

De la Physiologie musculaire au renforcement musculaire

Pr Philippe Marque
CHU Rangueil Toulouse

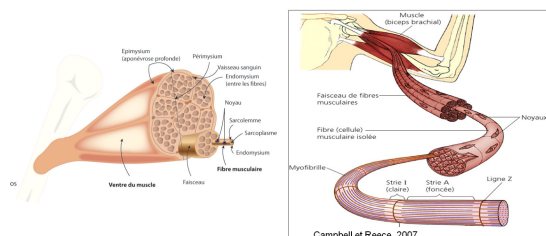


1

QUELQUES RAPPELS

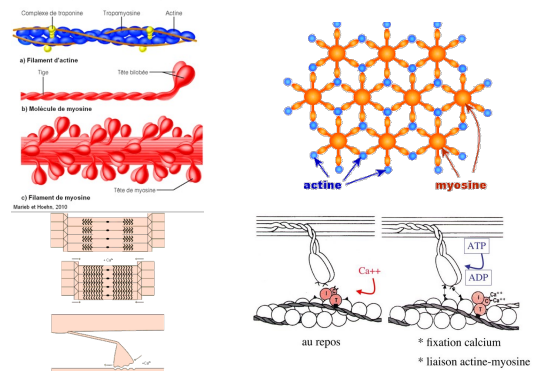
2

Organisation anatomique



3

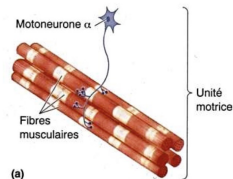
Physiologie de la contraction



4

Unités motrices

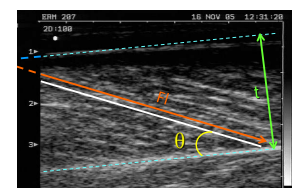
- Ensemble des fibres musculaires innervées par un motoneurone
- Adaptation à la fonction :
 - Pouce : 15 à 20 fibres
 - Vastus Lateralis : 300 fibres



5

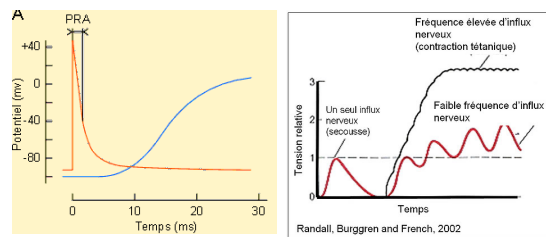
Propriétés structurales

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



D'après DUCLAY J 2014

6



Jonction neuro-musculaire : synapse tout ou rien

Sommation des potentiels d'action

7

Paramètres neurophysiologique

- Secousses surimposées :
 - Électriques

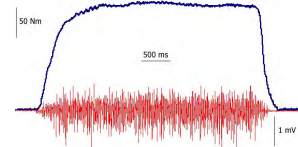


- EMG

- Études excitabilité :

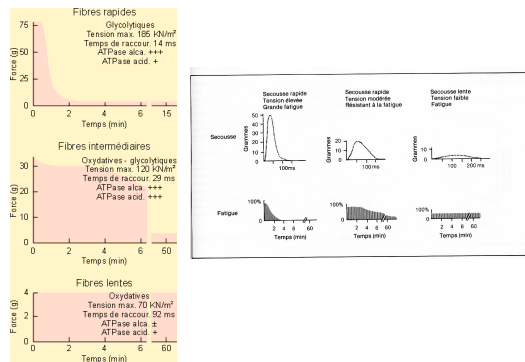
- Spinale : réflexe H
- Corticale : TMS

- Corticale : TMS



8

Différents types de fibres



Fibres intermédiaires

Oxydatives - glycolytiques
Tension max: 120 kN/m²
Temps de raccour: 29 ms
ATPase alcali +++
ATPase acid +++

Fibres lentes

Oxydatives
Tension max: 70 kN/m²
Temps de raccour: 92 ms
ATPase alcali +
ATPase acid +

Fibres lentes

Oxydatives
Tension max. 70 KN/m²
Temps de raccour. 92 ms
ATPase alcal. ±
ATPase acid. +

Force (g)

Temps (min)

