

Estudi comparatiu de la força explosiva i l'arquitectura muscular en quatre grups d'estudiants

DAVID AZNAR CHICHARRO

Diploma d'Estudis Avançats

TOMÁS DELGADO BLAS

Llicenciat en Ciències de l'Activitat Física i l'Esport

LUIS M.ª ALEGRE DURÁN*

Doctor per la Universidad de Castilla-La Mancha

XAVIER AGUADO JÓDAR**

Professor Titular d'Universitat

Laboratori de Biomecànica.

Facultat de Ciències de l'Esport de Toledo, Universidad de Castilla-La Mancha

Correspondència amb autors

* *luis.alegre@uclm.es*

** *xavier.aguado@uclm.es*

Resum

Els objectius d'aquest estudi han estat descriure i comparar transversalment les característiques de l'arquitectura muscular i la força explosiva de les extremitats inferiors en quatre grups d'estudiants de Ciències de l'Esport, pertanyents a diferents cursos d'una mateixa facultat. La força explosiva va ser mesurada mitjançant els test de salt Squat Jump (SJ) i salt amb contramoviment (CMJ), mentre que l'arquitectura muscular dels músculs vast lateral, gastrocnemi lateral i gastrocnemi medial es va mesurar mitjançant ecografia. No es van trobar diferències significatives entre cursos en cap de les variables estudiades, excepte entre 3r i 4t en temps de vol i altura de vol del SJ. Els alumnes de 3r van mostrar els valors més alts de força explosiva, encara que aquests van ser una mica més baixos que els trobats en altres estudis. Les longituds relatives dels fascicles musculars eren similars, comparades amb altres estudis. Al nostre treball, analitzant el conjunt de la mostra, no trobem correlacions significatives entre cap variable de força i arquitectura muscular, cosa provocada possiblement per la influència d'altres factors en la producció de força muscular, com ara el tipus de fibra muscular o l'activació neural.

Paraules clau

Biomecànica, Tests de salt, Longitud del fascicle, Plataforma de forces, Ecografia.

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.

Introducció

La força muscular ha estat considerada com un factor important dintre del rendiment físic i esportiu i, per això, ha estat estudiada, dins les Ciències de l'Esport, per àrees diverses, com ara la biomecànica o la teoria de l'entrenament.

A l'hora d'avaluar la força que un subjecte és capaç

de produir, hem de considerar múltiples factors i quina importància tenen en el resultat final. Alguns d'aquests factors, com ara els metabòlics, han estat estudiats àmpliament, però no ha passat el mateix amb uns altres. En aquest sentit, l'arquitectura muscular té una gran rellevància, car la seva modificació implica variacions mecàniques, que influeixen considerablement en el compor-

tament del múscul. Alguns autors arriben a afirmar que aquests canvis poden tenir més pes en la manifestació de la força que no pas, per exemple, el percentatge de diferents tipus de fibres que pugui tenir el múscul (Wickiewicz, Roy, Powell i Edgerton, 1983; Lieber i Friden, 2000).

L'arquitectura muscular és definida per Enoka (1994) com la "disposició física dels elements contràctils del múscul". D'aquests elements, podem destacar-ne tres variables fonamentals: gruix muscular, angle foliforme de les fibres i longitud dels fascicles.

L'arquitectura muscular varia considerablement d'unes persones a unes altres, per causes diverses. Característiques genètiques, sexe, raça, edat i tipus d'entrenament han estat mencionades en la bibliografia (Abe, Brechue, Fujita i Brown, 1998; Chow cols., 2000; Fukushima, Abe, Shiba i Brechue, 2002; Kubo cols., 2003). Aquestes variacions explicarien, per elles mateixes, gran part de les diferències interindividuals en la manifestació de la força.

Els primers treballs *in vivo* sobre arquitectura muscular, aprofitant les possibilitats de l'ecografia i la resonància magnètica, són relativament recents (Griffiths, 1987; Henrikson-Larsen, Wretling, Loretzon i Oberg, 1992; Kawakami, Abe i Fukunaga, 1993; Rutherford i Jones, 1992; Scott i Engstrom, 1993). Això fa que algunes implicacions encara no hagin estat prou aclarides com és el cas, per exemple, de la influència que diferents tipus i nivells d'entrenament hi poden exercir. Tampoc no es troben a la bibliografia gaires estudis que relacionin l'arquitectura muscular amb la capacitat de salt, o amb

la força explosiva de les extremitats inferiors (Kumagai cols., 2000a; Alegre, Aznar, Delgado, Jiménez i Agudo, 2003; Blazevich i Zhu, 2004). No obstant això, atès l'interès que està suscitant entre els científics, és previsible que en els pròxims anys augmenti considerablement el coneixement que tenim de les repercussions que tenen l'entrenament i el desentrenament en la mecànica del múscul i de quina forma uns programes determinats ens poden conduir a guanyar força més eficaçment.

