

# De la Physiologie musculaire au renforcement musculaire

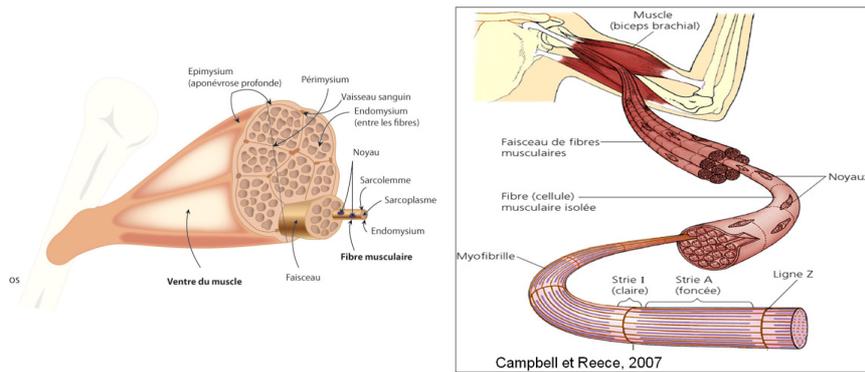
Pr Philippe Marque  
CHU Rangueil Toulouse

1

**QUELQUES RAPPELS**

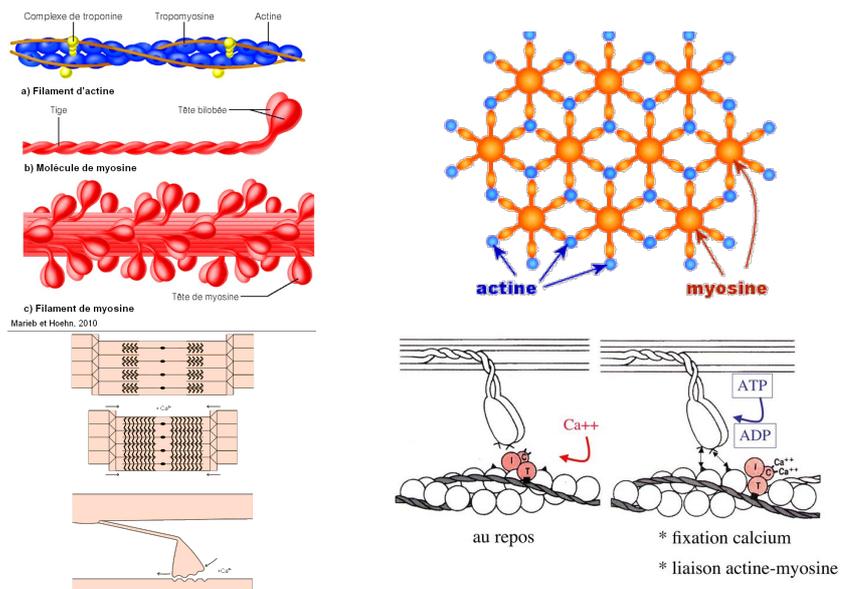
2

# Organisation anatomique



3

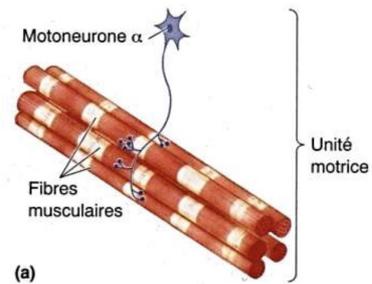
# Physiologie de la contraction



4

## Unités motrices

- Ensemble des fibres musculaires innervées par un motoneurone
- Adaptation à la fonction :
  - Pouce : 15 à 20 fibres
  - Vastus Lateralis : 300 fibres



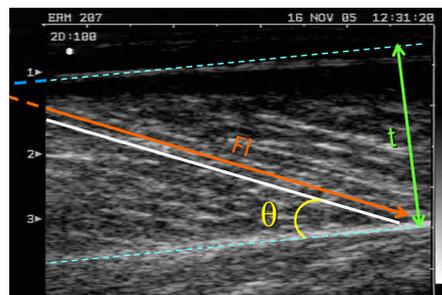
5

## Propriétés structurelles

- Architecture musculaire :
  - Épaisseur musculaire
  - Angle de pennation
  - Longueur du fascicule

