

# ARQUITECTURA MUSCULAR EN CUATRO GRUPOS DE MUJERES JÓVENES

## MUSCLE ARCHITECTURE IN FOUR GROUPS OF YOUNG WOMEN

### RESUMEN

La arquitectura muscular se define como la disposición geométrica de las fibras musculares, e influye significativamente en las características funcionales del músculo. Los objetivos de este estudio han sido analizar y comparar, en cuatro grupos de mujeres jóvenes, con distinto nivel de actividad física, la arquitectura de la musculatura extensora del miembro inferior, estudiando las diferencias entre músculos. Los grupos analizados fueron 12 jugadoras de voleibol de élite (ELITE), 12 jugadoras de voleibol de nivel medio (MED), 10 estudiantes de Educación Física (EST) y 12 mujeres sedentarias jóvenes (SED). Se obtuvieron valores del grosor muscular, los ángulos de pennación y la longitud de fascículos de los músculos vasto lateral (VL), gastrocnemio medial (GM) y gastrocnemio lateral (GL), mediante ecografía, y se determinaron las características antropométricas de cada grupo. Las diferencias arquitectónicas entre músculos eran similares a las descritas en la bibliografía, y se correspondían con el tipo de acciones que desempeñan. El VL presentaba un diseño orientado a la producción de fuerza a altas velocidades, debido a su grosor y a la longitud de sus fascículos. Se encontraron diferencias significativas en el grosor muscular y las longitudes de fascículos del grupo SED, comparado con los grupos MED y ELITE, lo que se relacionaría con la capacidad de las jugadoras de voleibol para desarrollar niveles más altos de fuerza y velocidad debido a un mayor número de sarcómeros en paralelo y en serie. Las mayores longitudes de fascículos encontradas en el grupo ELITE estarían relacionadas con el tipo de entrenamiento que lleva a cabo, que incluye una gran cantidad de saltos y movimientos que producen alargamiento de los fascículos musculares mediante acción mecánica. Las correlaciones entre longitudes de fascículos y grosor muscular en los grupos ELITE y MED concuerdan con aquellas encontradas en deportes donde la fuerza explosiva y la velocidad son fundamentales para el rendimiento.

**Palabras clave:** Biomecánica. Longitud de fascículos. Grosor muscular. Ángulo de pennación. Ecografía. Voleibol.

### SUMMARY

Muscle architecture describes the geometric design of a muscle. It will have a great influence in the force generating capacity and the shortening velocity of skeletal muscle. The purposes of this study were to analyse and compare, in four groups of young women with different levels of physical activity, the architectural characteristics of lower limb extensor muscles, and the differences between muscles. Twelve elite female volleyball players (ELITE), 12 club level female volleyball players (MEDIO), 10 physical education students (EST) and 12 sedentary young women (SED) volunteered for the study. Muscle thickness, pennation angles and fascicle length of vastus lateralis (VL), gastrocnemius medialis (GM) and gastrocnemius lateralis (GL) were analysed by means of ultrasonography, and the anthropometric characteristics of each group were determined. The differences among muscles were similar to those reported in the literature, and were related to the functional use of each muscle. The VL muscle architecture was related to the development of great forces at high contraction velocities, because of its muscle thickness and fascicle length. There were significant differences in muscle thicknesses and fascicle lengths between SED and the groups of volleyball players (MED and ELITE). These differences would be related to the ability to develop higher levels of force and velocity, due to the greater number of in-parallel and in-series sarcomeres. The longer fascicle lengths found in the ELITE group would have been caused by their specific training, mainly composed by jumps and explosive movements that led to forced stretching of muscle fascicles. The correlations between fascicle lengths and muscle thickness in ELITE and MED are similar to those found in sports where explosive strength and speed are essential for the performance.

**Key words:** Biomechanics. Fascicle length. Muscle thickness. Pennation angle. Ultrasonography. Volleyball.

**Luis M. Alegre<sup>1</sup>**

**Amador J. Lara<sup>1</sup>**

**Javier Abián<sup>1</sup>**

**Luis Jiménez Linares<sup>2</sup>**

**Aurelio Ureña<sup>3</sup>**

**Xavier Aguado<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias del Deporte Universidad de Castilla La Mancha Toledo  
<sup>2</sup>Escuela Superior de Informática Universidad de Castilla La Mancha Ciudad Real  
<sup>3</sup>Facultad de Ciencias del Deporte Universidad de Granada Granada

### CORRESPONDENCIA:

Luis M. Alegre Durán  
Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Castilla La Mancha  
Campus Tecnológico. Antigua Fábrica de Armas. Avda. Carlos III, s/n. 45071. Toledo  
E-mail: luis.alegre@uclm.es

**Aceptado:** 30-12-2005 / **Original nº** 513

## INTRODUCCIÓN

La arquitectura muscular ha sido definida como la *disposición geométrica de las fibras musculares*<sup>1,2</sup> y se puede observar mediante imágenes de ecografía<sup>3-5</sup>. No es, ni mucho menos, el único factor a tener en cuenta al explicar el rendimiento deportivo, pero diferentes autores<sup>6-8</sup> creen que su importancia funcional puede ser tanta o más que, por ejemplo, el tipo histológico de fibras musculares que se tenga. Las principales variables que se consideran en la arquitectura muscular son: el grosor muscular, el ángulo de pennación de los fascículos musculares, la longitud de dichos fascículos, el área de sección transversal anatómica, el área de sección transversal fisiológica (*Physiological Cross Sectional Area, PCSA*) y la tensión específica.