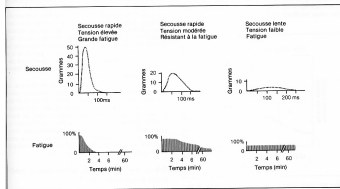


Figure 1 consists of two line graphs. The top graph, titled 'Secousse', plots 'Gammes' (0 to 50) on the y-axis against 'Temps (min)' (0 to 100) on the x-axis. It contains three curves: 'Secousse rapide' (a sharp peak reaching ~45 at 10 min), 'Tension elevee' (a broader peak reaching ~35 at 20 min), and 'Grande fatigue' (a very low, flat line). The bottom graph, titled 'Fatigue', plots 'Gammes' (0 to 100%) on the y-axis against 'Temps (min)' (0 to 60) on the x-axis. It shows a single curve for 'Fatigue' that starts at 100% at 0 min and decays exponentially to near 0% by 60 min.

Secousse rapide
Tension modérée
Résistant à la fatigue

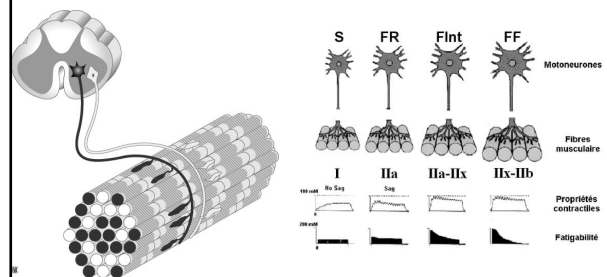
Secousse lente
Tension faible
Fatigue

Graphique 1 (gauche) : **Secousse rapide**. L'axe des ordonnées est l'« Effort (GPa) » (0 à 20) et l'axe des abscisses est le « Temps (ms) » (0 à 100). La courbe montre un pic à 20 GPa à 100 ms. En dessous, la courbe de relaxation de la tension (100% à 0%) est tracée sur un axe de temps en minutes (0 à 60).

Graphique 2 (droite) : **Secousse lente**. L'axe des ordonnées est l'« Effort (GPa) » (0 à 10) et l'axe des abscisses est le « Temps (ms) » (0 à 200). La courbe montre un pic à 10 GPa à 100 ms. En dessous, la courbe de relaxation de la tension (100% à 0%) est tracée sur un axe de temps en minutes (0 à 60).

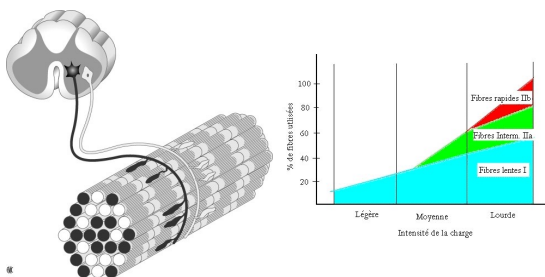
9

Des unités motrices spécialisées



10

Recrutement des unités motrices



Intensity de la charge

Fibras rápidas IIb.

Fibras Intermed. IIa.

11

Myotypologie : adaptation à la fonction

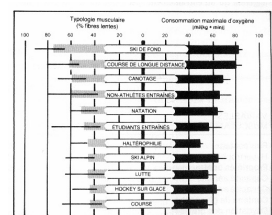
- Variable d'un muscle à l'autre

- Soleus : 80% fibres lentes
- Gastrocnémien : 80% fibres rapides

- Gastrocnémien : 80% fibres rapides

- Variation en fonction activité physique :

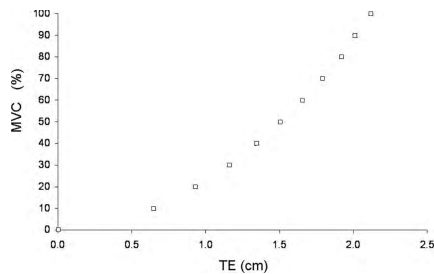
- Relation entre pourcentage de fibres lentes et VO₂max