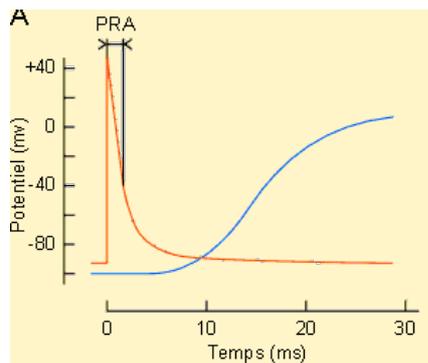


D'après DUCLAY J 2014

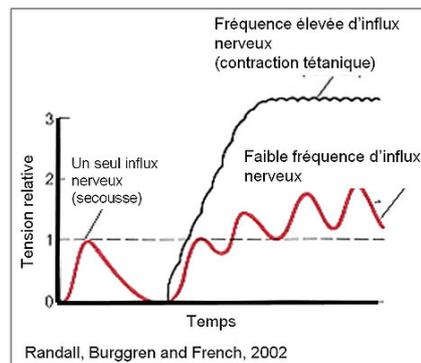


6

## Potentiers d'actions et contractions



Jonction neuro-musculaire : synapse tout ou rien



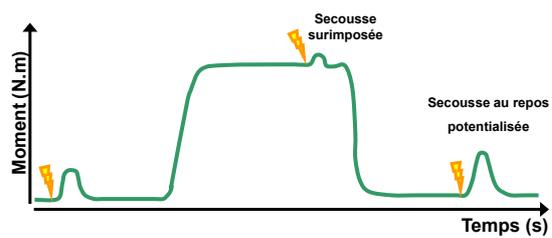
Sommation des potentiels d'action

Randall, Burggren and French, 2002

7

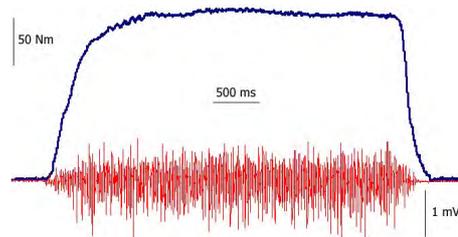
## Paramètres neurophysiologique

- Secousses surimposées :
  - Électriques



- EMG

- Études excitabilité :
  - Spinale : réflexe H
  - Corticale : TMS

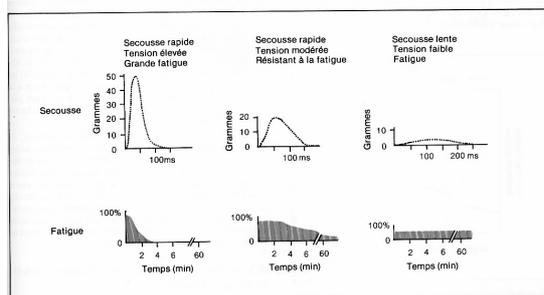
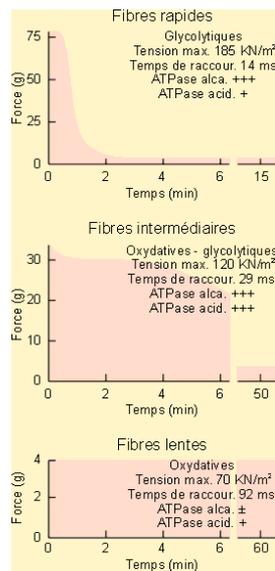


