49 (0,05)

Tabla 2

Resultados de los test de salto SJ (sin contramovimiento) y CMJ (con contramovimiento) sobre plataforma de fuerzas portable "Quattro Jump" en la población estudiada

**Figura 3**

Resultados de las alturas de vuelo en los test de salto SJ (sin contramovimiento) y CMJ (con contramovimiento) sobre plataforma de fuerzas portable "Quattro Jump" en los 4 grupos estudiados.

*: $p < 0,05$, sujetos de 3.º curso vs. sujetos de 4.º curso.

mayores, en el 4.º curso. Las posibles causas de estas diferencias podrían estar relacionadas con cambios en los estilos de vida, que serían más sedentarios con la edad, o con cambios endógenos, aunque estos puntos son sólo especulativos y se escapan del objeto de este artículo. Para aclarar este punto sería interesante llevar a cabo estudios longitudinales en los que se incluyese una cuantificación de la actividad física de los sujetos.

Fuerza explosiva

Las alturas de vuelo obtenidas fueron de $0,333 \pm 0,044$ m en el SJ y de $0,390 \pm 0,051$ m en el CMJ (tabla 2). Estas alturas eran relativamente bajas si las comparamos con otros estudios encontrados en la bibliografía. Komi y Bosco (1978) obtuvieron unas alturas medias de $0,355 \pm 0,051$ m en el SJ y de $0,403 \pm 0,069$ m en el CMJ, en estudiantes finlandeses de educación física. Aguado (1999) con estudiantes de educación física de León, obtuvo unas alturas medias de $0,342 \pm 0,053$ m en el SJ y de $0,416 \pm 0,051$ m en el CMJ. Los valores inferiores de este trabajo pudieron obedecer a una peor forma física de los sujetos estudiados si los comparamos con los sujetos de los otros estudios, aunque, como hemos comentado, queda por demostrar que esté ocurriendo una involución en la forma física de los estudiantes de Ciencias del Deporte.

Aparecieron correlaciones significativas entre las alturas de vuelo en SJ y CMJ ($r = 0,87$, $p < 0,001$), entre los impulsos de aceleración en SJ y CMJ ($r = 0,88$,

$p < 0,001$), y entre el impulso de frenado en CMJ y el ratio de impulsos ($r = 0,82$, $p < 0,001$). Las correlaciones encontradas mostraron cómo los sujetos mantuvieron una cierta estabilidad en sus saltos (los que saltaban más en SJ, también lo hacían en CMJ), lo que indica que tras la sesión de familiarización, los sujetos habían adquirido una técnica correcta y por ello, se eliminaron factores que pudieron haber provocado una mayor variabilidad en el rendimiento. Siguiendo esta línea, Lara, Abián, Alegre y Aguado (2004), en un estudio realizado con 13 jugadoras de voleibol de Primera División Nacional, en la que también se llevó a cabo una sesión de familiarización, obtuvieron correlaciones similares a las nuestras entre alturas de vuelo en SJ y CMJ ($r = 0,85$, $p < 0,001$), entre los impulsos de aceleración en SJ y CMJ ($r = 0,91$, $p < 0,001$) y, entre las potencias máximas de SJ y CMJ ($r = 0,96$, $p < 0,001$). Pensamos, partiendo de la observación de los saltos realizados en nuestro laboratorio, que la familiarización previa es imprescindible cuando se quiere medir fuerza explosiva mediante saltos, especialmente en el SJ, pues al requerir la anulación consciente del contramovimiento por parte del sujeto, puede no ejecutarse de forma máxima, o

con un excesivo contramovimiento. Este problema ya ha sido comentado por Canavan y Vescovi (2004). En nuestro laboratorio se prestaba especial atención a este punto, y no validábamos los tests hasta que la ejecución de los saltos era correcta.

Se encontraron diferencias significativas entre los alumnos de 3.º y 4.º, en las variables tiempo de vuelo en SJ ($p < 0,05$) y altura de vuelo en SJ ($p < 0,05$) (Fig. 3). Y aunque no se encontraron diferencias significativas con los otros cursos, sí podemos decir que en 3º se obtuvieron los mejores resultados en este test. Por todo ello, son estos alumnos los que mostraron valores más altos de fuerza explosiva en sus extremidades inferiores. Sin embargo, no podemos atribuir la causa de estos resultados a ninguna de las variables estudiadas.

