

# Técnicas de Análisis Biomecánico en el Rendimiento Deportivo: Arquitectura muscular

Luis Alegre Durán  
Facultad de Ciencias del Deporte  
Universidad de Castilla-La Mancha  
Toledo, Diciembre de 2006

---

---

---

---

---

---

---

---

**Arquitectura muscular:** Disposición de las fibras dentro de un músculo, relativa al eje de generación de la fuerza (Lieber y Fridén, 2000)

---

---

---

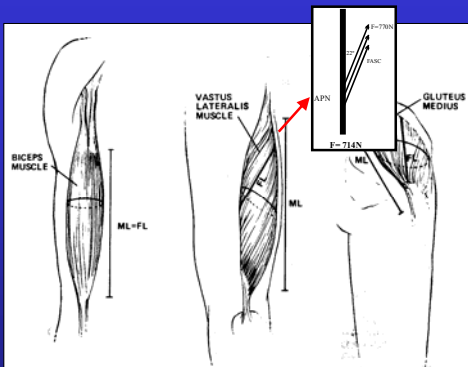
---

---

---

---

---



-(Lieber & Friden 2000, *Muscle & Nerve*). ML: Muscle length; FL: fascicle length

---

---

---

---

---

---

---

---



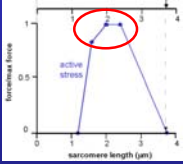


## Ventajas de la pennación (2):



- Los sarcómeros operan en una parte más ventajosa de su curva longitud-tensión, puesto que los fascículos rotan, además de acortarse.

- Esto provoca que el recorrido del tendón sea mayor que el acortamiento individual de cada uno de los fascículos.



Langton, P; Bristol University; Blazeovich, 2006; *Sports Medicine*

---

---

---

---

---

---

---

---

## Ventajas de la pennación (3):



- Al tener que acortar menor espacio por unidad de tiempo los sarcómeros se encuentran en una zona más fuerte de su curva fuerza-velocidad

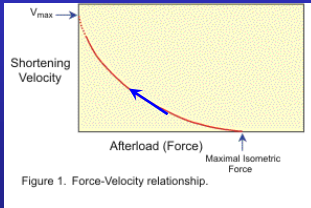


Figure 1. Force-Velocity relationship.

<http://muscle.ucsd.edu/musintro/arch.shtml>; Blazeovich, 2006; *Sports Medicine*

---

---

---

---

---

---

---

---

## Ventajas de la pennación (4):



- Se puede incluir más material contráctil para una misma área de tendón.

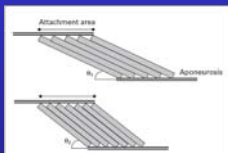


Fig. 4. Radial hypertrophy of muscle fibers by an increase in contractile tissue (shown as the number of myofibrils) probably necessitates an increase in their angle (i.e., to fit) since more tissue has to fit onto a given area of the aponeurosis (or tendons).

Blazeovich & Gill, 2005; *Cells Tissues & Organs*

---

---

---

---

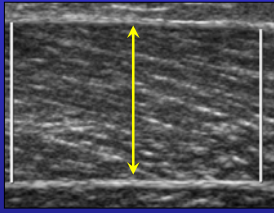
---

---

---

---

**Grosor muscular:** *distancia perpendicular entre la aponeurosis superficial y profunda de un músculo (Abe et al., 1998)*



Grosor muscular gastrocnemio lateral

---

---

---

---

---

---

---

---

**Longitud de los fascículos:** *recorrido de un grupo de fibras musculares envueltas por el perimysio desde la aponeurosis superficial hasta la profunda en un corte ecográfico.*

$$\text{Longitud del fascículo} = \frac{\text{grosor muscular}}{\text{sen } \alpha}$$

---

---

---

---

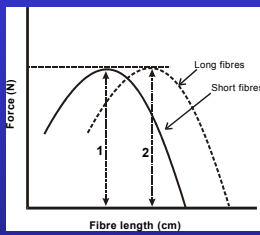
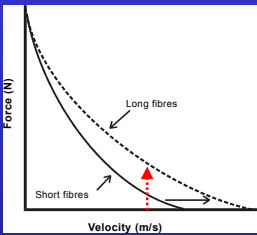
---