8

# MYOTYPOLOGIE

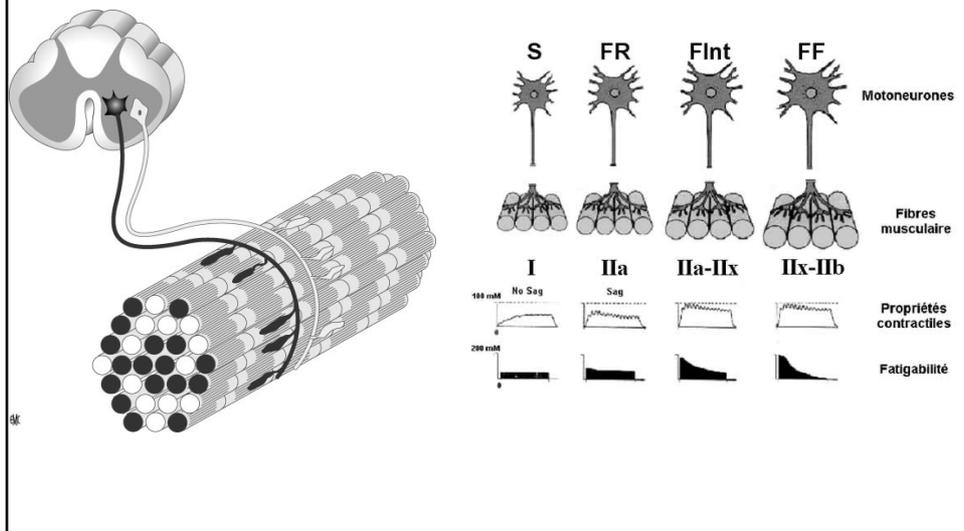
9

## Différents types de fibres



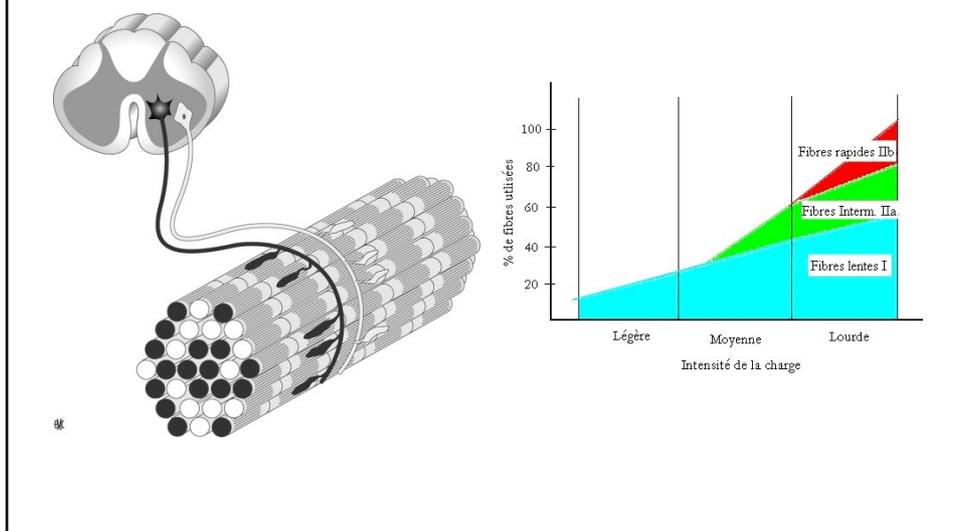
10

## Des unités motrices spécialisées



11

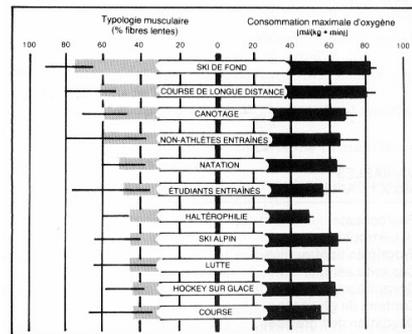
## Recrutement des unités motrices



12

## Myotypologie : adaptation à la fonction

- Variable d'un muscle à l'autre
  - Soleus : 80% fibres lentes
  - Gastrocnémien : 80% fibres rapides
- Variation en fonction activité physique :
  - Relation entre pourcentage de fibres lentes et VO<sub>2</sub>max



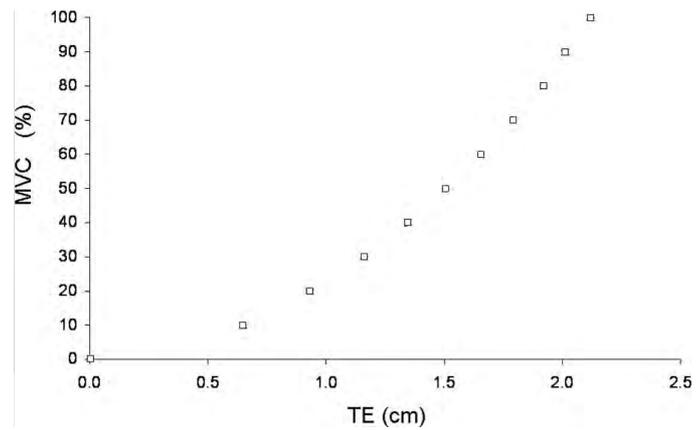
13

## COMPLEXE MUSCULO-TENDINEUX

14

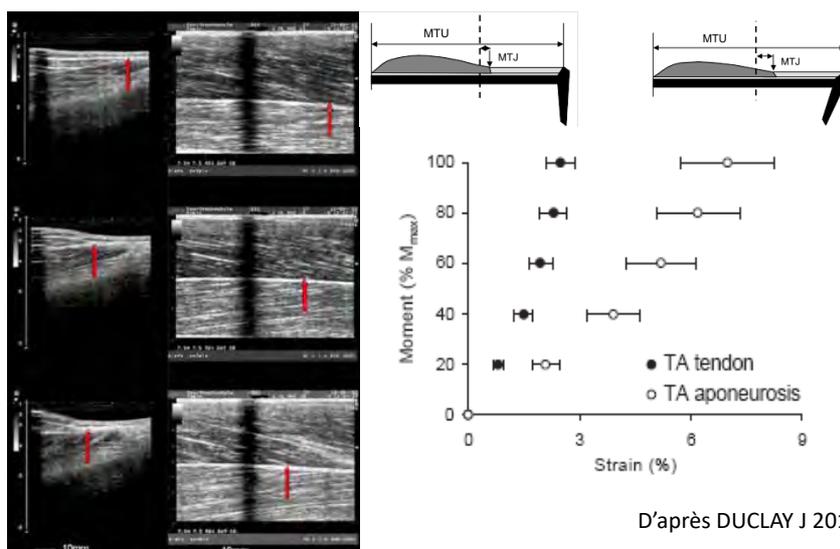
## Raideur musculo-tendineuse

- Relation entre l'élongation (TE) et la force transmise par le tendon



15

## Raideur en Ultrasonographie



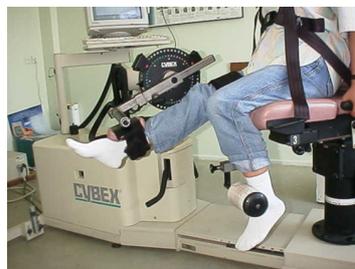
16

## RENFORCEMENT MUSCULAIRE

17

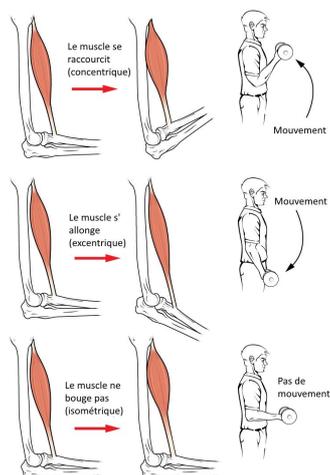
### Renforcement musculaire

- Principe de la contrainte :
  - Contraction contre résistance
  - Seuil arbitraire
    - 60 % FMV
    - Obtenu pour une contraction maximale isométrique par jour
  - Différentes modalités :
    - Isométrique
    - Concentrique
    - Excentrique



18

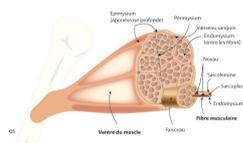
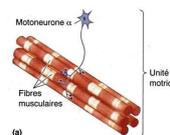
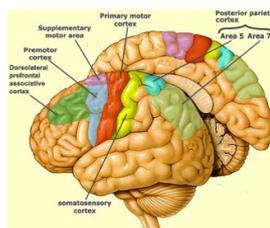
## 3 types de contraction