Arquitectura muscular

En cuanto a la arquitectura muscular, no existieron diferencias significativas entre los cursos, como podemos ver en la *tabla 3*. Esto pudo ser debido a que todos los sujetos mantuvieron unas características de edad, sexo y

Variables (Número de sujetos)	x (SD)				
	Todos los sujetos (34)	1.º curso (8)	2.º curso (8)	3.º curso (9)	4.º curso (9)
Vasto lateral					
Grosor muscular	2,37 (0,28)	2,35 (0,30)	2,51 (0,26)	2,25 (0,27)	2,40 (0,27)
Ángulo peneacion (°)	15,43 (2,65)	15,95 (2,11)	15,96 (2,92)	16,07 (2,46)	13,85 (2,78)
Longitud fascículos (cm)	9,23 (2,25)	8,60 (0,98)	9,53 (2,72)	8,26 (1,36)	10,48 (2,88)
Longitud fascículos/Longitud muslo	0,21 (0,05)	0,19 (0,02)	0,22 (0,07)	0,18 (0,03)	0,24 (0,06)
Gastrocnemio medial					
Grosor muscular (cm)	1,93 (0,17)	1,85 (0,20)	1,92 (0,12)	1,95 (0,20)	1,98 (0,16)
Ángulo peneacion (°)	25,84 (2,24)	24,88 (1,22)	26,31 (3,25)	26,11 (2,03)	26,00 (2,17)
Longitud fascículos (cm)	4,45 (0,47)	4,41 (0,53)	4,38 (0,58)	4,45 (0,50)	4,53 (0,35)
Longitud fascículos/Longitud muslo	0,11 (0,01)	0,11 (0,02)	0,10 (0,01)	0,10 (0,01)	0,11 (0,01)
Gastrocnemio lateral					
Grosor muscular (cm)	1,48 (0,24)	1,40 (0,39)	1,45 (0,17)	1,54 (0,16)	1,53 (0,18)
Ángulo peneacion (°)	15,92 (2,50)	14,25 (3,47)	16,06 (2,56)	16,39 (1,76)	16,81 (1,58)
Longitud fascículos (cm)	5,48 (0,96)	5,86 (1,73)	5,30 (0,60)	5,49 (0,70)	5,29 (0,40)
Longitud fascículos/Longitud muslo	0,12 (0,03)	0,14 (0,06)	0,12 (0,01)	0,13 (0,02)	0,13 (0,02)

Tabla 3

Resultados de la medición de la arquitectura muscular en el vasto lateral del cuádriceps, el gastrocnemio medial y el gastrocnemio lateral, en los 4 grupos de estudiantes.

nivel de entrenamiento muy similares. Sin embargo, al comparar los resultados con los de otros estudios, en la *tabla 4*, sí destacaban las longitudes de los fascículos del VL, que eran relativamente grandes ($9,23 \pm 2,25$ cm) en comparación con otros sujetos (como por ejemplo, los corredores de fondo, estudiados por Abe, Kumagai y Brechue (2000), que mostraban una longitud media de $6,15 \pm 0,61$ cm; o los sprinters de 100 m lisos, estudiados por Kumagai y cols. (2000a), que mostraban unos valores de $8,63 \pm 1,42$ cm ó $7,45 \pm 1,04$ cm, respectivamente en función de que la marca personal en los 100 m fuera superior o inferior a 11 s). Sin embargo, al normalizarlos con la longitud del muslo ya no sobresalían respecto a los otros trabajos. Los valores de arquitectura muscular son frecuentemente normalizados con las dimensiones antropométricas de los segmentos corporales a los que pertenecen ya que su influencia será relativa a éstos. Así, una vez normalizados con la longitud del muslo se obtuvo un ratio de 0,21; por debajo de los 0,22 encontrados en el estudio de Kumagai y cols. (2000a) en velocistas de 100 m. Esto fue debido a que los velocistas estudiados, tenían menores estaturas (172 ± 4 cm en el trabajo de Kumagai) y longitudes de muslo ($39,2 \pm 1,6$ cm) que nuestros sujetos.

Cuando analizamos aquellos estudios en los que participan sujetos de similar estatura a los nuestros, como por ejemplo, los de Brechue y Abe (2002) con *powerlifters*, presentaban longitudes medias de 11,28 cm, pero con mayores ángulos de peneación ($22,1^\circ$ frente a $15,4^\circ$ en nuestro estudio) debido a las características de hipertrofia muscular que presentaban los “powerlifters”. En el estudio de Brechue y Abe los sujetos de la categoría de peso superior (por encima de 110 kg) presentaban grosores musculares de 3,69 cm en el VL, superando con mucho todos los demás valores mostrados en la *tabla 4*.