Els objectius d'aquest estudi han estat descriure i comparar transversalment les característiques de l'arquitectura muscular i la força explosiva de les extremitats inferiors en quatre grups d'estudiants de Ciències de l'Esport, pertanyents a diferents cursos d'una mateixa facultat. La hipòtesi de partida va ser que es trobarien diferències entre els grups, en funció de l'edat.

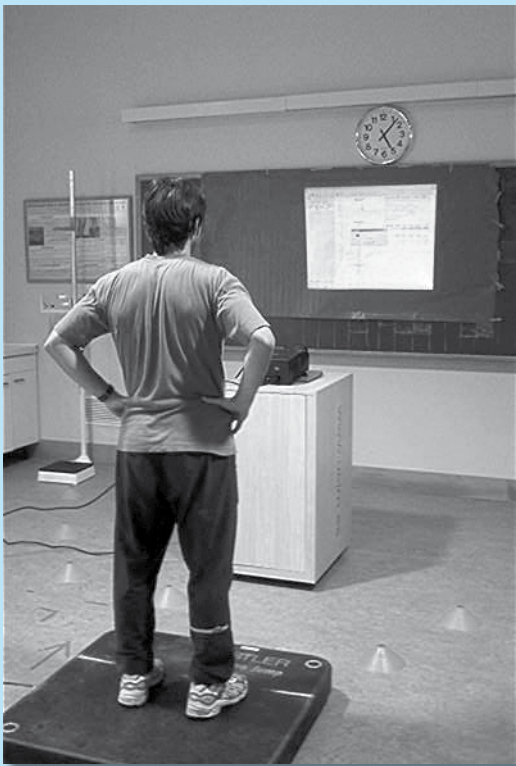
Metodologia

En un grup de 34 subjectes barons (8 subjectes del 1r curs, 8 subjectes del 2n curs, 9 subjectes del 3r curs i 9 subjectes del 4t curs), estudiants de Ciències de l'Esport, es van realitzar mesuraments de cinesioantropometria, força explosiva i arquitectura muscular, amb les metodologies i protocols que exposem a continuació. També es va administrar a tots els subjectes un qüestionari d'activitat física, amb la finalitat de comprovar que fessin activitat física, però no entrenessin en un mateix esport més de 2 dies a la setmana, per tal d'homogeneïtzar la mostra. Les característiques dels subjectes, agrupats per cursos, apareixen a la *taula 1*.

Variables (Nombre de subjectes)	x (± SD)				
	Tots els subjectes (34)	1r curs (8)	2n curs (8)	3r curs (9)	4t curs (9)
Edat (anys)	20,71 (1,87)	18,88 (1,36)	20,50 (1,41)	21,33 (2,24)	21,89 (0,78)
Pes (kg)	74,45 (6,44)	71,50 (3,38)	76,55 (4,35)	75,74 (7,53)	73,90 (8,52)
Alçària (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)
% greix	9,84 (2,51)	8,69 (2,31)	10,60 (2,40)	9,38 (1,71)	10,66 (3,25)
Perímetre cuixa (cm)	57,35 (2,96)	55,91 (2,40)	57,25 (1,21)	57,96 (3,57)	58,11 (3,72)
Longitud cuixa (cm)	44,70 (2,97)	45,30 (3,02)	43,88 (3,14)	45,21 (3,18)	44,39 (2,85)
Perímetre cama (cm)	37,56 (1,80)	37,10 (0,84)	37,84 (0,99)	37,76 (1,81)	37,51 (2,89)
Longitud cama (cm)	42,23 (3,12)	41,83 (4,01)	42,86 (2,47)	43,02 (1,83)	41,23 (3,87)

Taula 1

Característiques d'edat i cinesioantropometria de la població estudiada.



▲
Figura 1

Execució d'un test de salt sobre la plataforma "Quattro Jump".