La arquitectura muscular se relaciona con factores intrínsecos de la persona, como el sexo<sup>9</sup>, la edad<sup>10,11</sup> y la raza<sup>12</sup>, pero a su vez puede sufrir cambios por otros factores, como el entrenamiento de fuerza<sup>13-17</sup> o la inactividad<sup>18</sup>. Con el entrenamiento de fuerza orientado a la hipertrofia, el grosor muscular y los ángulos de

pennación aumentan<sup>13,15,19</sup>. Sin embargo, en algunos estudios transversales y longitudinales se han encontrado cambios distintos en los ángulos de pennación<sup>4,16,19,20</sup>. Estos cambios han sido relacionados con adaptaciones provocadas por el entrenamiento de fuerza explosiva y de velocidad<sup>16</sup> y, con grupos de deportistas con masas musculares extremas<sup>20</sup>.

La mayor parte de las investigaciones han estudiado a poblaciones masculinas, aunque hay algunos estudios en poblaciones de mujeres<sup>8,11,12,21,22</sup>. En la Tabla 1 aparecen valores de grosor muscular, ángulos de pennación, longitud de fascículos y longitud de fascículos relativa a la longitud de muslo o pierna, medidos en el vasto lateral (VL) y en los gastrocnemios medial (GM) y lateral (GL) en distintas poblaciones de mujeres.

Los objetivos de este estudio han sido analizar y comparar, en 4 grupos de mujeres jóvenes, con distinto nivel de actividad física, la arquitectura de la musculatura extensora de las extremidades inferiores en el VL, GM y GL, estudiando las diferencias entre estos 3 músculos.

Variable	Músculo	Abe et al <sup>12</sup>	Chow et al <sup>8</sup>	Abe et al <sup>21</sup>	Kanehisa et al <sup>22</sup>	Kubo et al <sup>11</sup>		
Nº sujetos		29	16	26	22	20	14	46
Edad		21.7 (4.8)	48 (22)	21.5 (2.7)	20.5 (2.0)	23.7 (0.8)	18.0 (0.6)	30.3 (5.7)
Deporte		Diferentes deportes	Control	Spinters 100m	Control	Fútbol	Natación	Sedentarias o con media AF
Grosor muscular (cm)	VL	2.74 (0.32)		2.50 (0.37)	2.15 (0.29)	2.2 (0.07)	2.5 (0.10)	2.11 (0.38)
	GM	2.14 (0.27)	1.27 (0.25)	2.12 (0.26)	1.84 (0.20)	2.1 (0.04)	2.0 (0.08)	2.02 (0.26)
	GL		1.05 (0.21)	1.69 (0.25)	1.34 (0.27)			
Angulo de pennación (°)	VL	18.6 (3.1)		17.7 (2.8)	20.1 (3.5)	15.9 (0.63)	17.5 (0.75)	18.9 (2.4)
	GM	20.4 (2.5)	18.1 (2)	21.1 (2.2)	19.9 (2.2)	20.9 (0.56)	18.6 (0.56)	21.9 (2.2)
	GL		15.8 (2)	13.1 (2.2)	12.5 (2.1)			
Long Fasc (cm)	VL	8.8 (1.9)		8.40 (1.24)	5.98 (1.03)	7.6 (0.19)	8.3 (0.16)	6.49 (1.09)
	GM	6.2 (0.9)	4.89 (0.96)	5.92 (0.77)	5.52 (0.60)	5.7 (0.10)	6.0 (0.16)	5.43 (0.68)
	GL		4.54 (0.97)	7.44 (1.07)	6.26 (0.87)			
Long Fasc/Long muslo o pierna	VL			0.22 (0.03)	0.17 (0.03)	0.21 (0.05)	0.22 (0.04)	0.176 (0.030)
	GM			0.16 (0.02)	0.15 (0.02)	0.15 (0.02)	0.16 (0.04)	0.151 (0.019)
	GL			0.20 (0.03)	0.17 (0.02)			

Valores de variables de arquitectura muscular encontradas en la bibliografía en distintas poblaciones de mujeres. (Media  $\pm$  SD) (Long: longitud; Fasc: fascículos; VL: vasto lateral; GM: gastrocnemio medial; GL: gastrocnemio lateral; AF: actividad física)

TABLA 1.

## MATERIAL Y MÉTODO

### Sujetos

Tomaron parte en el estudio 46 mujeres jóvenes pertenecientes a 4 grupos diferentes: 12 jugadoras de voleibol de élite, miembros del Equipo Nacional Español (ELITE); 12 jugadoras de voleibol de nivel medio, pertenecientes a un equipo de Primera División Nacional (MED); 10 estudiantes de primer curso de educación física, físicamente activas (EST) y 12 mujeres universitarias sedentarias (SED). El grupo ELITE fue analizado al comienzo de la pretemporada, en un momento de baja forma física. En la Tabla 2 aparecen las características descriptivas de los grupos.