En nuestro trabajo encontramos correlaciones en el VL de $r = 0,56$ ($p < 0,01$) entre el grosor muscular y la longitud de los fascículos, y de $r = -0,78$ ($p < 0,001$) entre el ángulo de peneación y la longitud de los fascículos; en el GL de $r = 0,58$ ($p < 0,001$) entre el grosor muscular y el ángulo de peneación; en el GM de $r = 0,65$ ($p < 0,001$) entre el grosor muscular y la longitud de los fascículos, y de $r = 0,57$ ($p < 0,001$) entre el ángulo de peneación y la longitud de los fascículos. Las modificaciones que la hipertrofia habitualmente provoca en la arquitectura muscular aumentando el ángulo de peneación y el grosor son explicadas a veces a partir de las correlaciones, encontradas entre estas dos

variables de la arquitectura muscular (Kearns, Abe y Brechue, 2000).

En algunos estudios con muchos sujetos las correlaciones son altas, como en el trabajo de Kawakami y cols. (2000) hecho con 637 sujetos en el tríceps braquial ($r = 0,81$). Abe y cols. (1998) en un trabajo hecho con 51 hombres y mujeres, con el objetivo de mostrar diferencias entre sexos, obtuvieron buenas correlaciones en algunos músculos, como la cabeza larga del tríceps ($r = 0,83$) pero despreciables correlaciones, que, sin embargo, sí fueron destacadas en el trabajo, en otros músculos, como el gastrocnemio medial ($r = 0,41$).

En este trabajo se mostraron una correlación significativa en el GL ($r = 0,58$, $p < 0,001$) entre estas dos variables, grosor muscular y ángulo de peneación. No aparecieron sin embargo, correlaciones significativas en los otros dos músculos estudiados, VL y GM. Creemos que estas relaciones entre el grosor muscular y el ángulo de peneación se pueden ver reforzadas en trabajos hechos con muchos sujetos, y que presenten variados grados de entrenamiento. Aún así, para poder afirmar, como lo hacen algunos trabajos, que con el entrenamiento de hipertrofia el grosor muscular aumenta a medida que lo hace el ángulo de peneación debería hacerse en base a trabajos longitudinales (Kawakami, Abe, Kuno y Fukunaga, 1995; Rutheford y Jones, 1992).

Sin embargo, debemos tener en cuenta, a la hora de analizar la arquitectura muscular de un sujeto, que ésta será modificable y cambiante en función de la edad, sexo, nivel de activación neuromuscular, modalidad deportiva y nivel de entrenamiento. Así, centrándonos en una sola variable, como es el ángulo de peneación, podemos encontrar diferencias notables. En función del sexo, será mayor en hombres que en mujeres (Abe y cols., 1998) y, en función de la modalidad deportiva, por ejemplo, será mayor en futbolistas que en nadadores (Kanehisa, Muraoka, Kawakami y Fukunaga, 2003). Esto puede ser debido a que los nadadores tienen una menor masa muscular en el tren inferior que los futbolistas, por las demandas de su deporte (exigencia de una mayor flotabilidad).

Relaciones fuerza – arquitectura muscular

Los estudios de Abe y cols. (2000) y Kumagai y cols. (2000a) con corredores de velocidad, muestran correlaciones bajas, pero significativas entre la longitud de fascículos del VL y el tiempo en los 100 m ($r = -0,51$,