19

## Renforcement musculaire

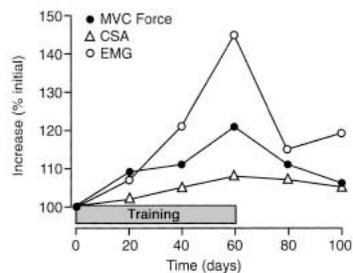
- Plusieurs mécanismes de gain :
  - Mécanismes de plasticité neurologique
    - Central : modification des réflexes
    - Pattern des motoneurones
  - Hypertrophie : augmentation du volume des fibres musculaires :
    - Anabolisme ++
    - Rôle des cellules satellites
  - Modifications des tissus conjonctifs :
    - Augmentation de la raideur
    - Angle de pennage des fibres



20

## Adaptation neurologique

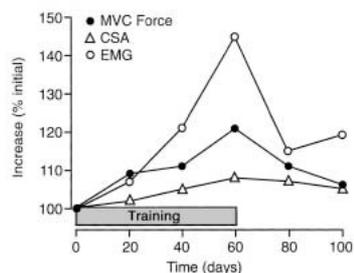
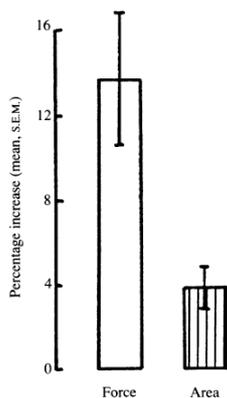
- Arguments indirects :
  - Rapport gains de force / augmentation de la surface des fibres
  - Gains de force croisés
- Arguments plus directs :
  - Modification des réflexes
  - Augmentation de la fréquence de décharge
  - Augmentation du nombre de doublets



Enoka: Neuromechanics of human movement 2002

21

## Adaptation neurologique

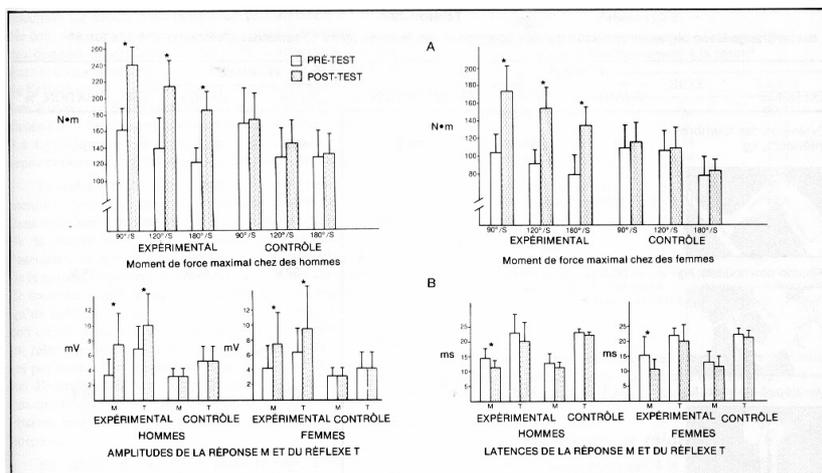


Enoka: Neuromechanics of human movement 2002

JONES, D. A. & RUTHERFORD, O. M. (1987). Human muscle strength training: the effects of three different training regimes and the nature of the resultant changes. *Journal of Physiology* 391, 1-11.

22

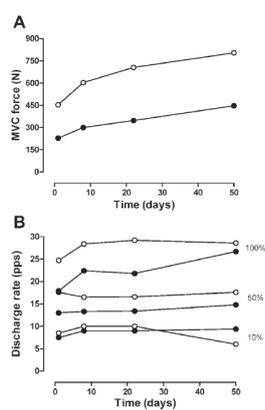
## Modifications des réflexes



Roy, MA et al; 1984 Can J Appl Sport Sci, 9:20

23

## Augmentation de la fréquence de décharge instantanée

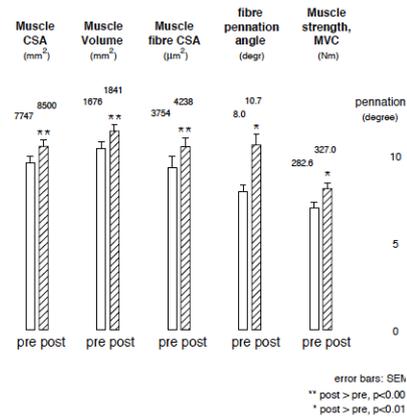


Kamen G and Knight CA. Training-related adaptations in motor unit discharge rate in young and older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 59: 1334–1338, 2004.

24

## Modifications d'architecture des fibres musculaires

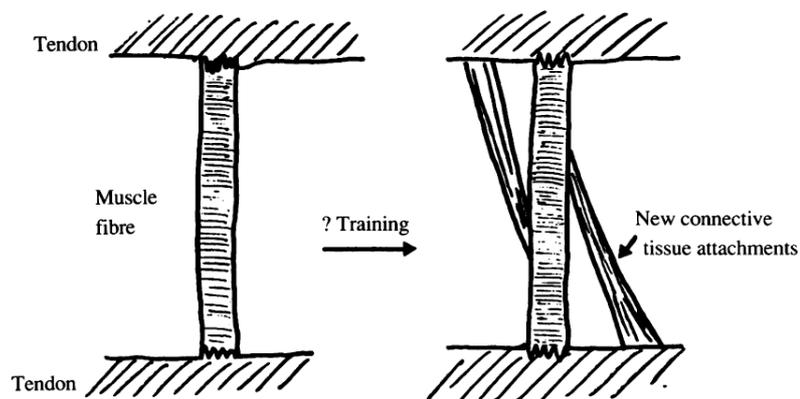
- Au delà de 14 semaines d'entraînement
  - Augmentation de surface des fibres
  - Augmentation de longueur des fibres
  - Augmentation de l'angle de pennation



Aagaard P, Andersen JL, Leffers AM, Wagner Å, Magnusson SP, Halkjær-Kristensen J, Dyhre-Poulsen P, Simonsen EB. A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training - Changes in muscle architecture. *J Physiol* 2001; 534.2:613-623.