### Antropometría

Para describir las características antropométricas de la población se usó una báscula de pie SECA (SECA Ltd, Alemania), un antropómetro GPM (SiberHegner Ltd, Japón), una cinta antropométrica Holtain (Holtain Ltd, Reino Unido), un paquímetro GPM (Siber-Hegner Ltd, Japón), un plicómetro Holtain (Holtain Ltd, Reino Unido) y un tallímetro SECA (SECA Ltd, Alemania).

Las variables estudiadas en cada sujeto fueron: masa, estatura, porcentajes muscular, graso, óseo y masa libre de grasa (*fat free mass*, FFM).

Los porcentajes muscular y graso se calcularon a partir de la suma de seis pliegues grasos (subescapular, tríceps, suprailíaco, abdominal, anterior del muslo y pierna), tomando la media de tres medidas en cada uno y aplicando las ecuaciones que propone Carter<sup>23</sup>. El FFM se calculó restando al peso corporal el peso graso. Se usaron los protocolos recomendados por el Grupo Español de Cineantropometría (GREC) publicados en el manual de Esparza<sup>24</sup>.

### Arquitectura muscular

Se usó un ecógrafo *Honda HS-1500* (Honda Electronics Co. Ltd, Japón), en modo B, con un cabezal lineal a 7.5 MHz. Las imágenes se obtuvieron a 4 cm de profundidad en cortes oblicuo-sagitales, en la extremidad inferior derecha. Se analizaron el VL, al 50% de la distancia entre el trocánter mayor del fémur y la meseta tibial y el GM y el GL, al 30% de la distancia entre la apófisis estiloides del peroné y el maléolo lateral. Los sujetos se colocaron sobre una camilla en decúbito supino para las mediciones en el VL y en decúbito prono para las mediciones en el GM y GL, con la rodilla extendida y el tobillo en posición anatómica. En todas las mediciones el examinador comprobaba que la musculatura analizada estaba relajada. Se digitalizaron con el software *Osiris v. 3.6* (Hospital Universitario de Ginebra, Suiza) cinco imágenes de cada músculo, excluyendo las que mostraban mayor y menor longitud

Variable	ELITE	MED	EST	SED
Nº Sujetos	12	12	10	12
Edad (años)	22.0 (4.4)	20.4 (2.9)	18.1 (0.3)	19.9 (1.7)
Masa (Kg)	72.49 (6.89)	60.65 (5.72)	58.32 (4.29)	61.69 (12.05)
Estatura (m)	1.789 (0.066)	1.632 (0.047)	1.634 (0.042)	1.628 (0.069)
FFM (Kg)	58.24 (4.61)	50.08 (3.40)	47.21 (2.48)	46.55 (5.91)
% grasa	19.49 (3.47)	17.22 (2.95)	18.90 (2.96)	23.55 (6.95)
% muscular	42.50 (3.35)	46.80 (2.54)	44.58 (3.19)	40.76 (5.11)
% óseo	17.12 (1.46)	15.08 (0.83)	15.62 (0.85)	14.79 (2.15)

Características de los grupos de mujeres estudiados. (Medias  $\pm$  SD).

(FFM: peso libre de grasa; ELITE: jugadoras de la selección española de voleibol; MED: jugadoras de un equipo de 1ª división nacional; EST: estudiantes de educación física; SED: estudiantes universitarias sin actividad física)

TABLA 2.

des de fascículos. Las variables estudiadas fueron: grosor muscular, ángulo de pennación, longitud de fascículos y grosor muscular y la longitud de fascículos normalizados con la longitud del muslo o de la pierna.

Los coeficientes de variación entre análisis repetidos (cinco días diferentes) en grosor muscular, ángulo de pennación y longitud de fascículos fueron de 2.1, 5.2 y 5.5% respectivamente. Con la misma metodología, los coeficientes de correlación intraclase estaban en un rango de 0.95 ( $p < 0.001$ ) a 0.996 ( $p < 0.001$ )<sup>25</sup>.

El ángulo de pennación fue medido como el ángulo entre la dirección de los fascículos y la

aponeurosis profunda del músculo. El grosor muscular fue medido como la distancia perpendicular entre las aponeurosis profunda y superficial del músculo (Figura 1). La longitud de fascículos se calculó por trigonometría a partir del grosor muscular y del ángulo de pennación, según la ecuación: [Longitud de fascículos = Grosor muscular / Seno  $\alpha$  (ángulo de pennación)].

