Renforcement musculaire en pathologie de l'appareil locomoteur

Johann Beaudreuil, Médecine Physique et de Réadaptation,
Hôpital Lariboisière – Fernand Widal

DMU LOCOMOTION, GHU AP-HP.Nord – Université de Paris

Paris, le 19 janvier 2021

UMR 1132 Inserm
BIOSCAR

Plan

- Physiologie du muscle strié squelettique
- Exercices de renforcement musculaire
- Méthodes et programmes de renforcement musculaire

Plan

- Physiologie du muscle strié squelettique
  - L'organisation du muscle strié
  - Les mécanismes moléculaires de la contraction musculaire
  - Le métabolisme musculaire
  - L'adaptation du muscle à l'exercice

Organisation du muscle strié

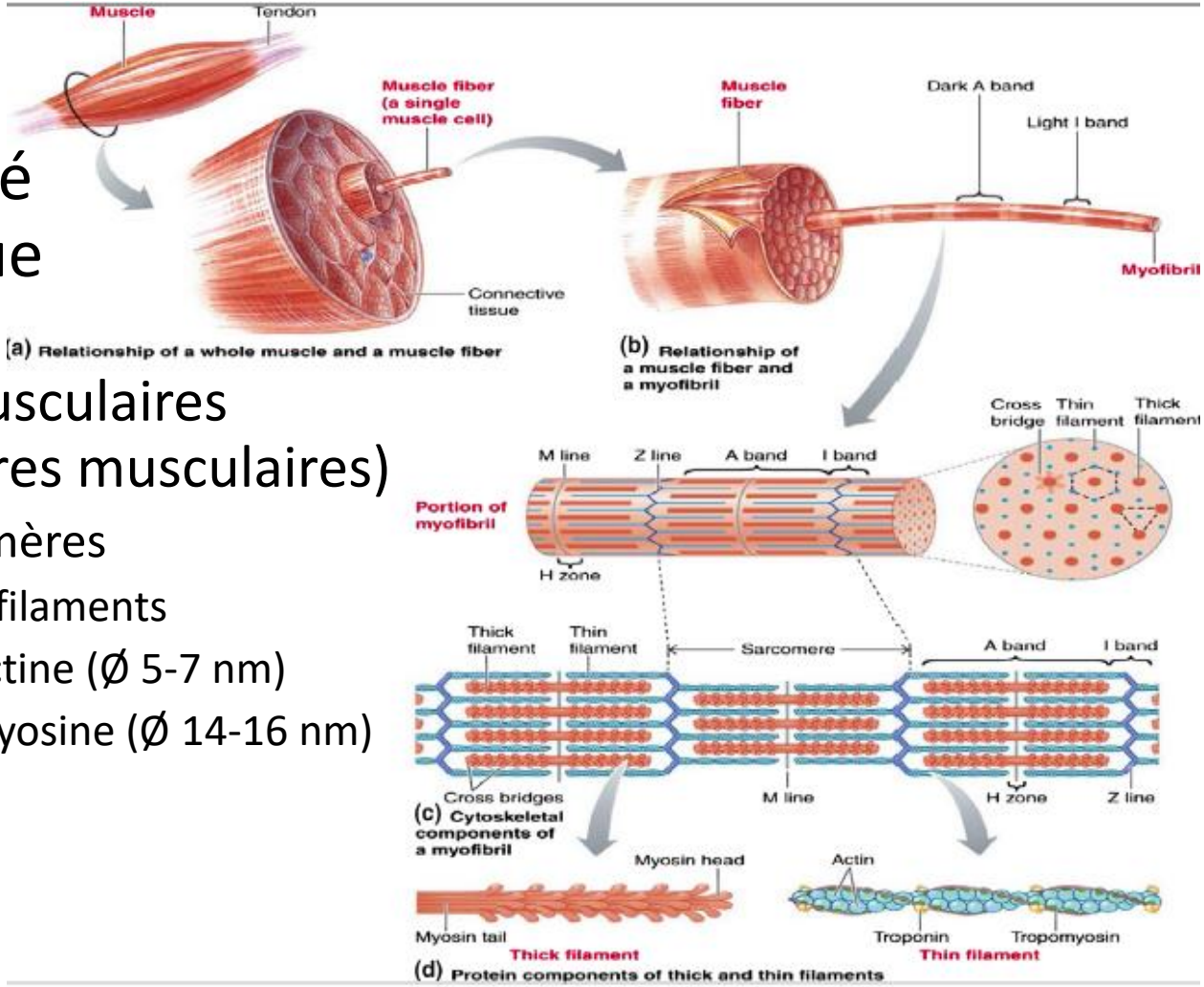
- Muscle strié squelettique

  Cellules musculaires striées (fibres musculaires)