25

## Modification du tissu de support



D'après Jones 1989

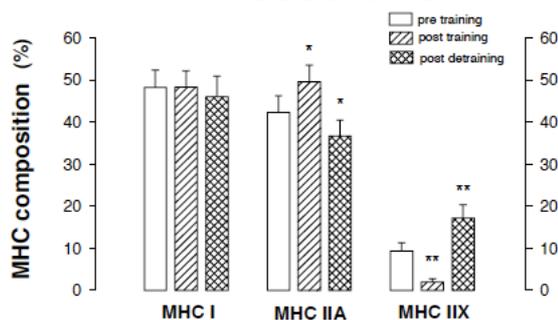
26

## Modifications du tissu de support

- Complexe aponévrose tendon vs tendon :
  - Kubo et al (2006) ont montré que la raideur du complexe aponévrose tendon augmente significativement à la suite de 12 semaines de renforcement musculaire isométrique
- Mécanismes :
  - Pas de modification de la surface de section du tendon
  - Transformation de la structure interne du tendon (Kjaer 2004)

27

## Myotypologie et renforcement musculaire



\* MHC IIA: post training > pre training > post detraining ( $p < 0.05$ )

\*\* MHC IIX: post training < pre training < post detraining ( $p < 0.01$ )

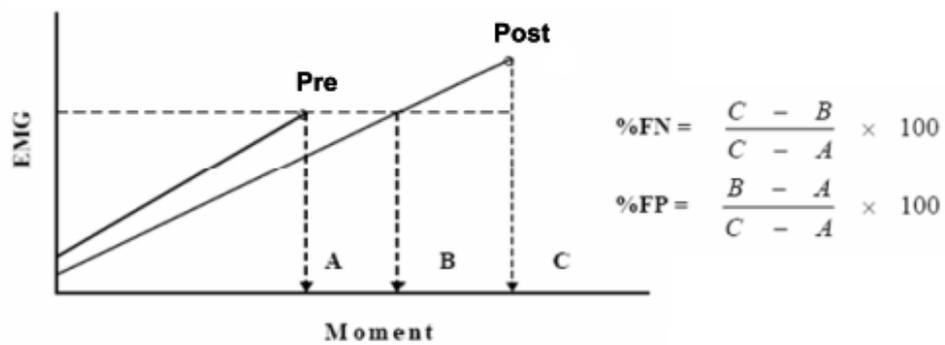
Figure 5. Changes in myosin heavy chain (MHC) isoform composition in the quadriceps muscle (VL) in response to 14 weeks of heavy-resistance strength training followed by 12 weeks of detraining. Notice the boosting of the fastest MHC isoform (IIX) with detraining. Data adapted from Andersen and Aagaard<sup>37</sup>.

Andersen JL, Aagaard P. Myosin heavy chain IIX overshooting in human skeletal muscle. *Muscle Nerve* 2000; 23:1095-1104.

28

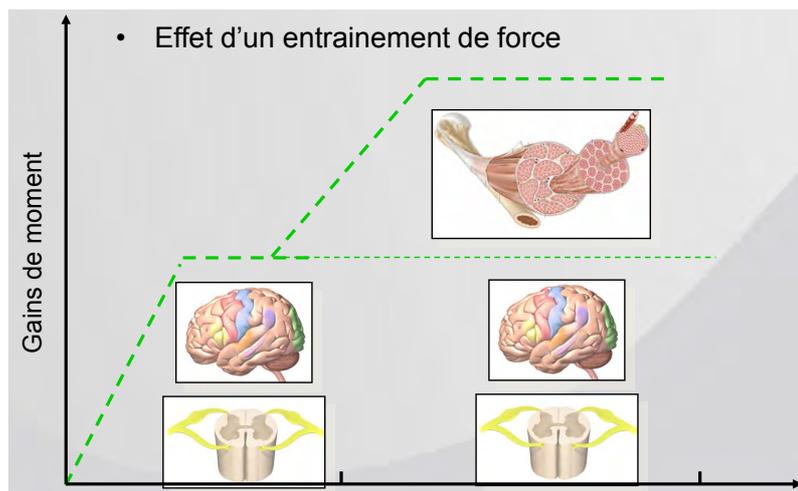
## Relation EMG moment

- $\uparrow$  moment  $\rightarrow$   $\uparrow$  EMG
- Distinction facteur nerveux et périphériques:
  - Moritani & De Vries 1979
  - Limites : coactivation musculaire agoniste antagoniste