Cinesioantropometria

Es va fer servir un tallímetre *SECA* (*SECA Ltd*, Alemanya), una bàscula de peu *SECA* (*SECA Ltd*, Alemanya), un antropòmetre *GPM* (*SiberHegner Ltd*, Japó), una cinta antropomètrica *Fat-O-Meter* (*Novel Products*, EUA), un paquímetre *GPM* (*SiberHegner Ltd*, Japó) i un plicòmetre *Holtain* (*Holtain Ltd*, Regne Unit).

Totes les mesures laterals es van prendre al costat dret del cos, amb el subjecte descalç i amb pantalons curts. Es van marcar prèviament els punts anatòmics amb llapis dermogràfic. En tots els mesuraments es van utilitzar els protocols i recomanacions del Grup Espanyol de Cinesioantropometria (*GREC*) publicats al manual d'Esparza (1993).

Les variables estudiades van ser: el pes, la talla, el pes lliure de greix, el perímetre de la cama, el perímetre de la cuixa, la longitud de la cama i la longitud de la cuixa.

Força explosiva

Es va fer servir una plataforma de forces portable *Quattro Jump* (*Kistler*, Suïssa) amb una freqüència de mostreig de 500 Hz. Es van registrar les forces verticals durant la batuda i el temps de vol dels salts. Es va dibuixar una línia sobre la plataforma on s'havia d'alinear la part anterior dels peus.

Es va avaluar la força explosiva de les extremitats inferiors mitjançant els tests de salt *CMJ* (salt amb contramoviment) i *SJ* (salt sense contramoviment) (*Fig. 1*). Al *SJ* es va determinar l'angle previ de flexió de 90° , mesurats mitjançant esquadra, ajustada als eixos mitjans de cama i cuixa, sobre el genoll.

Encara que els subjectes de l'estudi ja havien realitzat tests de salt en altres ocasions es va fer una sessió de familiarització, tot aprofitant l'opció de retroinformació en temps real, de la plataforma de forces. Aquesta opció permet de mostrar, durant el salt, en forma de gràfica projectada mitjançant un canó de

vídeo davant del subjecte, les forces que s'exerceixen contra el terra.

Abans de la realització dels tests es va realitzar un escalfament previ, estandarditzat, que va ser supervisat per l'investigador.

Les variables estudiades van ser: el temps de vol, l'altura del salt, la punta de màxima força, l'impuls d'acceleració, l'impuls de frenada, la ràtio d'impulsos, la potència màxima, el temps de la fase concèntrica de la batuda i la ràtio d'altures SJ/CMJ.

Arquitectura muscular

Vam utilitzar un ecògraf en mode B i temps real, model *Just Vision* (Toshiba, Japó) amb un capçal lineal a 7,5 MHz. Es van obtenir imatges a 4 cm de profunditat en talls oblics sagitals, en l'extremitat inferior dreta. Es van analitzar 3 músculs: el vast lateral (VL), al 50 % de la distància entre el trocànter major del fèmur i el planell tibial, i els gastrocnemis medial (GM) i lateral (GL) al 30 % de la distància entre l'apòfisi estiloide del peroné i el mal·lèol lateral.

Els subjectes es van col·locar sobre una llitera, en decúbit supí per als mesuraments en el vast lateral i per a les dels gastrocnemis en decúbit pron, amb el genoll estès i el turmell en posició anatòmica. En tots els mesuraments l'examinador s'assegurava que la musculatura analitzada estava relaxada.

Es va fer servir un gel hidrosoluble, sobre el capçal de l'ecògraf, per facilitar el senyal de les imatges, i en el moment de considerar que la imatge era bona, es va procedir a l'enregistrament en vídeo (1-3 s de durada). Després es van passar aquestes imatges a l'ordinador, on se'n van seleccionar les millors per fer-ne l'anàlisi posterior. De cada subjecte, es van obtenir 5 imatges diferents de cadascun dels 3 músculs estudiats. Per a l'anàlisi posterior se'n van descartar els 2 mesuraments extrems (major i menor) i es va fer la mitjana dels altres 3 per tal de donar el resultat final.

Les variables estudiades van ser: el gruix muscular, l'angle foliforme de les fibres, la longitud dels fascicles (*Fig. 2*) i la longitud dels fascicles normalitzats amb la longitud de la cuixa o de la cama, segons el múscul.

Amb la metodologia utilitzada es van realitzar estudis de reproductibilitat on es van obtenir coeficients de variació del 5,4 % al 8,2 % (menors que els trobats en altres estudis, com Narici i cols. [1996], que donen valors entre el 8 i el 9,8 %).