12

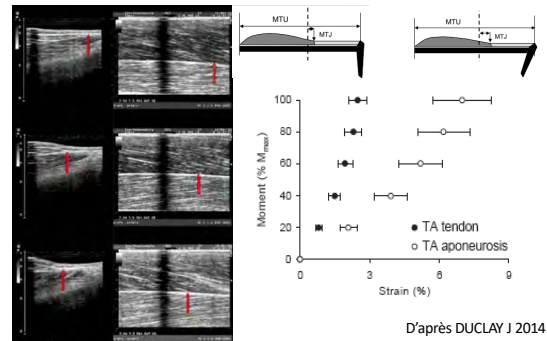
Raideur musculo-tendineuse

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



13

Raideur en Ultrasonographie



14

RENFORCEMENT MUSCULAIRE

15

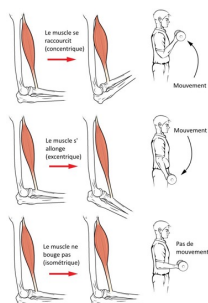
Renforcement musculaire

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



16

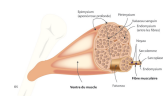
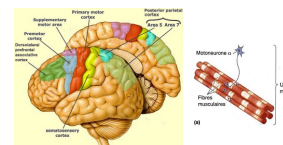
3 types de contraction



17

Renforcement musculaire

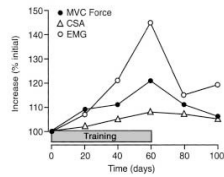
- Plusieurs mécanismes de gain :
 - Mécanismes de plasticité neurologique
 - Central : modification des réflexes
 - Pattern des motoneurones
 - Hypertrophie : augmentation du volume des fibres musculaires :
 - Anabolisme ++
 - Rôle des cellules satellites
 - Modifications des tissus conjonctifs :
 -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



18

Adaptation neurologique

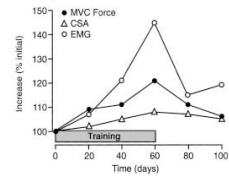
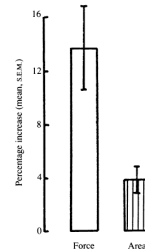
- Arguments indirects :
 - Rapport gains de force / augmentation de la surface des fibres
 - Gains de force croisés
- Arguments plus directs :
 - Modification des réflexes
 - Augmentation de la fréquence de décharge
 - Augmentation du nombre de doublets



Enoka: Neuromechanics of human movement 2002

19

Adaptation neurologique

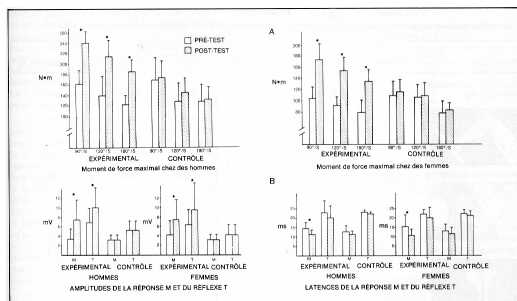


Enoka: Neuromechanics of human movement 2002

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.

20

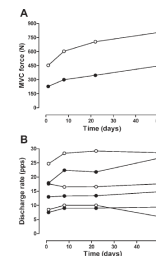
Modifications des réflexes



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

21

Augmentation de la fréquence de décharge instantanée

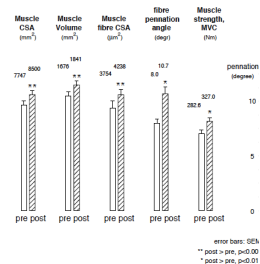


Kamen G and Knight CA. Training-related adaptations in motor unit discharge rate in young and older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 59: 1334-1338, 2004.

22

Modifications d'architecture des fibres musculaires

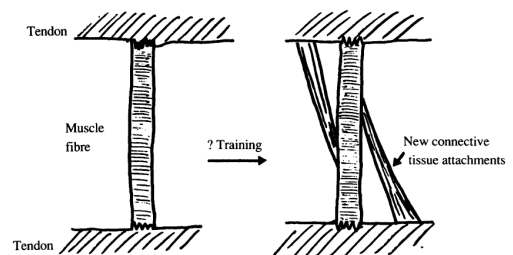
- Au delà de 14 semaines d'entraînement
 - Augmentation de surface des fibres
 - Augmentation de longueur des fibres
 - Augmentation de l'angle de pennation



Aagaard P, Andersen JL, Jeffers AM, Wagner Å, Magnusson SP, Hallgård-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.