29

## Relation EMG - moment

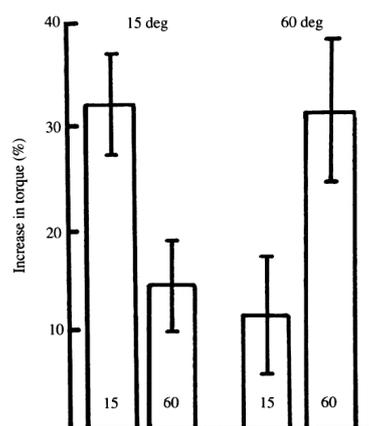


30

## PLASTICITÉ MUSCULAIRE

31

### Renforcement Isométrique : Spécificité d'angle

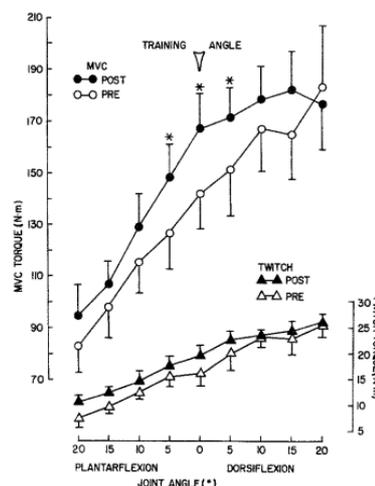


LINDH, M. (1979). Increase of muscle strength from isometric quadriceps exercise at different knee angles. Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine 11, 33-36.

32

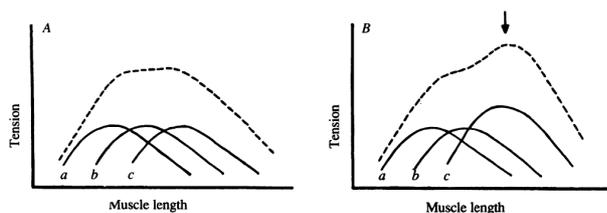
## Hypothèse neurophysiologique

- Kitai et Sale 1979 :
  - 3 séances par semaine
  - 2 séries de 10 contractions MVC 5 sec
  - Positions angulaire 0°
- Gain spécifique angulaire sur contraction maximale volontaire
- Pas de spécificité sur contraction maximale évoquée par stimulations électriques



33

## Hypothèses mécaniques



Gondin et al 2005 :  
Entraînement Quadriceps par EMS 8 semaines  
Position articulaire 90°

TABLE 3. Individual muscle ACSA at baseline (B), following the 4-wk (WK4) and the 8-wk (WK8) period for the control group (CG) and the electrostimulated group (EG).

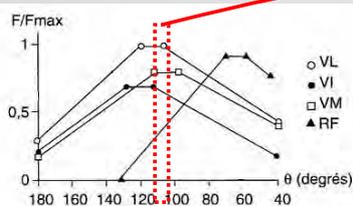
	CG			EG		
	B	WK4	WK8	B	WK4	WK8
VL (cm <sup>2</sup> )	28.4 ± 2.0	27.8 ± 2.0	28.1 ± 1.6	28.4 ± 2.2	29.0 ± 1.9	30.6 ± 2.6 <sup>†</sup>
VI (cm <sup>2</sup> )	27.9 ± 1.9	27.6 ± 1.9	27.8 ± 1.8	28.4 ± 2.3	28.7 ± 2.4	30.1 ± 1.9 <sup>†</sup>
VM (cm <sup>2</sup> )	15.0 ± 1.4	15.1 ± 1.1	15.0 ± 1.2	116.6 ± 1.2	16.9 ± 1.2	17.4 ± 1.0 <sup>†</sup>
RF (cm <sup>2</sup> )	11.2 ± 0.8	11.3 ± 0.8	11.2 ± 0.8	12.2 ± 1.2	12.4 ± 1.1	12.5 ± 1.3

VL, vastus lateralis; VI, vastus intermedius; VM, vastus medialis; RF, rectus femoris. CG: N = 8; EG: N = 12. All values are means ± SD. \* P < 0.001, significant difference between WK4 and WK8 conditions. † P < 0.001, significant difference between B and WK8 conditions.

34

## Hypothèse mécanique

### Hypothèse mécanique



**Fig. 3.17.** Relations force-longueur théoriques des différents muscles constituant le *quadriceps femoris* (d'après Herzog *et al.*, 1990).

Les longueurs sont exprimées en termes d'angle articulaire ( $\theta$ ) et les forces ( $F$ ) sont normalisées par rapport à la force maximale de chaque muscle ( $F_{max}$ ).

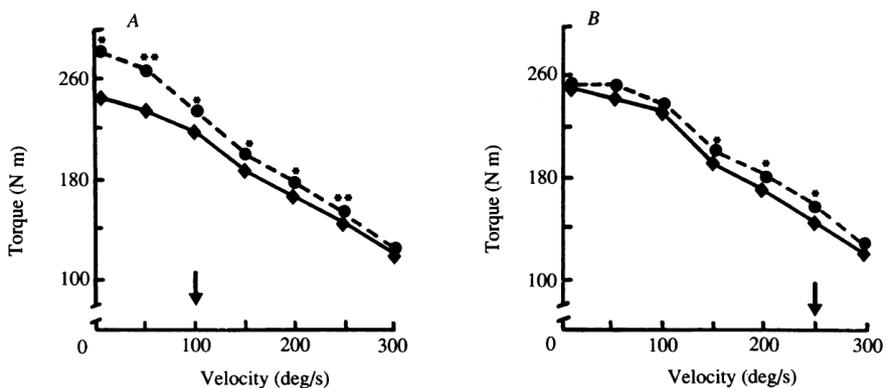
VL : *vastus lateralis*; VI : *vastus intermedius*; VM : *vastus medialis*; RF : *rectus femoris*.