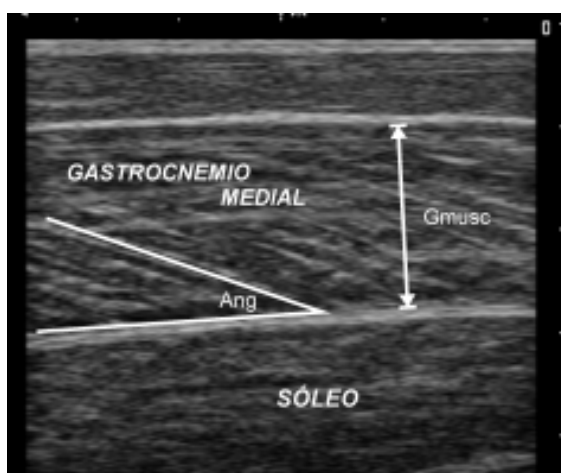
### Métodos estadísticos

Se usó el software estadístico *Statistica for windows v. 5.1*. Se realizó estadística descriptiva obteniendo medias, desviaciones típicas y correlaciones de las variables estudiadas. En las correlaciones se usó el método paramétrico de Pearson, con un criterio de significación mínimo de  $p < 0.05$ . Se empleó como prueba de estadística inferencial el test de la U de Mann-Whitney para comparar los valores entre grupos, usando también un criterio de significación mínimo de  $p < 0.05$ .

### RESULTADOS

En la Tabla 3 se pueden ver los resultados de las variables analizadas en las imágenes de ecografía en los 3 músculos estudiados y en la Tabla 4 las diferencias significativas encontradas, en los 4 grupos de mujeres.

**FIGURA 1.** Imagen ecográfica del gastrocnemio medial. El ángulo de pennación del gastrocnemio medial fue medido entre la aponeurosis profunda (línea blanca horizontal) y los fascículos (líneas blancas oblicuas). El grosor muscular fue obtenido midiendo la distancia entre la aponeurosis superficial y profunda. (Ang: ángulo de pennación; Gmusc: grosor muscular)



Variable	Músculo	ELITE	MED	EST	SED
Grosor muscular (cm)	VL	1.86 (0.26)	2.01 (0.29)	1.98 (0.31)	1.67 (0.26)
	GM	1.85 (0.22)	1.80 (0.31)	1.80 (0.26)	1.61 (0.26)
	GL	1.46 (0.13)	1.42 (0.22)	1.41 (0.23)	1.41 (0.19)
Angulo de pennación (°)	VL	12.5 (1.47)	14.1 (2.4)	15.5 (1.6)	13.1 (1.9)
	GM	23.7 (1.6)	25.0 (2.6)	24.8 (3.9)	23.8 (3.9)
	GL	15.1 (3.0)	15.9 (1.4)	14.7 (2.4)	16.4 (3.2)
Longitud Fascículos (cm)	VL	8.74 (1.56)	8.40 (1.52)	7.48 (1.25)	7.49 (1.14)
	GM	4.63 (0.53)	4.26 (0.61)	4.35 (0.62)	4.04 (0.59)
	GL	5.82 (1.30)	5.26 (1.25)	5.62 (0.86)	5.07 (0.72)
Longitud Fascículos/ Long muslo o pierna	VL	0.19 (0.03)	0.21 (0.04)	0.19 (0.03)	0.19 (0.02)
	GM	0.11 (0.01)	0.11 (0.01)	0.12 (0.02)	0.11 (0.01)
	GL	0.14 (0.03)	0.14 (0.03)	0.15 (0.02)	0.14 (0.02)

Resultados obtenidos en las variables analizadas con el ecógrafo en los 3 músculos analizados. (Medias  $\pm$  SD).

(ELITE: jugadoras de la selección española de voleibol; MED: jugadoras de un equipo de 1ª división nacional; EST: estudiantes de educación física; SED: estudiantes sin actividad física; Long: longitud; Fasc: fascículos; VL: vasto lateral; GM: gastrocnemio medial; GL: gastrocnemio lateral).

**TABLA 3.**

	Grosor muscular	Ángulo de pennación	VL Longitud Fascículo	Grosor muscular Longitud músculo	Grosor muscular	GM Longitud Fascículo	Grosor muscular Longitud pierna
SED-EST		**					*
SED-MED	*						
SED-ELITE			*		*	*	
EST-ELITE		***		*			
MED-ELITE				**			

Diferencias significativas encontradas entre los 4 grupos de mujeres al comparar todas las variables de ecografía. (Medias  $\pm$  SD)

(ELITE: jugadoras de la selección española de voleibol; MED: jugadoras de un equipo de 1ª división nacional; EST: estudiantes de educación física; SED: estudiantes sin actividad física; VL: vasto lateral; GM: gastrocnemio medial; Long pierna: Longitud de la pierna).

\* ( $p < 0.05$ ); \*\* ( $p < 0.01$ ); \*\*\* ( $p < 0.001$ )

TABLA 4.

Aparecieron correlaciones significativas entre el grosor muscular normalizado y el ángulo de pennación en el grupo SED, de  $r = 0.59$ ,  $r = 0.63$  y  $r = 0.71$ ,  $p < 0.05$ , en el VL, GM y GL respectivamente. También apareció una correlación de  $r = 0.62$ ,  $p < 0.05$  entre estas dos variables en el GM del grupo MED. Por otro lado, se encontraron correlaciones significativas entre el grosor muscular y la longitud de fascículos en el VL de los grupos ELITE y EST ( $r = 0.79$  y  $r = 0.81$ ,  $p < 0.01$ ), en el GM de los grupos ELITE y MED ( $r = 0.86$ ,  $p < 0.001$  y  $r = 0.82$ ,  $p < 0.01$ ), y en el GL de los grupos ELITE y MED ( $r = 0.69$ ,  $p < 0.05$  y  $r = 0.93$ ,  $p < 0.001$ ). No aparecieron correlaciones significativas entre grosor muscular y longitud de fascículos en el grupo SED.