23

Modification du tissu de support



D'après Jones 1989

24

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)

25

Myotypologie et renforcement musculaire

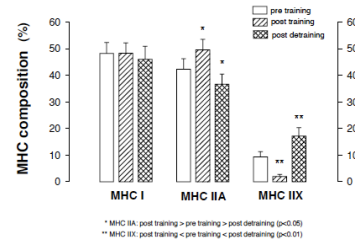


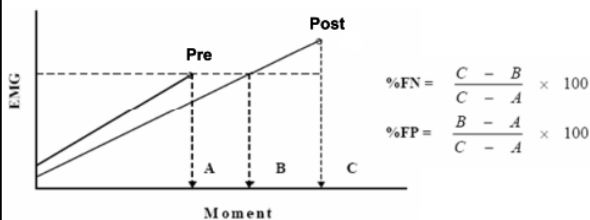
Figure 5. Changes in myosin heavy chain (MHC) isoform composition in the quadriceps muscle (VL) in response to 14 weeks of heavy-resistance strength training followed by 12 weeks of detraining. Notice the boosting of the fastest MHC isoform (IIX) with detraining. Data adapted from Andersen and Aagaard¹⁷.

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

26

Relation EMG moment

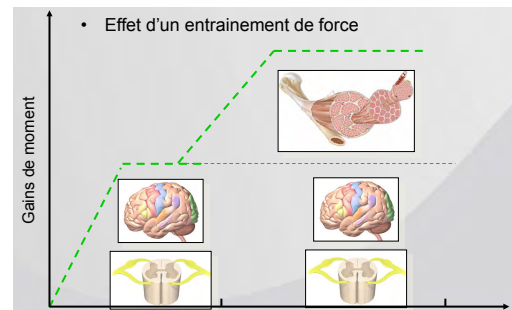
- ↑ moment → ↑ EMG
- Distinction facteur nerveux et périphériques:
 - Moritani & De Vries 1979
 - Limites : coactivation musculaire agoniste antagoniste



27

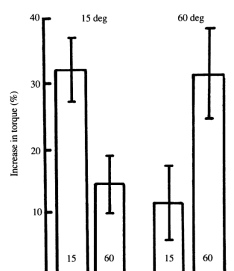
Relation EMG - moment

- Effet d'un entraînement de force



28

Renforcement Isométrique : Spécificité d'angle

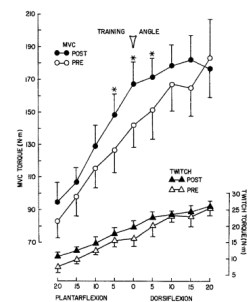


LINDH, M. (1979). Increase of muscle strength from isometric quadriceps exercise at different knee angles. Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine 11, 33-36.

29

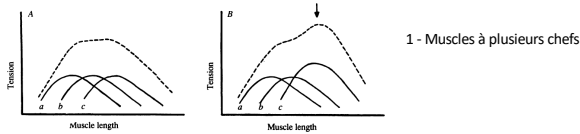
Hypothèse neurophysiologique

- 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



30

Hypothèses mécaniques



1 - Muscles à plusieurs chefs

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 ²)	28.4 ± 2.0	27.8 ± 2.0	28.1 ± 1.6	28.4 ± 2.2	29.0 ± 1.8	30.6 ± 2.6 ^{††}
VI (cm ²)	27.9 ± 1.9	27.6 ± 1.9	27.8 ± 1.8	28.4 ± 2.3	29.1 ± 2.4	30.1 ± 1.9 [†]
VM (cm ²)	15.0 ± 1.4	15.1 ± 1.1	15.0 ± 1.2	16.6 ± 1.2	16.9 ± 1.2	17.4 ± 1.0 [†]
RF (cm ²)	11.2 ± 0.8	11.3 ± 0.8	11.2 ± 0.8	12.2 ± 1.2	12.4 ± 1.1	12.5 ± 1.2

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.