Angle d'entraînement  
Faible sollicitation  
du muscle RF

Conséquence modification de l'allure de la relation moment angle du quadriceps

35

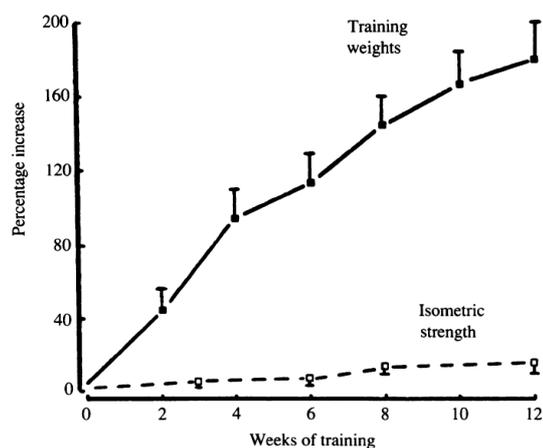
## Spécificité de la vitesse



CAIOZZO, V. J., PERRINE, J. R. & EDGERTON, V. R. (1981). Training induced alterations of the in vivo force-velocity relationship of human muscle. *Journal of Applied Physiology* 51 (3), 750-754.

36

## Spécifique de la tâche

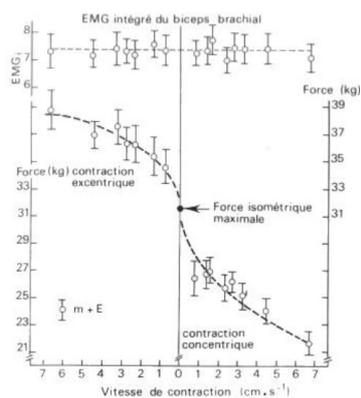
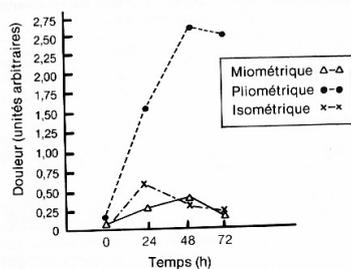


RUTHERFORD, O. M., GREIG, C. A., SARGEANT, A. J. & JONES, D. A. (1986). Strength training and power output: transference effects in the human quadriceps muscle. *Journal of Sports Science* 4, 101-107.

37

## Généralisation des gains

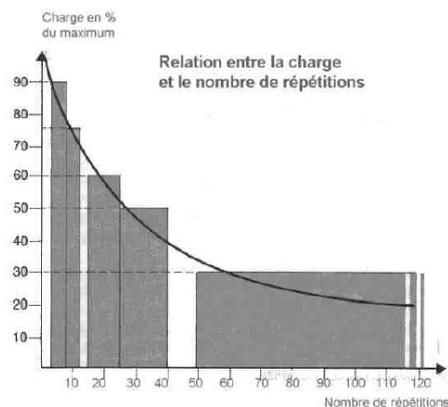
- Excentrique > Concentrique > isométrique
- Vitesse rapide > vitesse lente
- Problème tolérance



38

## Répétitions et RF anisométrique

1 RM	100%
2 RM	97.4%
3 RM	94.9%
4 RM	92.4%
5 RM	89.8%
6 RM	87.6%
7 RM	85.5%
8 RM	83.3%
9 RM	81.1%
10 RM	78.9%



39

### *L'entraînement avec surcharge progressive*

- ❑ L'entraînement, à raison d'une fois par semaine, avec une marge ne permettant pas plus d'un essai, suscite une amélioration dès la première semaine et jusqu'à la sixième semaine.
- ❑ Le nombre optimal de jours d'entraînement par semaine n'est pas établi. Quand l'entraînement comporte divers exercices, il est probablement plus efficace de s'entraîner 2 à 3 fois par semaine que 4 à 5 fois. Pour une charge donnée, l'amélioration semble plus rapide si la charge est soulevée plus rapidement que plus lentement.
- ❑ La charge optimale doit permettre entre 3 et 9 répétitions tout au plus. La bonne intensité de travail permet au sujet de faire exactement son nombre de répétitions par série et par séance. Si il n'arrive pas à atteindre l'objectif, la charge est trop élevée, si il peut en faire d'avantage, la charge est trop faible.
- ❑ S'entraîner en suivant une séquence particulière, exercices réalisés selon un pourcentage du maximum en 10 répétitions n'est pas plus avantageux que de faire une seule série d'exercices à chaque séance, avec une charge qui n'autorise pas plus de 10 répétitions
- ❑ Une charge représentant 60 à 80% du maximum déplacé est suffisante pour un entraînement de la force musculaire. Une telle résistance permet habituellement de compléter 10 répétitions d'un même mouvement.
- ❑ Ne s'en tenir qu'à une série d'exercices est moins efficace qu'en compléter deux ou trois séries et des études soulignent qu'il est préférable d'en réaliser trois.
- ❑ Les débutants devraient commencer par 12 à 15 répétitions du même mouvement. Après une semaine ou deux le nombre de répétitions devra alors être réduit à 6-8, et la charge augmentée.