## DISCUSIÓN

La discusión ha sido planteada en base a 4 preguntas que a continuación se exponen.

### ¿En qué se diferencia la arquitectura muscular de los músculos estudiados?

El PCSA es el parámetro de arquitectura muscular que más correlaciona con la máxima fuerza que puede generar un músculo<sup>7</sup>. Su cálculo *in vivo* es complicado, y requiere conocer el volumen muscular, los ángulos de pennación y la longitud de fascículos. Por ello, en la bibliografía, se utilizan otras variables más sencillas de calcular,

como el grosor muscular y los ángulos de pennación, para estimar la cantidad de sarcómeros en paralelo de un músculo concreto. Por otra parte, la longitud de fascículos nos indica la cantidad de sarcómeros en serie del músculo, y por tanto, sus posibilidades para ejercer velocidad. En la bibliografía, los músculos extensores de la rodilla y del tobillo han sido caracterizados como músculos diseñados para ejercer grandes niveles de fuerza, por sus grandes PCSAs. *El VL es el músculo que más grosor ha presentado* de los tres estudiados en el conjunto de la población ( $1.88 \pm 0.30$  cm), igual que ocurre en otras poblaciones de la bibliografía<sup>11,12,20-22,26-29</sup>. A la vez, es el que menores ángulos de pennación ha mostrado en nuestro estudio ( $13.7 \pm 2.1^\circ$ ), aunque en la bibliografía presenta, a veces, mayores ángulos que el GL<sup>20,21,27-29</sup>. Esta combinación de grosor muscular y ángulo de pennación hace que el VL sea el músculo que mayores longitudes de fascículos ha presentado de los tres que hemos estudiado ( $8.05 \pm 1.45$  cm).

El GM, por su parte, ha presentado un grosor muscular ( $1.76 \pm 0.27$  cm) mayor que el GL ( $1.42 \pm 0.19$  cm) y, de los músculos estudiados, es el que mayores ángulos de pennación ha mostrado ( $24.3 \pm 3.1^\circ$ ), en el mismo sentido que está referenciado en la bibliografía<sup>11,12,20,22,26,28,29</sup>. Esto hace que la longitud de fascículos que ha mostrado sea la menor de los tres ( $4.32 \pm 0.61$  cm).

La diferente arquitectura de estos músculos está adaptada a sus funciones. Dentro de los princi-

pales extensores del tobillo, el GM sería el músculo más preparado para ejercer grandes fuerzas a bajas velocidades por su gran grosor muscular y sus fascículos relativamente cortos, mientras que el GL adoptaría una función complementaria, generando menos fuerza por su menor grosor muscular, pero a mayor velocidad que el GM. Esto ya ha sido demostrado en los estudios de Wickiewicz, *et al.*<sup>30</sup> y Fukunaga, *et al.*<sup>31</sup>, donde el PCSA y la longitud de fascículos se utilizaron para calcular el máximo potencial de fuerza-velocidad de los músculos del tren inferior. Las características arquitectónicas del VL lo situarían entre los dos gastrocnemios, aunque no debemos olvidar que los músculos que componen el cuádriceps tienen un diseño arquitectónico principalmente orientado hacia la producción de fuerza, con grandes PCSAs<sup>7</sup>. La combinación de una gran cantidad de sarcómeros en paralelo (por la gran PCSA) y mayor cantidad de sarcómeros en serie (por la mayor longitud de fascículos musculares), permitiría al VL generar altos niveles de fuerza y altas velocidades de acortamiento.

### ¿En qué se diferencian las sedentarias?

El grupo SED ha presentado menores grosores musculares que el resto de grupos (entre 16.91 y el 3.42% en función del músculo). Sus ángulos de pennación, también eran los segundos más pequeños en los 3 músculos, sólo por detrás del grupo ELITE. Al ser los valores de estas dos variables pequeños, las sedentarias también

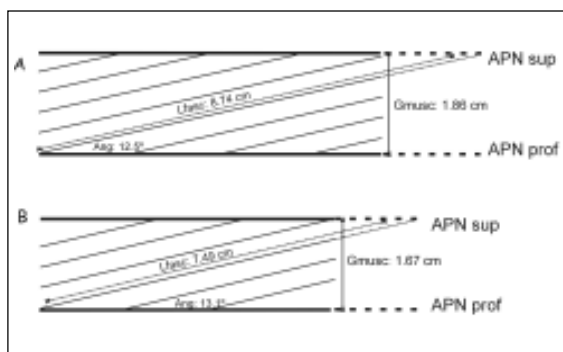
mostraban las menores longitudes de fascículos (Figura 2), de forma similar a lo que describen<sup>20,27</sup> al comparar a sujetos sedentarios con deportistas. Menores ángulos de pennación acompañados de fascículos más cortos implicarían menos sarcómeros en paralelo y en serie, respectivamente<sup>18</sup>, lo que conllevaría una *menor capacidad para ejercer fuerza y velocidad*.