  - Sarcomères

    Myofilaments

    - Actine (Ø 5-7 nm)
    - Myosine (Ø 14-16 nm)

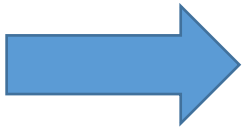


Frontera 2014

Contraction musculaire

Posture

Force



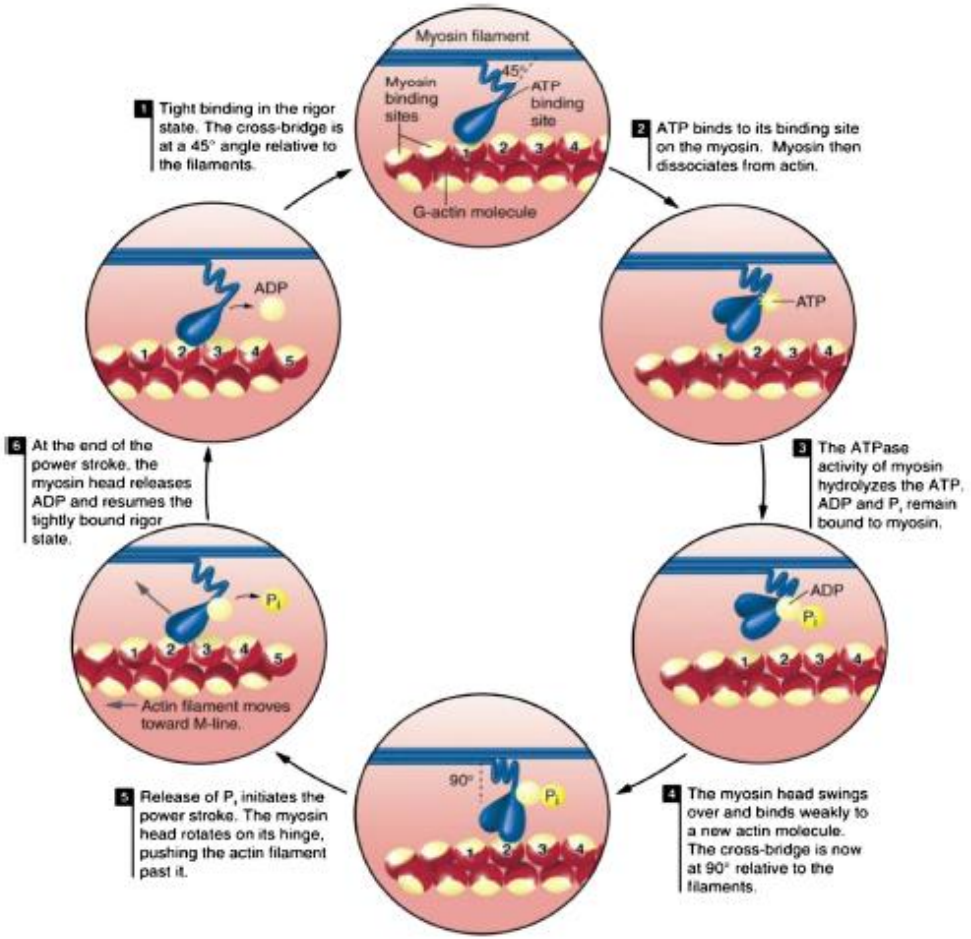
Mouvement

Contraction musculaire

- Interaction actine – myosine
- Consommation d’ATP

Mécanismes moléculaires de la contraction musculaire

- Interaction actine – myosine
  - Myosine
    - Domaine moteur
      - Fixation de l'actine et ATP
    - ATPase actine – dépendante