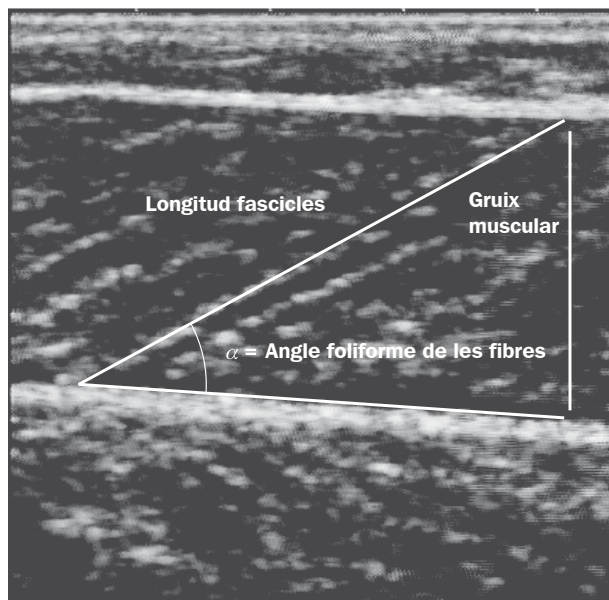


Figura 2
Imatge d'ecografia on es poden veure les tres variables estudiades: gruix muscular, angle foliforme de les fibres i longitud dels fascicles.

Estadística

Per a l'anàlisi estadística es va utilitzar el programa informàtic *Statistica 5,1*, amb el qual es van trobar la mitjana, la desviació estàndard i els coeficients de correlació. Per avaluar si les variables utilitzades seguien una distribució normal es va utilitzar el Test de la *W de Shapiro-Wilks* i es van calcular els coeficients de curtosi i d'asimetria de cadascuna. Les variables que no seguien una distribució normal van ser el perímetre de la cama, la força màxima/pes (CMJ), la longitud dels fascicles del VL, l'angle foliforme de les fibres del GL, la longitud dels fascicles del GL i la longitud de la cama.

Es van realitzar ANOVAs per buscar diferències entre grups, i quan van aparèixer diferències significatives, es va utilitzar el test *post hoc* de *Scheffé*. Es va emprar el criteri de significació estadística de $p < 0,05$.

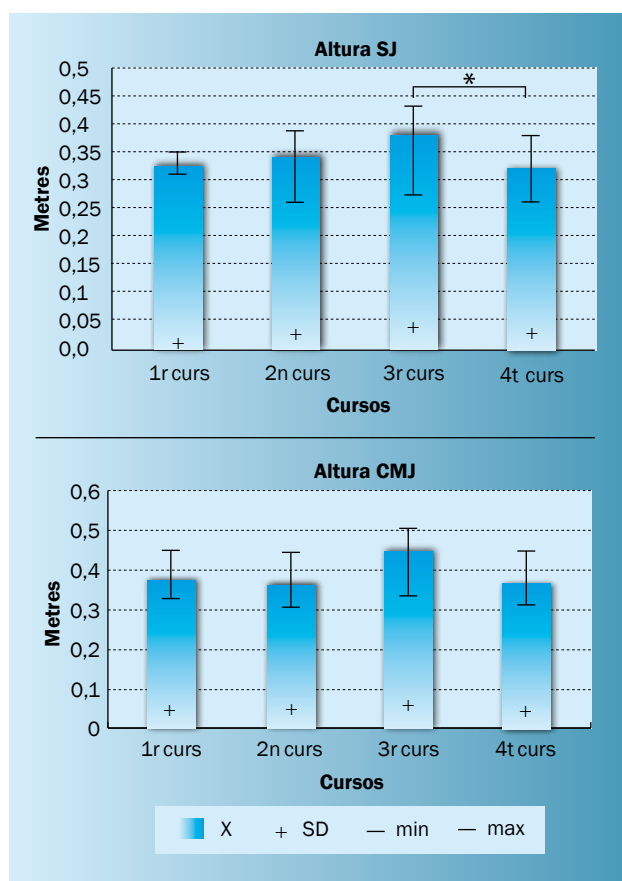
Resultats i discussió

Com podem veure a la taula 1, no hi va haver diferències significatives entre els resultats cinesioantropomètrics obtinguts en els 4 cursos d'educació física. Tampoc no hi va haver una tendència evolutiva dintre d'aquests cursos, encara que sí que cridava l'atenció que els percentatges de greix menors apareguessin en el