Estudios	Vasto lateral				Gastrocnemio medial				Gastrocnemio lateral				
	Sujetos (n)	Grosor muscular (cm)	Ángulo de peneación (°)	Longitud Fascículos (cm)	Longitud fascículos/Longitud muslo	Grosor muscular (cm)	Ángulo de peneación (°)	Longitud Fascículos (cm)	Longitud fascículos/Longitud pierna	Grosor muscular (cm)	Ángulo de peneación (°)	Longitud Fascículos (cm)	Longitud fascículos/Longitud pierna
Presente estudio	34	2,37 (0,28)	15,4 (2,65)	9,23 (2,25)	0,21 (0,05)	1,93 (0,17)	25,8 (2,2)	4,45 (0,47)	0,11 (0,01)	1,48 (0,24)	15,9 (2,5)	5,48 (0,96)	0,12 (0,03)
Sprinters 100 m lisos T = 10,00-10,90 s (Kumagai y cols., 2000)	22	2,75 (0,30)	19,0 (3,2)	8,63 (1,42)	0,22 (0,04)	2,37 (0,37)	21,4 (2,9)	6,62 (1,35)	0,17 (0,03)	1,93 (0,23)	14,0 (1,4)	8,07 (1,49)	0,21 (0,04)
Powerlifters Categoría: >110 kg (Brechue y Abe, 2002)	7	3,69 (0,58)	24,3 (4,9)	9,1 (0,13)	0,21 (0,03)	2,69 (0,32)	31,2 (3,7)	5,3 (0,9)	0,12 (0,02)				
Corredores de fondo 5000 m = 13,5-14,5' 42,2 km = 130 -145' (Abe y cols., 2000)	24	2,47 (0,31)	23,7 (2,1)	6,15 (0,61)	0,15 (0,02)	2,10 (0,24)	23,3 (1,8)	5,36 (0,72)	0,13 (0,02)	1,69 (0,21)	16,1 (2,6)	6,23 (1,07)	0,16 (0,03)
Sprinter 100 m lisos T = 11,00-11,70 s (Kumagai y cols., 2000)	15	2,67 (0,32)	21,1 (2,1)	7,45 (1,04)	0,19 (0,02)	2,25 (0,19)	23,5 (2,6)	5,70 (0,65)	0,14 (0,02)	1,71 (0,20)	15,2 (2,1)	6,55 (0,68)	0,16 (0,02)
Grupo Control (Abe y cols., 2000)	24	2,32 (0,22)	19,5 (3,6)	7,13 (1,18)	0,18 (0,03)	1,97 (0,26)	20,4 (2,5)	5,69 (0,75)	0,14 (0,02)	1,59 (0,19)	13,2 (2,5)	7,16 (1,44)	0,18 (0,04)

Tabla 4 Resultados de la arquitectura muscular en el vasto lateral del cuádriceps y los gastrocnemios medial y lateral en la población estudiada, comparándolos con los de otros estudios publicados con diversas poblaciones.

$p < 0,001$, en el estudio de Abe). También se han publicado correlaciones aún de menor consistencia entre longitud de fibras en el GL y el tiempo en los 100 m ($r = -0,44$, $p < 0,05$, en el estudio de Abe).

En nuestro trabajo, analizando el conjunto de la muestra, no encontramos correlaciones significativas, entre ninguna variable de fuerza y arquitectura muscular. Hay que tener en cuenta que la arquitectura muscular es simplemente uno de los factores que puede explicar el resultado en las manifestaciones de la fuerza que vayamos a medir. Además, en función de las características de la población estudiada los factores involucrados en la producción de la fuerza, pueden variar. Quizás con pruebas de velocidad en donde se estudiasen otras variables (tiempos de apoyo, punta de velocidad en carrera lanzada, etc.), pudiesen aparecer correlaciones significativas con las variables de arquitectura muscular, como ocurría en el trabajo de Kumagai, Abe y Ryushi (2000b). Así, Blazevich y Zhou (2004), encontraron correlaciones entre variables de fuerza y arquitectura del músculo VL tras un entrenamiento de fuerza, por lo que pensamos que el entrenamiento de fuerza provocaría la aparición de relaciones entre variables.

Una de las limitaciones de este trabajo es que no ha sido un estudio longitudinal, sin embargo, sí podemos decir que la muestra fue representativa de la población estudiada, al equivaler al 10 % de los alumnos existentes en cada curso. Futuros estudios deberían seguir la evolución de grupos similares durante periodos largos de tiempo.