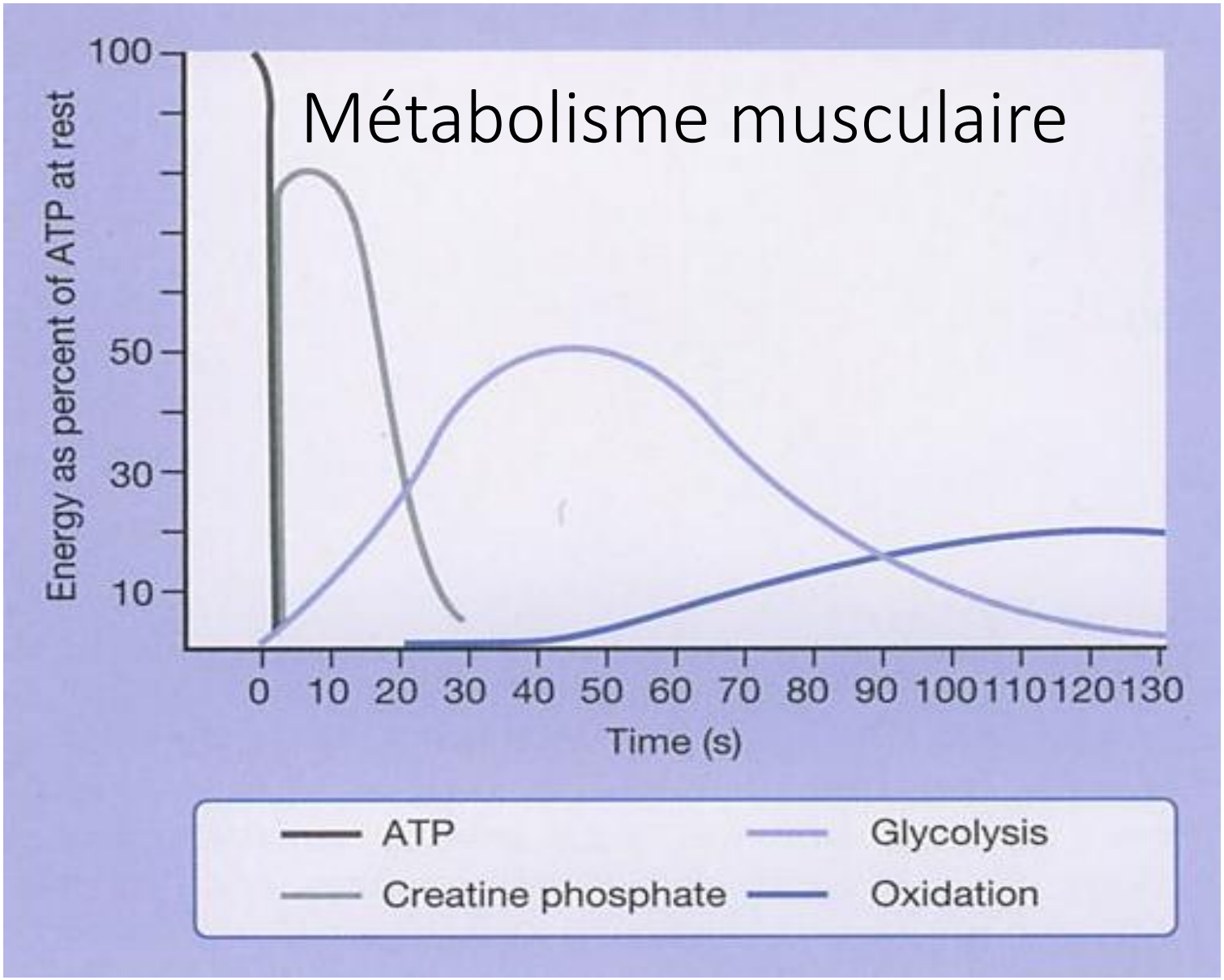


Frontera 2014

Métabolisme musculaire : ATP

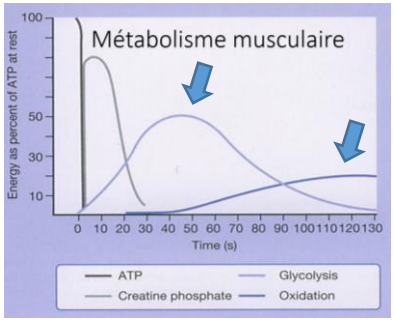
- Réserve ATP musculaire
  - ATP (ATP ase) → ADP + Pi + E ≈ 5 s d'exercice intense
- Phosphate de créatine
  - ADP + PC (kinase) → ATP + créatine ≈ 25 s d'exercice
- Glycolyse anaérobie
  - Glu + 2ADP + 2Pi → 2 Lact + 2 ATP + 2 H_2O ≈ 2 min
- Glycolyse aérobie
  - Glu + 6O_2 + 38ADP + 38Pi → 6HCO_3^- + 38H_2O + 38ATP

