

# 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)

---

---

---

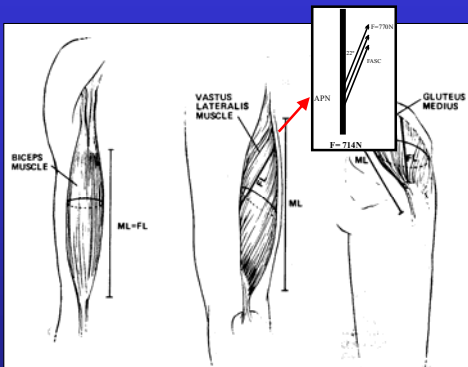
---

---

---

---

---



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

---

---

---

---

---

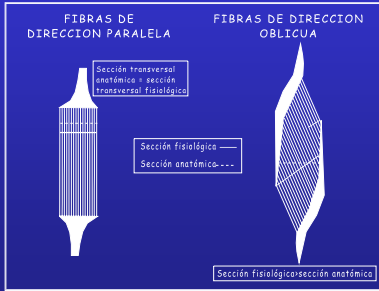
---

---

---



# PCSA (área de sección transversal fisiológica)



Aguado y cols, 1999

---

---

---

---

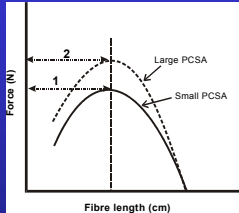
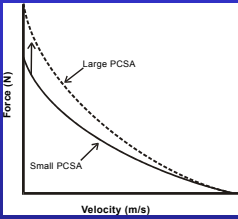
---

---

---

---

# PCSA



Alegre et al. 2003, RED

---

---

---

---

---

---

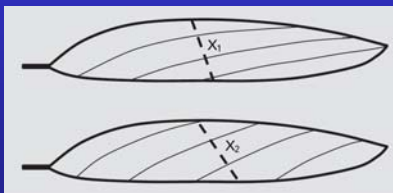
---

---

# Ventajas de la pennación (1):



- Para un mismo volumen muscular, un músculo con mayores ángulos tiene una mayor PCSA.



Blazevich, 2006; Sports Medicine

---

---

---

---

---

---

---

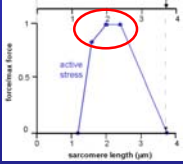
---

## 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*

---

---

---

---

---

---

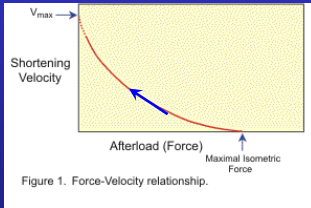
---

---

## 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



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

---

---

---

---

---

---

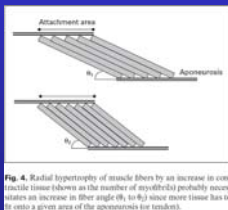
---

---

## Ventajas de la pennación (4):



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



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

---

---

---

---

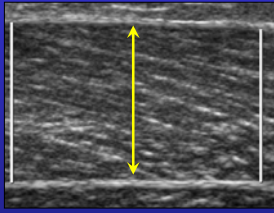
---

---

---

---

**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.*

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

---

---

---

---

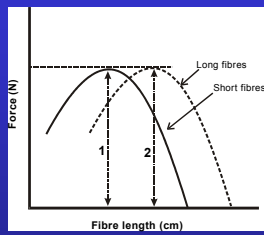
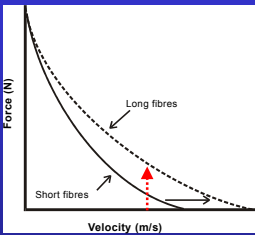
---