31

Hypothèse mécanique

Hypothèse mécanique

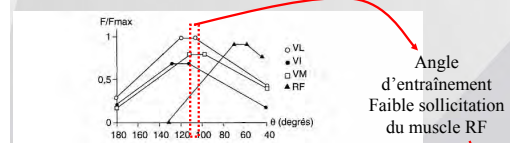
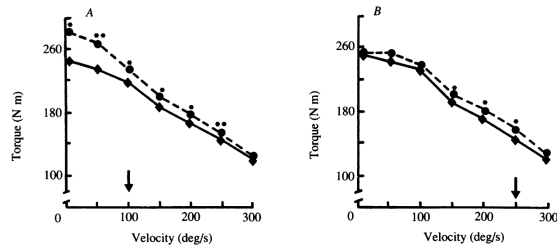


Fig. 3.17. Relations force-longueur théoriques des différents muscles constituant le quadriceps fémoral [d'après Herzog et al., 1990]. Les longueurs sont exprimées en termes d'angle articulaire (θ) et les forces (F) sont normalisées par rapport à la force maximale de chaque muscle (F_{max}). VL : vastus lateralis; VI : vastus intermedius; VM : vastus medialis; RF : rectus femoris.

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

32

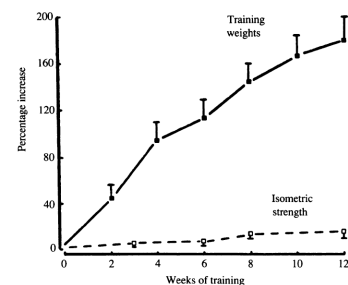
Spécificité de la vitesse



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.

33

Spécifique de la tâche

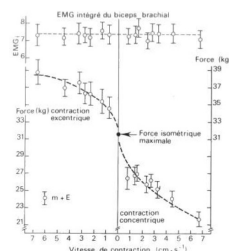
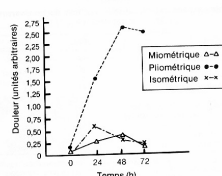


RUTHERFORD, O. M., GREIG, C. A., SARGEANT, A. J. & JONES, D. A. (1986). Strength training and power output: transference effects in the human quadriceps muscle. *Journal of Sports Science* 4, 101-107.

34

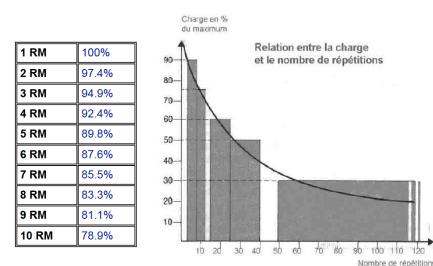
Généralisation des gains

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



35

Répétitions et RF anisométrique



36

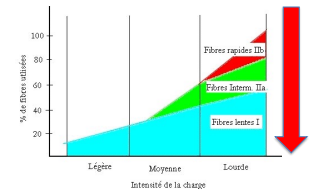
L'entraînement avec surcharge progressive

- 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 1 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.

37

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

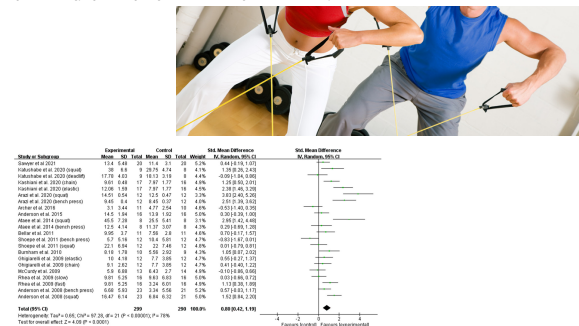


38

Review

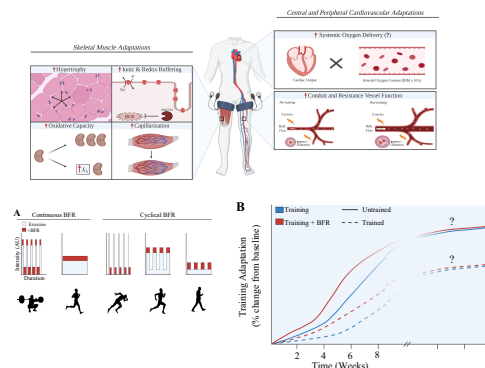
Effects of Variable-Resistance Training Versus Constant-Resistance Training on Maximum Strength: A Systematic Review and Meta-Analysis

Yiguan Lin ¹, Yangyang Xu ², Feng Hong ³, Junbo Li ⁴, Weibing Ye ^{5,*} and Mallikarjuna Korivi ^{5,*}



39

Blood Flow Restriction



40

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
 - I à II peut être
 - Pas II à I

41