---

---

---

**Longitud de fascículos**



A altas velocidades de acortamiento los fascículos más largos generan más fuerza

---

---

---

---

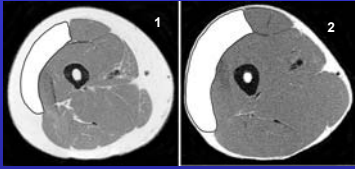
---

---

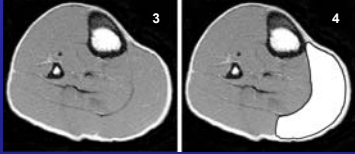
---

---

## ACSA (Anatomical Cross Sectional Area)



Vastus lateralis ACSA  
ACSA 1 = 24.37 cm<sup>2</sup>  
ACSA 2 = 41.98 cm<sup>2</sup>



Gastrocnemius Medialis ACSA  
ACSA = 16.33 cm<sup>2</sup>

*Alegre et al. 2002; RED*

---

---

---

---

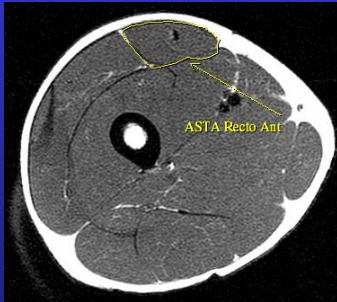
---

---

---

---

## ACSA (área de sección transversal anatómica)



---

---

---

---

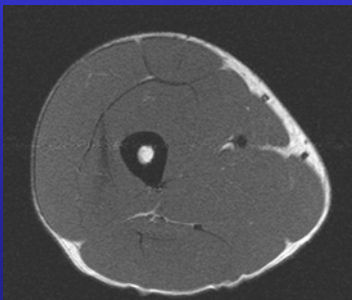
---

---

---

---

## ACSA (área de sección transversal anatómica)



---

---

---

---

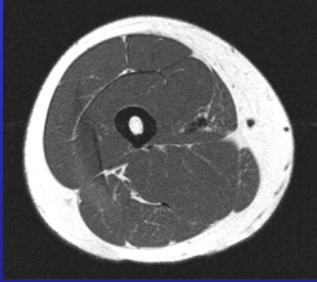
---

---

---

---

ACSA (área de sección transversal anatómica)



---

---

---

---

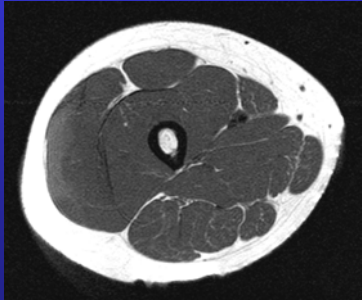
---

---

---

---

ACSA (área de sección transversal anatómica)



---

---

---

---

---

---

---

---

PCSA → Máxima fuerza que un músculo es capaz de generar

Longitud de las fibras → Máximo recorrido de acortamiento → Máxima velocidad de contracción

---

---

---

---

---

---

---

---

## Lugares de medición



---

---

---

---

---

---

---

---

## Arquitectura muscular e inmovilización



---

---

---

---

---

---

---

---



---

---

---

---

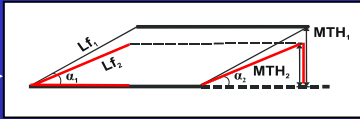
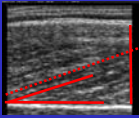
---

---

---

---

## Atrofia



- ↓ Grosor muscular
- ↓ Ángulos de pennación
- ↓ Longitud de fascículos
- ↓ ~2% volumen muscular del cuádriceps por semana

Narici 1999, *J Electromyogr Kines*; Tesch *et al.* 2004, *J Appl Physiol*

---

---

---

---

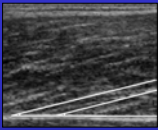
---

---

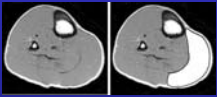
---

---

## Cambios en arquitectura muscular



↓ 14-27% ángulos de pennación



↓ 32% ACSA flexores plantares

Hasta un 55% de pérdida de fuerza tras 3 meses en la cama

Narici & Cerretelli 1998; Bleakney & Maffulli 2002; Reeves *et al.* 2002

---

---

---

---

---

---

---

---

## Cambios en las propiedades viscoelásticas

= área de sección transversal del tendón

↓ rigidez del tendón del gastrocnemio lateral 14-32% (20-90 días de reposo en cama)

↓ rigidez del tendón del vasto lateral 28% (20 días de reposo en cama)