---

---

---

### Longitud de fascículos



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

---

---

---

---

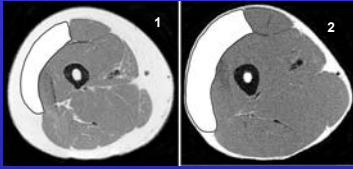
---

---

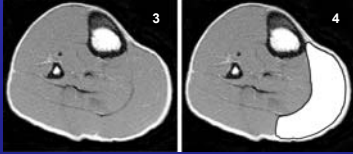
---

---

## 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*

---

---

---

---

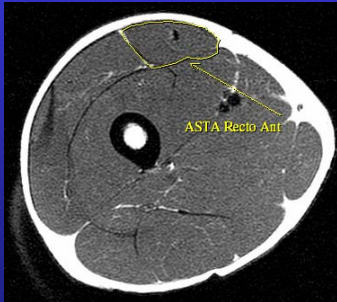
---

---

---

---

## ACSA (área de sección transversal anatómica)



---

---

---

---

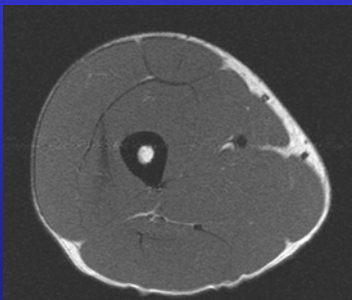
---

---

---

---

## ACSA (área de sección transversal anatómica)



---

---

---

---

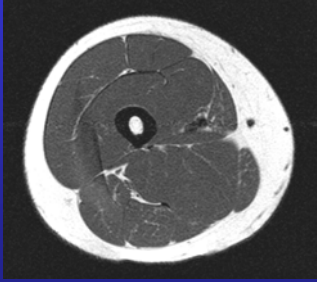
---

---

---

---

ACSA (área de sección transversal anatómica)



---

---

---

---

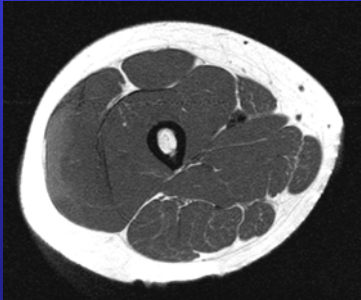
---

---

---

---

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

---

---

---

---

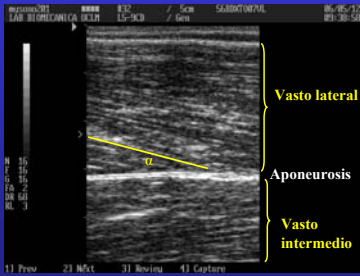
---

---

---

---

## Lugares de medición



---

---

---

---

---

---

---

---

## Arquitectura muscular e inmovilización



---

---

---

---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

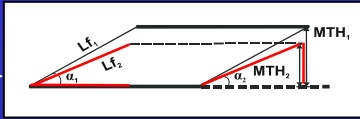
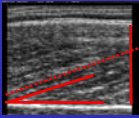
---

---

---



## 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*

---

---

---

---

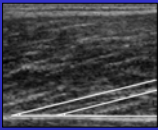
---

---

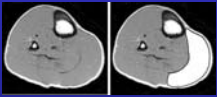
---

---

## 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*

---

---

---

---

---

---

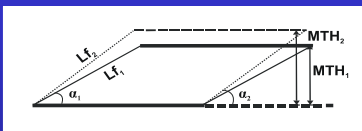
---

---

---

---

## 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*

---

---

---

---

---

---

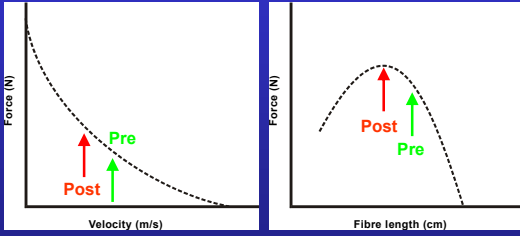
---

---

---

---

## 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*

---

---

---

---

---

---

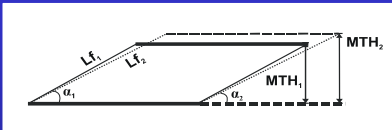
---

---

---

---

## 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)

---

---

---

---

---

---

---

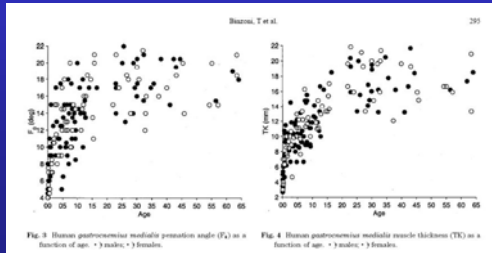
---

---

---

## 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



---

---

---

---

---

---

---

---






---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Tests de salto en plataforma de fuerzas