### ¿En qué se diferencian las jugadoras de voleibol?

Un resultado no esperado fue el menor grosor muscular del VL en el grupo ELITE, comparado con el grupo MED (Tabla 4). A pesar de que esta diferencia no era significativa, nos ha parecido interesante comentarla. La explicación podríamos resumirla en 3 puntos: *primero*, el momento de la temporada en el que fue evaluado cada equipo fue distinto. El grupo ELITE fue analizado tras un periodo de descanso de entre 4 y 6 semanas, lo que pudo haber provocado ligeros cambios en la arquitectura y tamaño del VL. La musculatura extensora de la rodilla ha demostrado ser más sensible a la inactividad o al entrenamiento que los extensores del tobillo<sup>32,33</sup>. *Segundo*, durante la actividad normal, como la marcha, la activación relativa de los extensores del tobillo durante actividades normales, como caminar, es mayor que la de los extensores de la rodilla<sup>34</sup>. Por lo tanto, es coherente que hubiera mayores cambios en el VL que en los gastrocnemios, durante un periodo de descanso. *Por último*, la técnica de salto de jugadoras más altas, como las del grupo ELITE, implicaría una menor flexión de rodilla y por tanto, mayor uso del tríceps sural durante la actividad deportiva, aspecto que también estaría relacionado con la mayor acumulación de masa muscular en este grupo, comparado con los otros 3. Además, la acumulación de masa muscular puede no ser un factor que beneficie el rendimiento en voleibol, tal y como ha sido señalado por Gualdi-Russo, *et al.*<sup>35</sup>. Pensamos que sería interesante estudiar si en voleibol masculino se sigue esta misma tendencia.

No hemos encontrado unos parámetros suficientemente claros que diferencien a las jugado-

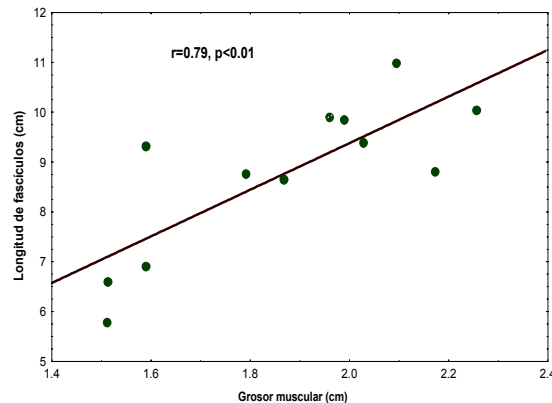
**FIGURA 2.**  
Representación esquemática del diseño arquitectónico del Vasto Lateral en el grupo ELITE (A) y SED (B). En la figura vienen marcados los ángulos de pennación (Ang), el grosor muscular (Gmusc), la longitud de fascículos (Lfasc) y las aponeurosis superficial (APN sup) y profunda (APN prof)



ras de voleibol del resto de mujeres de la población estudiada que no realizaban un entrenamiento específico. Lo único que hemos observado es que los grosores musculares de los gastrocnemios y las longitudes de fascículos en los tres músculos estudiados eran algo mayores en las jugadoras. En la bibliografía ya ha sido descrita la relación entre la longitud de fascículos y las características cineantropométricas<sup>14,22</sup>, por lo que es lógico que el grupo ELITE, el que tenía la mayor estatura media, tenga los valores más altos en este parámetro. Además, el entrenamiento y la competición en el grupo ELITE, en los que se incluyen centenares de saltos a la semana, habría acentuado estas diferencias, puesto que la realización de entrenamientos similares, compuestos por saltos y sprints, han demostrado provocar un aumento en la longitud de los fascículos musculares<sup>16</sup>.

### ¿Cuáles son las correlaciones más importantes?

En el grupo de SED aparecieron correlaciones significativas entre los ángulos de pennación y el grosor muscular normalizado en los tres músculos estudiados (VL,  $r = 0.59$ ; GL,  $r = 0.69$  y GM,  $r = 0.63$ ;  $p < 0.05$ ). En el grupo MED, aparecieron correlaciones significativas entre el grosor muscular del GM y el grosor normalizado ( $r = 0.62$ ;  $p < 0.05$ ). La relación entre el tamaño del músculo y el ángulo de pennación ha sido encontrada en varios trabajos<sup>2,5,13</sup>, aunque hay otros en los que no aparecen relaciones. Estas asociaciones suelen encontrarse en grupos heterogéneos, y pueden ser distintas, dependiendo de los músculos estudiados y del nivel de entrenamiento de los sujetos analizados<sup>5,22,36</sup>. El grupo SED era el más heterogéneo de los 4 estudiados, como se puede ver en la Tabla 2. Por otra parte, las *asociaciones encontradas entre la longitud de fascículos y el grosor muscular* en los grupos ELITE y MED, coinciden con las halladas en atletas de velocidad<sup>28</sup>. La relación entre longitud de fascículos y grosor indicaría un crecimiento del músculo basado en el alargamiento de fascículos, adaptación que ha sido relacionada con varios aspectos que podrían ser favorables en deportes