Métabolisme musculaire



Wilder, Braddom's PMR 2016

Myocytes de type I et IIb

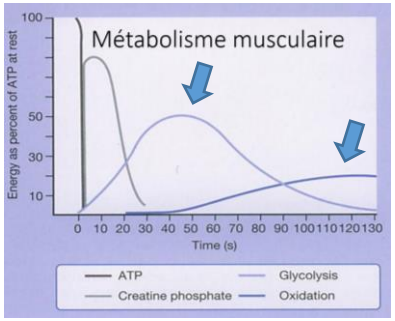


	Myocytes de type I	Myocytes de type IIb
Source d'ATP	Glycolyse aérobie	Glycolyse anaérobie
Réserve AG et TG	+++	+
Réserve glycogène	+	+++
Mitochondrie	+++	+
ATP ase pH 9,4	+	+++
ATP ase pH 4,6	+++	++
Enzymes oxydatives NAD	+++	+

Myocytes de type IIa intermédiaire

d'après Wilder, Braddom's PMR 2016

Myocytes de type I et IIb



	Myocytes de type I	Myocytes de type IIb
Activités	Endurance (aérobie)	Résistance (anaérobie)
Vitesse de contraction	Lente	Rapide
Force développée	+	+++
Fatigabilité	+	+++

Myocytes de type IIa intermédiaire

Recrutement selon la charge

d'après Wilder, Braddom's PMR 2016

Force de contraction musculaire

- Facteurs déterminants pour un muscle donné
  - Surface de section du muscle
  - Longueur – tension du muscle
    - Longueur de repos – tension ≈ 0
  - Facteurs nerveux …
  - Vélocité
    - Allongement – raccourcissement
    - Force de contraction excentrique rapide > excentrique lente > isométrique > concentrique lente > concentrique rapide

↗ Force musculaire

Force de contraction musculaire

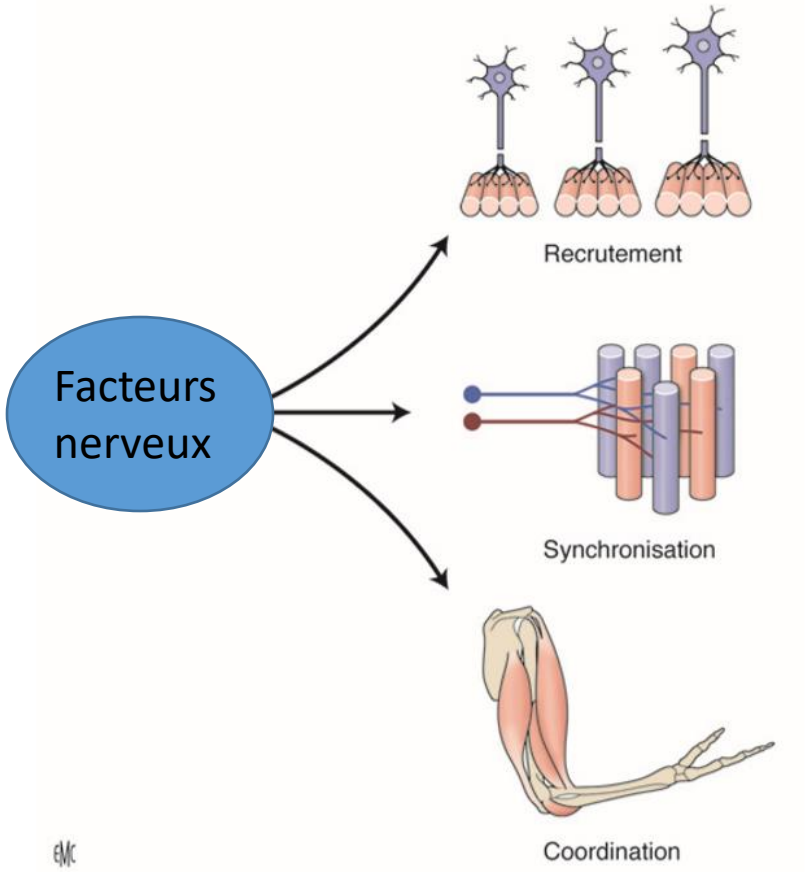
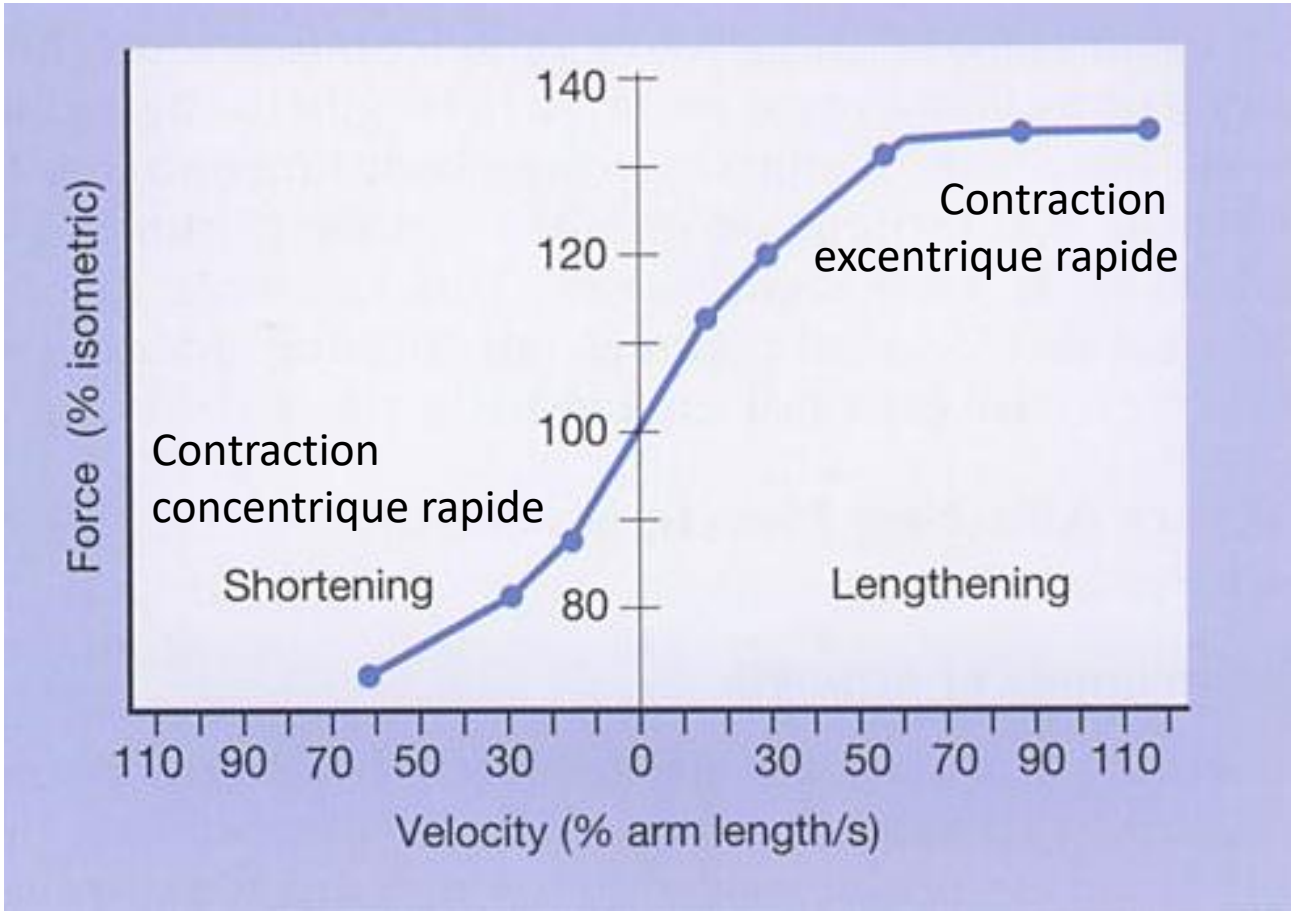