---

---

---

---

---

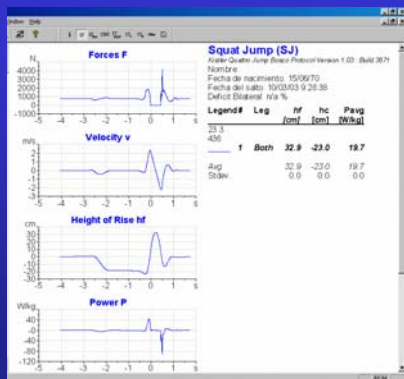
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

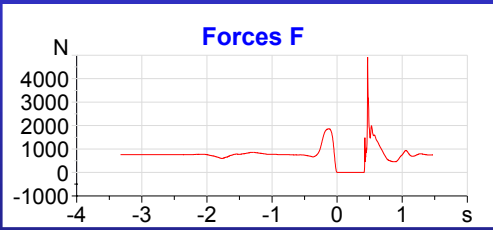
---

---

---

---

### SQUAT JUMP (SJ)



---

---

---

---

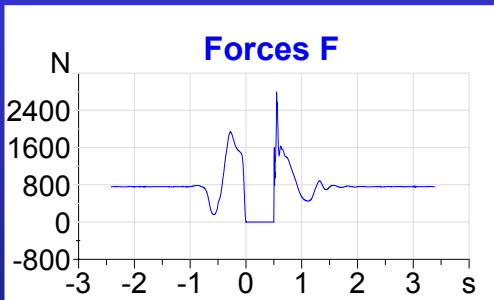
---

---

---

---

### COUNTER-MOVEMENT JUMP (CMJ)



---

---

---

---

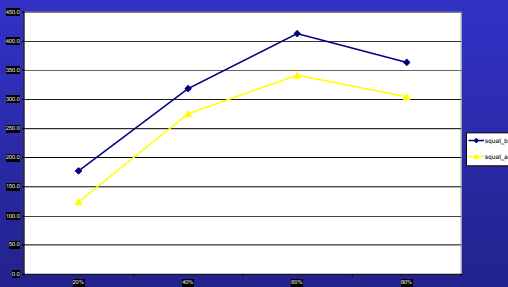
---

---

---

---

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



---

---

---

---

---

---

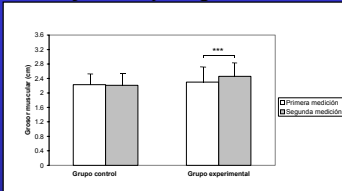
---

---



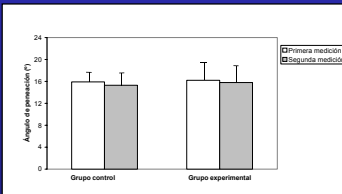
### Cambios en la fuerza y arquitectura

•Grososres musculares



Evolución del vasto lateral

•Ángulos de peneación



Evolución del vasto lateral

---

---

---

---

---

---

---

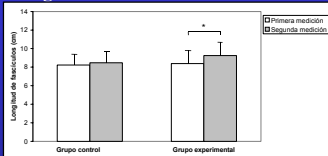
---

---

---

### Cambios en la fuerza y arquitectura

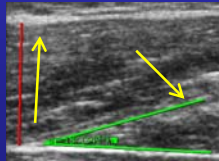
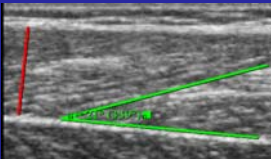
•Longitud de los fascículos



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*



---

---

---

---

---

---

---

---