Kubo *et al.* 2004, *Br J Sports Med*; Reeves *et al.*, 2002 *J Physiol P*

---

---

---

---

---

---

---

---

## Cambios en las propiedades viscoelásticas



Fuerza isométrica



↓ RFD

Kubo *et al.* 2004, *Acta Physiol Scand*; Reeves *et al.* 2006, *Exp Biol*

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Entrenamiento de fuerza durante inmovilización

Study	Treatment	Training protocol	Control group changes	Training group changes
Kawakami <i>et al.</i> , 2001	20 days bed rest	90 s/day maximal isometric leg extension	-7.8% PCSA	-3.8% PCSA (not significant)
Akima <i>et al.</i> , 2001	20 days bed rest	2 sessions/day during 20 days dynamic leg extension	-7.1% quadriceps PCSA	+6.0 knee extensors PCSA
Tesch <i>et al.</i> , 2004	5 weeks unilateral limb suspension	2-3 sessions/wk 15 min each leg extension	-8.8% muscle volume	+7.7% muscle volume

Kawakami *et al.* 2001, *EJAP*; Akima *et al.* 2001, *APS*; Tesch *et al.* 2004; *JAP*

---

---

---

---

---

---

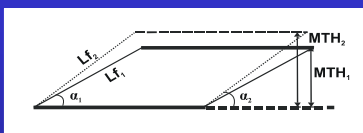
---

---

---

---

## Entrenamiento de fuerza tras inmovilización: fuerza hipertrofia



↑ Grosor muscular

↑ Ángulos de pennación

↑ = Longitud de fascículos

Kawakami *et al.* 1995, *Eur J Appl Physiol*; Aagaard *et al.*, 2001, *J Physiol*; Reeves *et al.* 2004, *J Appl Physiol*

---

---

---

---

---

---

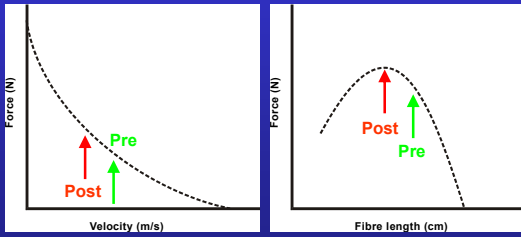
---

---

---

---

## Entrenamiento de fuerza tras inmovilización:



Kawakami et al. 1995, *Eur J Appl Physiol*; Aagaard et al. 2001, *J Physiol*; Reeves et al. 2004, *J Appl Physiol*

---

---

---

---

---

---

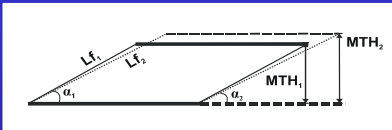
---

---

---

---

## Entrenamiento de fuerza tras inmovilización: Fuerza explosiva y sprints



- ↑ = Grosor muscular
- ↓ = Ángulos de pennación
- ↑ Longitud de fascículos

Blazevich et al. 2003; *Med Sci Sports Exerc*; Alegre et al. 2006; *J Sports Sci*

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Conclusiones: Atrofia

- Disminución del grosor muscular.
- Disminución de los ángulos de pennación.
- Disminución de la longitud de los fascículos.
- Disminución del PCSA.
- Pérdidas de fuerza y velocidad.
- Disminución de la rigidez del tendón

CON EL ENTRENAMIENTO DE FUERZA SE REVIERTEN TODOS ESTOS CAMBIOS (Reeves et al., 2004)

---

---

---

---

---

---

---

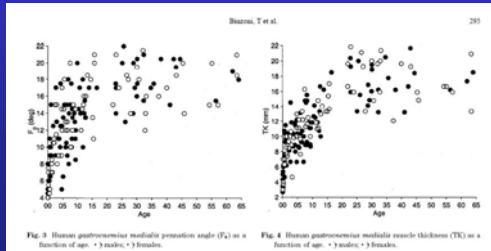
---

---

---

## Arquitectura muscular en la infancia:

- Los ángulos de pennación aumentan hasta la adolescencia (Binzoni et al., 2001)
- El grosor muscular también.
- La rigidez del tendón aumenta hasta la edad adulta (Kubo et al., 2001).



---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Cambios en la arquitectura y biomecánica del músculo esquelético tras un entrenamiento de fuerza explosiva

Luis M<sup>o</sup> Alegre Durán  
Facultad de Ciencias del Deporte  
Universidad de Castilla-La Mancha

Toledo, Abril de 2004

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## INTRODUCCIÓN:

¿Por qué una tesis sobre arquitectura muscular?