Variables (Nombre de subjectes)	x (± SD)				
	Tots els subjectes (34)	1r curs (8)	2n curs (8)	3r curs (9)	4t curs (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)
Temps fase concèntrica batuda CMJ (s)	0,261 (0,040)	0,285 (0,037)	0,253 (0,056)	0,262 (0,021)	0,244 (0,036)
Potència màxima SJ/Massa (W/kg)	54,69 (6,39)	53,50 (5,41)	54,10 (7,70)	58,10 (6,83)	52,85 (5,06)
Potència màxima en CMJ/Massa (W/kg)	53,90 (6,15)	53,27 (4,57)	52,58 (8,51)	55,90 (5,90)	53,62 (5,73)
Impuls d'acceleració SJ (N-s)	199,79 (20,54)	191,06 (4,61)	201,95 (16,65)	214,09 (25,81)	191,32 (20,52)
Impuls d'acceleració CMJ (N-s)	211,22 (21,51)	205,75 (9,65)	209,98 (22,75)	222,93 (26,76)	205,47 (20,87)
Impuls frenada/Impuls acceleració CMJ	0,49 (0,07)	0,49 (0,10)	0,49 (0,07)	0,48 (0,07)	0,49 (0,05)

Taula 2

Resultats dels tests de salt SJ (sense contramoviment) i CMJ (amb contramoviment) sobre plataforma de forces portable "Quattro Jump" en la població estudiada.

**Figura 3**

Resultats de les altures de vol en els tests de salt SJ (sense contramoviment) i CMJ (amb contramoviment) sobre plataforma de forces portable "Quattro Jump" en els 4 grups estudiats.

*: $p < 0,05$, subjectes de 3r curs vs subjectes de 4t curs.

1r curs i els percentatges superiors en el 4t curs. Les possibles causes d'aquestes diferències podrien trobar-se relacionades amb canvis en els estils de vida, que serien més sedentaris en augmentar l'edat, o amb canvis endògens, encara que aquests punts són només especulatius i s'escapen de l'objecte d'aquest article. Per aclarir aquest punt seria interessant portar a terme estudis longitudinals on s'incloués una quantificació de l'activitat física dels subjectes.

Força explosiva

Les altures de vol obtingudes van ser de $0,333 \pm 0,044$ m en el SJ i de $0,390 \pm 0,051$ m en el CMJ (taula 2). Aquestes altures eren relativament baixes si les comparem amb altres estudis trobats a la bibliografia. Komi i Bosco (1978) van obtenir unes altures mitjanes de $0,355 \pm 0,051$ m en el SJ i de $0,403 \pm 0,069$ m en el CMJ, en estudiants d'educació física finlandesos. Aguado (1999) va obtenir, amb estudiants d'educació física de Lleó, unes altures mitjanes de $0,342 \pm 0,053$ m en el SJ i de $0,416 \pm 0,051$ m en el CMJ. Els valors inferiors d'aquest treball podria ser que responguessin a una pitjor forma física dels subjectes estudiats si els comparem amb els subjectes dels altres estudis, encara que, com hem comentat, queda per demostrar que s'estigui esdevenint una involució en la forma física dels estudiants de Ciències de l'Esport.

Van aparèixer correlacions significatives entre les altures de vol en SJ i CMJ ($r = 0,87$, $p < 0,001$), en-

tre els impulsos d'acceleració en SJ i CMJ ($r = 0,88$, $p < 0,001$), i entre l'impuls de frenada en CMJ i la ràtio d'impulsos ($r = 0,82$, $p < 0,001$). Les correlacions trobades van mostrar que els subjectes van mantenir una certa estabilitat en els salts (els que saltaven més en SJ, també ho feien en CMJ), cosa que indica que després de la sessió de familiarització, els subjectes havien adquirit una tècnica correcta i per això es van eliminar els factors que podien haver provocat més variabilitat en el rendiment. Seguint aquesta línia, Lara, Abián, Alegre i Aguado (2004), en un estudi realitzat amb 13 jugadors de voleibol de Primera Divisió Nacional, en la qual també es va portar a terme una sessió de familiarització, van obtenir correlacions similars a les nostres entre altures de vol en SJ i CMJ ($r = 0,85$, $p < 0,001$), entre els impulsos d'acceleració en SJ i CMJ ($r = 0,91$, $p < 0,001$) i, entre les potències màximes de SJ i CMJ ($r = 0,96$, $p < 0,001$). Pensem, partint de l'observació dels salts realitzats al nostre laboratori, que la familiarització prèvia és imprescindible quan es vol mesurar la força explosiva mitjançant salts, especialment en el SJ, car en requerir l'anul·lació conscient del contramoviment per part del subjecte, pot ser que no s'executi de forma mà-

xima, o que es realitzi amb un contramoviment excessiu. Aquest problema ja ha estat comentat per Canavan i Vescovi (2004). Al nostre laboratori es prestava una atenció especial en aquest punt, i no validàvem els tests fins que l'execució dels salts no era correcta.