**FIGURA 3.** Correlación entre grosor muscular y longitud de fascículos del vasto lateral en el grupo ELITE

en los que la fuerza explosiva y la velocidad son importantes: *primero*, aumentos en la velocidad de acortamiento<sup>28</sup>, por el mayor número de sarcómeros en serie. *Segundo*, mejoras en la transmisión de la fuerza al tendón<sup>20</sup> debido a los menores ángulos de pennación, puesto que cuanto mayores son, la eficacia en la transmisión de la fuerza de los fascículos al tendón disminuye en función del coseno del ángulo de pennación. *Por último*, aumentos de potencia por modificaciones en la curva fuerza-velocidad de la fibra muscular<sup>21,29</sup>, asumiendo que un músculo con fascículos más largos, tiene más sarcómeros en serie<sup>7,28</sup>. Estos aumentos de potencia se producirían al desplazarse la curva fuerza-velocidad hacia la derecha, lo que permitiría realizar contracciones más rápidas manteniendo el mismo nivel de fuerza que una fibra más corta. Resultó sorprendente encontrar una correlación de  $r = 0.81$  ( $p < 0.01$ ) entre el grosor y la longitud de fascículos del VL en el grupo EST. Estas correlaciones eran similares a las encontradas en ELITE ( $r = 0.79$ ,  $p < 0.01$ ) (Figura 3). Pensamos que sería interesante profundizar en este punto, relacionando estos valores con variables obtenidas en tests específicos, como los tests de salto.

### CONCLUSIONES

- Los músculos estudiados presentaban una arquitectura adaptada a las funciones que desempeñan. Así el GM, con un diseño

arquitectónico orientado hacia la producción de fuerza, presentaba ángulos de pennación y grosores musculares grandes y longitudes de fascículos pequeñas, mientras que el GL estaba más preparado para ser rápido, por lo que tenía mayores longitudes de fascículos. El VL, combinaría características para producir fuerzas grandes a altas velocidades, debido a su gran grosor y a sus fascículos largos.

- El grupo de sedentarias es el que ha presentado menores grosores musculares de los 4 grupos estudiados. Además, también ha mostrado ángulos de pennación pequeños y las menores longitudes de fascículos. Éstas son características de la arquitectura muscular de grupos con bajos niveles de actividad física.
- No se han encontrado unos parámetros suficientemente claros con los que se pueda caracterizar la arquitectura muscular de los grupos de jugadoras de voleibol, aunque el

grupo ELITE presentaba las mayores longitudes de fascículos en los 3 músculos. La ausencia de diferencias claras en la arquitectura muscular entre los grupos ELITE, MED y EST de este trabajo sugeriría que hay más factores implicados en el rendimiento deportivo, como el tipo de fibra muscular y factores neurales.

- Las correlaciones entre longitudes de fascículos y grosor muscular relativo en los grupos ELITE y MED concuerdan con aquellas encontradas en deportes donde la fuerza explosiva y la velocidad son fundamentales para el rendimiento.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido realizado gracias a los proyectos DIMOCLUST del Ministerio de Ciencia y Tecnología y PREDACOM de la Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Castilla-La Mancha.

## B I B L I O G R A F Í A

1. Fukunaga T, Ichinose Y, Ito M, Kawakami Y, Fukashiro S. Determination of fascicle length and pennation in a contracting human muscle in vivo. *J Appl Physiol* 1997; 82(1):354-8.
2. Kawakami Y, Ichinose Y, Kubo K, Ito M, Imai M, Fukunaga T. Architecture of contracting human muscles and its functional significance. *J Appl Biomec* 2000;16(1):88-97.
3. Griffiths RI. Ultrasound transit time gives direct measurement of muscle fibre length in vivo. *J Neurosci Methods* 1987;21(2-4):159-65
4. Rutherford OM, Jones DA. Measurement of fibre pennation using ultrasound in the human quadriceps in vivo. *Eur J Appl Occup Physiol* 1992;65(5):433-7.
5. Kawakami Y, Abe T, Fukunaga T. Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. *J Appl Physiol* 1993;74(6):2740-4
6. Burkholder TJ, Fingado B, Baron S, Lieber RL. Relationship between muscle fiber types and sizes and muscle architectural properties in the mouse hindlimb. *J Morphol* 1994;221(2):177-90.
7. Lieber RL, Friden J. Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle Nerve* 2000; 23(11):1647-66.
8. Wickiewicz TL, Roy RR, Powell PL, Edgerton VR. Muscle architecture of the human lower limb. *Clin Orthop* 1983;179:275-83.
9. Chow RS, Medri MK, Martin DC, Leekam RN, Agur AM, McKee NH. Sonographic studies of human soleus and gastrocnemius muscle architecture: gender variability. *Eur J Appl Physiol* 2000;82(3):236-44.
10. Binzoni T, Bianchi S, Hanquinet S, Kaelin A, Sayegh Y, Dumont M, Jequier S. Human gastrocnemius medialis pennation angle as a function of age: from newborn to the elderly. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci* 2001; 20(5):293-8.
11. Kubo K, Kanehisa H, Azuma K, Ishizu M, Kuno SY, Okada M, Fukunaga T. Muscle architectural characteristics in