- El estudio *in vivo* es relativamente reciente.
- Hay algunos estudios descriptivos, pero los estudios longitudinales con intervención (entrenamiento-desentrenamiento) son muy escasos.
- Por lo tanto queda mucho por estudiar sobre las consecuencias funcionales de los cambios que se producen en la estructura del músculo.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## OBJETIVO GENERAL:

- Observar los cambios que produce un entrenamiento de fuerza explosiva de 4 meses de duración en la arquitectura y la biomecánica de la musculatura extensora de los miembros inferiores de un grupo experimental de sujetos jóvenes activos, estudiantes de educación física.

---

---

---

---

---

---

---

---

## METODOLOGÍA:

### Tests (Pre y post entrenamiento):

- Antropometría
- Arquitectura muscular
- Fuerza:
  - Dinámica: Saltos, RM, W5''
  - Isométrica

### Entrenamiento de fuerza explosiva de 13 semanas:

- Extensores de rodillas
- Extensores de tobillos

---

---

---

---

---

---

---

---

## Tests de fuerza isométrica máxima



---

---

---

---

---

---

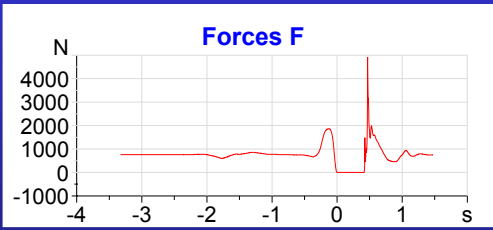
---

---





### SQUAT JUMP (SJ)



---

---

---

---

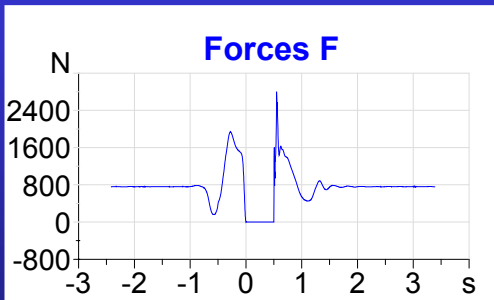
---

---

---

---

### COUNTER-MOVEMENT JUMP (CMJ)



---

---

---

---

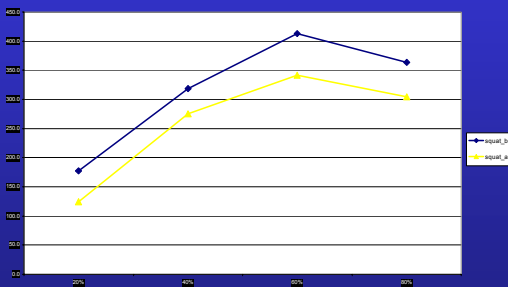
---

---

---

---

### Test de potencia W5'' (Tous, 1999)



---

---

---

---

---

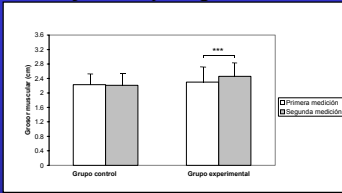
---

---

---

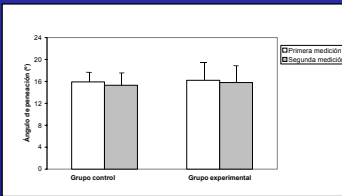
### Cambios en la fuerza y arquitectura

•Grososres musculares



Evolución del vasto lateral

•Ángulos de peneación



Evolución del vasto lateral

---

---

---

---

---

---

---

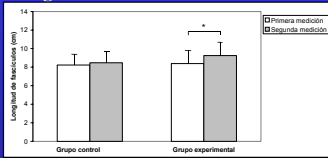
---

---

---

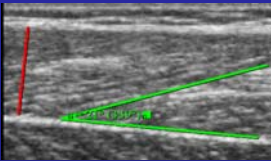
### Cambios en la fuerza y arquitectura

•Longitud de los fascículos

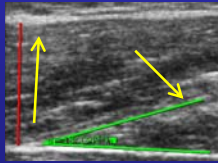


Evolución del Vasto lateral

Antes



Después




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### APLICACIONES:

- Caracterización de uno más de los elementos en la producción de fuerza.
- Detección de talentos.
- Evaluación de los cambios producidos por el entrenamiento: estructura del músculo y su comportamiento mecánico
- Cuantificación de las cargas que sufre el sistema osteomuscular.
- Comparación de las características funcionales entre músculos de cara a realizar, por ejemplo, implantes.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

*Gracias por vuestra atención y Feliz Navidad*



---

---

---

---

---

---

---

---