Es van trobar diferències significatives entre els alumnes de 3r i 4t, en les variables temps de vol en SJ ($p < 0,05$) i altura de vol en SJ ($p < 0,05$) (Fig. 3). I encara que no es van trobar diferències significatives amb els altres cursos, sí que podem dir que en 3r es van obtenir els millors resultats en aquest test. Per tot això, són aquests alumnes els que van mostrar valors més alts de força explosiva en les seves extremitats inferiors. Tanmateix, no podem atribuir la causa d'aquests resultats a cap de les variables estudiades.

Arquitectura muscular

Quant a l'arquitectura muscular, no hi va haver diferències significatives entre els cursos, com podem veure a la *taula 3*. La causa d'això podria ser el fet que tots els subjectes van mantenir unes característiques d'edat, sexe i nivell d'entrenament molt similars. No obstant això,

Variables (Nombre de subjectes)	x (SD)				
	Tots els subjectes (34)	1r curs (8)	2n curs (8)	3r curs (9)	4t curs (9)
Vast lateral					
Gruix muscular	2,37 (0,28)	2,35 (0,30)	2,51 (0,26)	2,25 (0,27)	2,40 (0,27)
Angle folifome de les fibres (°)	15,43 (2,65)	15,95 (2,11)	15,96 (2,92)	16,07 (2,46)	13,85 (2,78)
Longitud fascicles (cm)	9,23 (2,25)	8,60 (0,98)	9,53 (2,72)	8,26 (1,36)	10,48 (2,88)
Longitud fascicles /Longitud cuixa	0,21 (0,05)	0,19 (0,02)	0,22 (0,07)	0,18 (0,03)	0,24 (0,06)
Gastrocnemi medial					
Gruix muscular (cm)	1,93 (0,17)	1,85 (0,20)	1,92 (0,12)	1,95 (0,20)	1,98 (0,16)
Angle folifome de les fibres (°)	25,84 (2,24)	24,88 (1,22)	26,31 (3,25)	26,11 (2,03)	26,00 (2,17)
Longitud fascicles (cm)	4,45 (0,47)	4,41 (0,53)	4,38 (0,58)	4,45 (0,50)	4,53 (0,35)
Longitud fascicles /Longitud cuixa	0,11 (0,01)	0,11 (0,02)	0,10 (0,01)	0,10 (0,01)	0,11 (0,01)
Gastrocnemi lateral					
Gruix muscular (cm)	1,48 (0,24)	1,40 (0,39)	1,45 (0,17)	1,54 (0,16)	1,53 (0,18)
Angle folifome de les fibres (°)	15,92 (2,50)	14,25 (3,47)	16,06 (2,56)	16,39 (1,76)	16,81 (1,58)
Longitud fascicles (cm)	5,48 (0,96)	5,86 (1,73)	5,30 (0,60)	5,49 (0,70)	5,29 (0,40)
Longitud fascicles /Longitud cuixa	0,12 (0,03)	0,14 (0,06)	0,12 (0,01)	0,13 (0,02)	0,13 (0,02)

Taula 3

Resultats del mesurament de l'arquitectura muscular en el vast lateral del quàdriceps, el gastrocnemi medial i el gastrocnemi lateral, en els 4 grups d'estudiants.