- young and elderly men and women. *Int J Sports Med* 2003; 24(2):125-30.
12. **Abe T, Brechue WF, Fujita S, Brown JB.** Gender differences in FFM accumulation and architectural characteristics of muscle. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30(7):1066-70.
  13. **Kawakami Y, Abe T, Kuno S, Fukunaga T.** Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. *Eur J Appl Physiol* 1995;72:37-43.
  14. **Aagaard P, Andersen JL, Dyhre-Poulsen P, Leffers AM, Wagner A, Magnusson SP, Halkjaer-Kristensen J, Simonsen EB.** A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *J Physiol* 2001;15:534(Pt. 2):613-23.
  15. **Kanehisa H, Nagareda H, Kawakami Y, Akima H, Masani K, Kouzaki M, Fukunaga T.** Effects of equivolume isometric training programs comprising medium or high resistance on muscle size and strength. *Eur J Appl Physiol* 2002; 87(2):112-9.
  16. **Blazevich AJ, Gill ND, Bronks R, Newton RU.** Training-specific muscle architecture adaptation after 5-wk training in athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35(12):2013-22.
  17. **Alegre LM.** *Cambios en la arquitectura y biomecánica de la musculatura esquelética tras un entrenamiento de fuerza explosiva.* Tesis Doctoral, 2004. Universidad de Castilla-La Mancha. Toledo.
  18. **Narici M.** Human skeletal muscle architecture studied in vivo by non-invasive imaging techniques: functional significance and applications. *J Electromyogr Kinesiol* 1999; 9(2):97-103
  19. **Blazevich AJ, Giorgi A.** Effect of testosterone administration and weight training on muscle architecture. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33(10):1688-93.
  20. **Kearns CF, Abe T, Brechue WF.** Muscle enlargement in sumo wrestlers includes increased muscle fascicle length. *Eur J Appl Physiol* 2000;83(4-5):289-96
  21. **Abe T, Fukashiro S, Harada Y, Kawamoto K.** Relationship between sprint performance and muscle fascicle length in female sprinters. *J Physiol Anthropol Appl Hum Sci* 2001; 20(2):141-7.
  22. **Kanehisa H, Muraoka Y, Kawakami Y, Fukunaga T.** Fascicle arrangements of vastus lateralis and gastrocnemius muscles in highly trained soccer players and swimmers of both genders. *Int J Sports Med* 2003;24(2):90-5.
  23. **Carter JEL.** Anthropometric instruments and measurements used in the Montreal Olympic Games Anthropological Project. En: Carter JEL. *Physical structure of Olympic athletes. Part I: MOGAP. Medicine Sport* Vol 16. Karger. Basel. 1982.
  24. **Esparza F.** *Manual de cineantropometría.* Pamplona: FEMEDE, 3, 1993.
  25. **Alegre LM, Jiménez F, Gonzalo-Orden JM, Martín-Acero R, Aguado X.** Effects of dynamic resistance training on fascicle length and isometric strength. *J Sports Sci* 2006. En prensa.
  26. **Abe T, Brown JB, Brechue WF.** Architectural characteristics of muscle in black and white college football players. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31(10):48-1452.
  27. **Abe T, Kumagai K, Brechue WF.** Fascicle length of leg muscles is greater in sprinters than distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32(6):1125-9.
  28. **Kumagai K, Abe T, Brechue WF, Ryushi T, Takano S, Mizuno M.** Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. *J Appl Physiol* 2000;88(3):811-6.
  29. **Alegre LM, Aznar D, Delgado T, Jiménez F, Aguado X.** Fuerza y arquitectura en un grupo de estudiantes de educación física. *Revista de Entrenamiento Deportivo* 2003; 17(1):23-9.
  30. **Wickiewicz TL, Roy RR, Powell PL, Perrine JJ, Edgerton VR.** Muscle architecture and force velocity relationships in humans. *J Appl Physiol* 1984;57(2):435-43.
  31. **Fukunaga T, Roy RR, Shellock FG, Hodgson JA, Lee PL, Kwong-Fu H, Edgerton VR.** Physiological cross-sectional area of human leg muscles based on magnetic resonance imaging. *J Orthop Res* 1992;10:926-34.
  32. **Weiss LW, Clark FC, Howard DG.** Effects of heavy-resistance triceps surae muscle training on strength and muscularity of men and women. *Phys Ther* 1988;68(2):208-13.
  33. **Kubo K, Kanehisa H, Azuma K, Ishizu M, Kuno SY, Okada M, Fukunaga T.** Muscle architectural characteristics in women aged 20-79 years. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35(1):39-44.
  34. **Ericson MO, Nisell R, Ekholm J.** Quantified electromyography of lower-limb muscles during level walking. *Scand J Rehabil Med* 1986;18(4):159-63.
  35. **Gualdi-Russo E, Zaccagni L.** Somatotype, role and performance in elite volleyball players. *J Sports Med Phys Fitness* 2001;41(2):256-62.
  36. **Ichinose Y, Kanehisa H, Ito M, Kawakami Y, Fukunaga T.** Relationship between muscle fiber pennation and force generation capability in Olympic athletes. *Int J Sports Med* 1998;19(8):541-6.