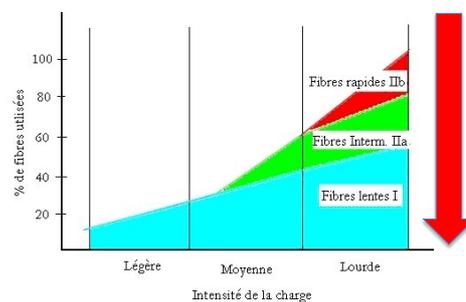
40

## NOUVELLES TECHNIQUES

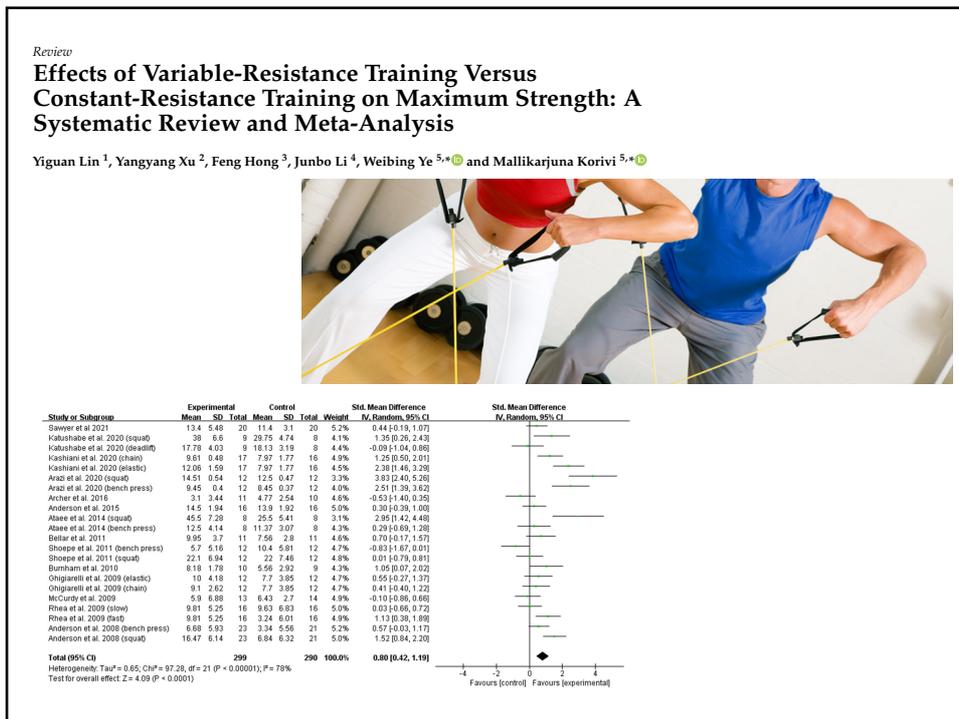
41

## Electrostimulation

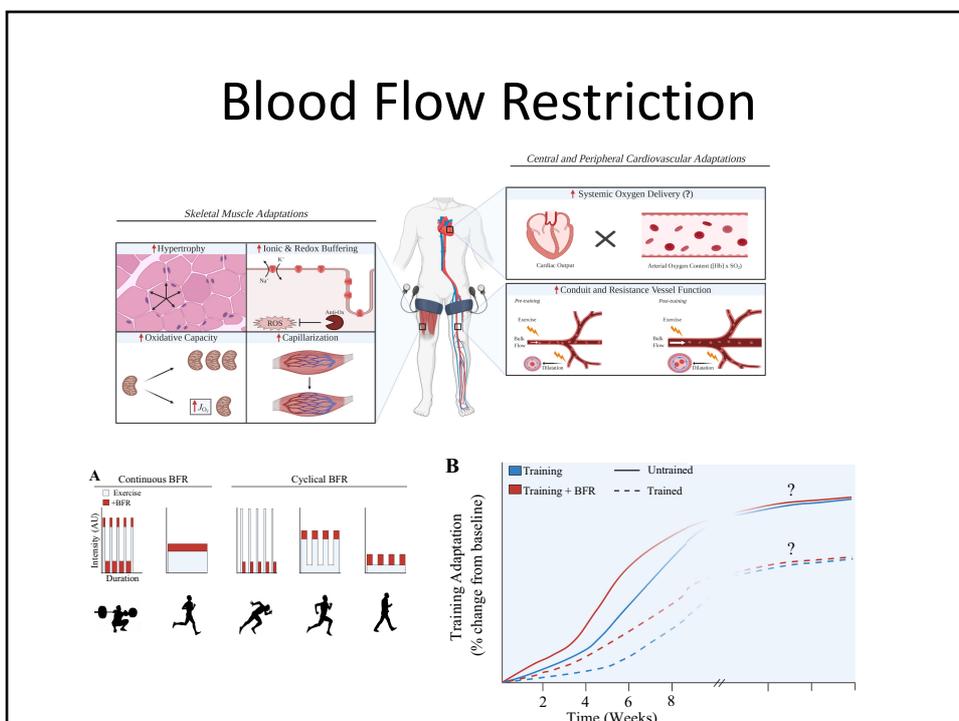
- Pas de supériorité par rapport aux techniques conventionnelles
- Un modèle expérimental pour les transitions de fibre
- Gains dépendants de la tension produite :
  - Intensité
  - Extrémité bloquée
- Intérêt chez le sportif :
  - Recrutement fibre nerveuse d'abord
  - Inversion ordre de recrutement



42



43



44

## Conclusion

- Muscle s'adapte à la fonction
- Plasticité spécifique de la tâche
- Transition des fibres :
  - Un exemple d'action de l'environnement sur le phénotype
  - II à I peut être
  - Pas I à II