en comparar els resultats amb els d'altres estudis, a la *Taula 4*, sí que destacaven les longituds dels fascicles del VL, que eren relativament grans ($9,23 \pm 2,25$ cm) en comparació amb d'altres subjectes (com per exemple, els corredors de fons, estudiats per Abe, Kumagai i Brechue [2000], que mostraven una longitud mitjana de $6,15 \pm 0,61$ cm; o els esprintadors de 100 m llisos, estudiats per Kumagai i cols. [2000a], que mostraven uns valors de $8,63 \pm 1,42$ cm o $7,45 \pm 1,04$ cm, respectivament, en funció que la marca personal en els 100 m fos superior o inferior a 11 s). Tanmateix, en normalitzar-los amb la longitud de la cuixa ja no sobresortien respecte als altres treballs. Els valors d'arquitectura muscular són normalitzats sovint amb les dimensions antropomètriques dels segments corporals als quals pertanyen, perquè la seva influència serà relativa a aquests. Així, un cop normalitzats amb la longitud de la cuixa es va obtenir una ràtio de 0,21; per sota dels 0,22 trobats a l'estudi de Kumagai i cols. (2000a) en velocistes de 100 m. La causa d'això va ser el fet que els velocistes estudiats tenien menors alçàries (172 ± 4 cm al treball de Kumagai) i longituds de cuixa ($39,2 \pm 1,6$ cm,) que els nostres subjectes.

Quan vam analitzar els estudis en què participen subjectes d'una alçària similar a la dels nostres, com per exemple, els de Brechue i Abe (2002) amb *powerlifters*, presentaven longituds mitjanes d'11,28 cm, però amb angles folifomes de les fibres superiors ($22,1^\circ$ davant de $15,4^\circ$ en el nostre estudi) a causa de les característiques d'hipertròfia muscular que presentaven els "*powerlifters*". A l'estudi de Brechue i Abe els subjectes de la categoria de pes superior (per sobre de 110 kg) presentaven gruixos musculars de 3,69 cm en el VL, i superaven de bon tros tots els altres valors mostrats a la *Taula 4*.

Al nostre treball trobem correlacions en el VL de $r = 0,56$ ($p < 0,01$) entre el gruix muscular i la longitud dels fascicles, i de $r = -0,78$ ($p < 0,001$) entre l'angle folifome de les fibres i la longitud dels fascicles; al GL de $r = 0,58$ ($p < 0,001$) entre el gruix muscular i l'angle folifome de les fibres; al GM de $r = 0,65$ ($p < 0,001$) entre el gruix muscular i la longitud dels fascicles, i de $r = 0,57$ ($p < 0,001$) entre l'angle folifome de les fibres i la longitud dels fascicles. Les modificacions que la hipertròfia provoca habitualment en l'arquitectura muscular, tot augmentant l'angle folifome de les fibres i el gruix, són explicades de vegades a partir de les correlacions, trobades entre aquestes dues variables de l'arquitectura muscular (Kearns, Abe i Brechue, 2000).

En alguns estudis amb molts subjectes les cor-

relacions són altes, com en el treball de Kawakami i cols. (2000) fet amb 637 subjectes al tríceps braquial ($r = 0,81$). Abe i cols. (1998), en un treball fet amb 51 homes i dones, amb l'objectiu de mostrar diferències entre sexes, van obtenir bones correlacions en alguns músculs, com el cap llarg del tríceps ($r = 0,83$), però correlacions insignificants en altres músculs, com el gastrocnemi medial que, no obstant això, sí que van ser destacades en el treball, ($r = 0,41$).

En aquest treball es va mostrar una correlació significativa en el GL ($r = 0,58$, $p < 0,001$) entre aquestes dues variables, gruix muscular i angle folifome de les fibres. No van aparèixer, tanmateix, correlacions significatives en els altres dos músculs estudiats, VL i GM. Creiem que aquestes relacions entre el gruix muscular i l'angle folifome de les fibres es poden veure reforçades en treballs fets amb molts subjectes, i que presentin graus d'entrenament variats. Tot i amb això, per poder afirmar, com ho fan alguns treballs, que amb l'entrenament d'hipertròfia el gruix muscular augmenta a mesura que ho fa l'angle folifome de les fibres caldria fer-ho sobre la base de treballs longitudinals (Kawakami, Abe, Kuno i Fukunaga., 1995; Rutheford i Jones, 1992).

Tanmateix, a l'hora d'analitzar l'arquitectura muscular d'un subjecte cal tenir en compte que aquesta serà modificable i canviant en funció de l'edat, el sexe, el nivell d'activació neuromuscular, la modalitat esportiva i el nivell d'entrenament. Així, centrant-nos en una sola variable, com ara l'angle folifome de les fibres, podem trobar diferències notables. En funció del sexe, serà més gran en homes que no pas en dones (Abe i cols., 1998) i, en funció de la modalitat esportiva, per exemple, serà més gran en futbolistes que en nedadors (Kanehisa, Muraoka, Kawakami i Fukunaga, 2003). La causa d'això podria ser el fet que els nedadors tenen una menor massa muscular en el tren inferior que els futbolistes, per les demandes del seu esport (exigència d'una major flotabilitat).