Bibliografía

- Abe, T.; Brechue, W. F.; Fujita, S. y Brown, J. B. (1998). Gender differences in FFM accumulation and architectural characteristics of muscle. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30 (7): 1066-1070.
- Abe, T.; Kumagai, K. y Brechue, W. F. (2000). Fascicle length of leg muscles is greater in sprinters than distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(6):1125-9.
- Aguado, X. (1999). Evaluación de la fuerza explosiva de extensión de miembros inferiores mediante plataformas de fuerza Dinascán 600M. *Biomecánica*, n.º 23, Abril: 27-30.
- Alegre, L. M.; Aznar, D.; Delgado, T.; Jiménez, F. y Aguado, X. (2003) Fuerza y arquitectura muscular en un grupo de estudiantes. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 17 (1): 23-29.
- Blazevich, A. J. y Zhou, S. (2004). Rapid increases in ipsi- and contralateral knee extensor strength occur without muscle architecture changes in previously untrained subjects. (Abstract) No-
veno Congreso del *European College of Sports Sciences*, Clermont-Ferrand, Francia.
- Brechue, W. F. y Abe, T. (2002). The role of FFM accumulation and skeletal muscle architecture in powerlifting performance. *European Journal of Applied Physiology*, 86:327-336.
- Canavan, P. K. y Vescovi, J. D. (2004). Evaluation of power prediction equations: peak vertical jumping power in women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(9):1589-1593.
- Chow, R. S.; Medri, M. K.; Martin, D. C.; Leekam, RN, Agur, A. M., McKee NH. (2000). Sonographic studies of human soleus and gastrocnemius muscle architecture: gender variability. *European Journal of Applied Physiology*, 82 (3): 236-244.
- Enoka, R. M. (1994). Neuromechanical basics of kinesiology. Champaign, IL.: *Human Kinetics*.
- Esparza F. (1993). Grupo Español de Cineantropometría. *Manual de cineantropometría*, primera edición. Pamplona. FEMEDE.
- Fukashiro, S.; Abe, T.; Shibaa, A. y Brechue, W. F. (2002). Comparison of viscoelastic characteristics in triceps surae between Black and White athletes. *Acta Physiologica Scandinavica*, 175 (3): 183-7.
- Griffiths, R. I. (1987). Ultrasound transit time gives direct measurement of muscle fibre length in vivo. *Journal of Neuroscience Methods*, 21 (2-4): 159-65.
- Henriksson-Larsen, K.; Wretling, M.; Loretzon, R. y Oberg (1992). Do muscle fiber size and fiber angulation correlate in penated human muscles? *European Journal of Applied Physiology*, 64: 68-72.
- Kanehisa, H.; Muraoka, Y.; Kawakami, Y. y Fukunaga, T. (2002). Fascicle arrangements of vastus lateralis and gastrocnemius muscles in highly trained soccer players and swimmers of both genders. *International Journal of Sports Medicine*, 24: 90-95.
- Kawakami, Y.; Abe, T. y Fukunaga, T. (1993). Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. *Journal of Applied Physiology*, 74 (6): 2740-2744.
- Kawakami, Y.; Abe, T.; Kuno, S. y Fukunaga, T. (1995). Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. *European Journal of Applied Physiology*, 72: 37-43.
- Kawakami, Y.; Ichinose, Y.; Kubo, K.; Ito, M.; Imai, M. y Fukunaga, T. (2000): Architecture of contracting human muscles and its functional significance. *Journal of Applied Biomechanics*; 16 (1): 88-97.
- Kearns, C. F.; Abe, T. y Brechue, W. F. (2000). Muscle enlargement in sumo wrestlers includes increased muscle fascicle length. *European Journal of Applied Physiology*, 83(4-5):289-296.
- Komi, P. V. y Bosco, C. (1978). Utilization of store elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Medicine and Science in Sports*. 10, 4, 261-265.
- Kumagai K.; Abe, T.; Brechue, W. F.; Ryushi, T.; Takano, S. y Mizuno, M. (2000a). Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. *Journal of Applied Physiology*, 88(3):811-6.
- Kumagai, K.; Abe, T. y Ryushi, T. (2000b). Effect of muscle fascicle length on force velocity relationship of the muscle in vivo. (Abstract). *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32:S284; 2000b.

- Kubo, K.; Kanehisa, H.; Azuma, K.; Ishizu, M.; Kuno, S. Y.; Okada, M.; Fukunaga, T. (2003). Muscle architectural characteristics in women aged 20-79 years. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 35 (1): 39-44.
- Lara, A.; Abián, J.; Alegre, L. M.; Aguado, X. (2004). Tests de salto con plataforma de fuerzas en voleibol femenino. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 18 (2): 11-16.
- Lieber, R. L.; Friden, J. (2000). Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle Nerve*, 23(11): 1647-1666.
- López, J. L.; Grande, I.; Meana, M. y Aguado, X. (2001). Comparative Study of the Reliability of three jump tests with two measurement systems. *Journal of Human Movement Studies*, 41:369-383.
- Narici, M. V.; Binzoni, T.; Hiltbrand, E.; Fasel, J.; Terrier, F. y Cerretelli, P. (1996). In vivo human gastrocnemius architecture with changing joint angle at rest during graded isometric contraction. *Journal of Applied Physiology*, (496): 287-297.
- Rutherford, O. M. y Jones, D. A. (1992). Measurement of fibre pennation using ultrasound in the human quadriceps in vivo. *European Journal of Applied Physiology*, 65 (5): 433-437.
- Scott, S. H.; Engstrom, C. M. y Loeb G. E. (1993). Morphometry of human thigh muscles. Determination of fascicle architecture by magnetic resonance imaging. *Journal of Anatomy*, 182 (Pt 2): 249-257.
- Wickiewicz, T. L.; Roy, R. R.; Powell, P. L. y Edgerton, V. R. (1983). Muscle architecture of the human lower limb. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 179:275-83.