Relacions força - arquitectura muscular

Els estudis d'Abe i cols. (2000) i Kumagai i cols. (2000a) amb corredors de velocitat, mostren correlacions baixes, però significatives entre la longitud dels fascicles del VL i el temps en els 100 m ($r = -0,51$, $p < 0,001$, a l'estudi d'Abe). També s'han publicat correlacions encara de menor consistència entre longitud de fibres en el GL i el temps en els 100 m ($r = -0,44$, $p < 0,05$, a l'estudi d'Abe).

Estudis	Vast lateral				Gastrocnemi medial				Gastrocnemi lateral				
	Subjects (n)	Greix muscular (cm)	Angle foliorme de les fibres (°)	Longitud Fascicles (cm)	Longitud fascicles/ Longitud cuixa	Greix muscular (cm)	Angle foliorme de les fibres (°)	Longitud Fascicles (cm)	Longitud fascicles/ Longitud cama	Greix muscular (cm)	Angle foliorme de les fibres (°)	Longitud Fascicles (cm)	Longitud fascicles/ Longitud cama
Present estudi	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)
Esprintador 100 m llisos T = 10,00-10,90 s (Kumagai i 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 Categoria: >110 kg (Brechue i 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)				
Corredors de fons 5000 m = 13,5-14,5' 42,2 km = 130 -145' (Abe i 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)
Esprintador 100 m llisos T = 11,00-11,70 s (Kumagai i 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)
Grup Control (Abe i 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)

▲ Taula 4

Resultats de l'arquitectura muscular en el vast lateral del quàdriceps i els gastrocnemis medial i lateral en la població estudiada, comparant-los amb els d'altres estudis publicats amb diverses poblacions.

Al nostre treball, analitzant el conjunt de la mostra, no trobem correlacions significatives, entre cap variable de força i arquitectura muscular. Cal tenir en compte que l'arquitectura muscular és simplement un dels factors que pot explicar el resultat en les manifestacions de la força que volem mesurar. A més a més, en funció de les característiques de la població estudiada, els factors involucrats en la producció de la força, poden variar. Potser amb proves de velocitat on s'estudiessin altres variables (temps de suport, punta de velocitat en cursa llançada, etc.), podrien aparèixer correlacions significatives amb les variables d'arquitectura muscular, com passava en el treball de Kumagai, Abe i Ryushi (2000b). Així, Blazevich i Zhou (2004), van trobar correlacions entre variables de força i arquitectura del múscul VL després d'un entrenament de força, per la qual cosa pensem que l'entrenament de força provocaria l'aparició de relacions entre variables.

Una de les limitacions d'aquest treball és que no ha estat un estudi longitudinal, tanmateix, sí que podem dir que la mostra va ser representativa de la població estudiada, atès que equivalia al 10 % dels alumnes existents en cada curs. Futurs estudis haurien de seguir l'evolució de grups similars durant períodes llargs de temps.

Bibliografia

- Abe, T.; Brechue, W. F.; Fujita, S. i 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. i 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*, núm. 23, abril: 27-30.
- Alegre, L. M.; Aznar, D.; Delgado, T.; Jiménez, F. i Aguado, X. (2003). Fuerza y arquitectura muscular en un grupo de estudiantes. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 17 (1): 23-29.
- Blazevich, A. J. i Zhou, S. (2004). Rapid increases in ipsi- and contralateral knee extensor strength occur without muscle architecture changes in previously untrained subjects. (Abstract) Noveno Congreso del *European College of Sports Sciences*, Clermont-Ferrand, Francia.
- Brechue, W. F. i 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. i 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, R. N., 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*.
- España F. (1993). Grupo Español de Cineantropometría. *Manual de cineantropometría*, primera edición. Pamplona. FEMEDE.
- Fukashiro, S.; Abe, T.; Shibaa, A. i 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. i 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. i 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. i 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. i 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. i 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. i 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. i 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. i 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. i 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 signifi-

- cance of skeletal muscle architecture. *Muscle Nerve*, 23(11): 1647-1666.
- López, J. L.; Grande, I.; Meana, M. i 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. i 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. i 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. i 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. i Edgerton, V. R. (1983): Muscle architecture of the human lower limb. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 179:275-83.