Figure 8. Importance des facteurs nerveux dans le recrutement, la synchronisation des UM (unités motrices) et la coordination des muscles agonistes-antagonistes.

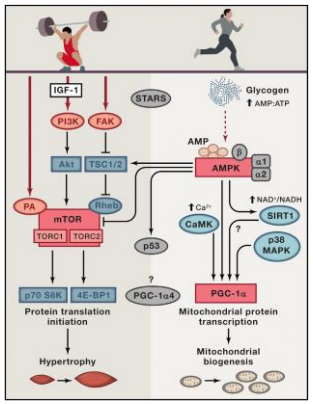
Hubert, EMC 2017

Relation force maximale fléchisseurs de coude – vélocité de la contraction



Wilder, Braddom's PMR 2016

Adaptation du muscle à l'exercice



- Exercice anaérobie
  - Force maximale
  - Durée limitée
- ↗ Force et Puissance
- Hypertrophie musculaire (synthèse protéique, volume ∅)
- Activité ∅ de type IIb

- Exercice aérobie
  - Force sous maximale
  - Durée prolongée
- ↗ Endurance
- ↗ Capacité métabolique aérobie (production ATP)
- Activité ∅ de type I

Hawley, Cell 2014

Gain de force musculaire par l'exercice en résistance

- Adaptation neurale initiale (facteurs musculaires)
  - ↗ # et taille des unités motrices (# myocytes) recrutées
  - ↗ Fréquence de stimulation des unités motrices
  - Synchronisation des unités motrices et synergie musculaire

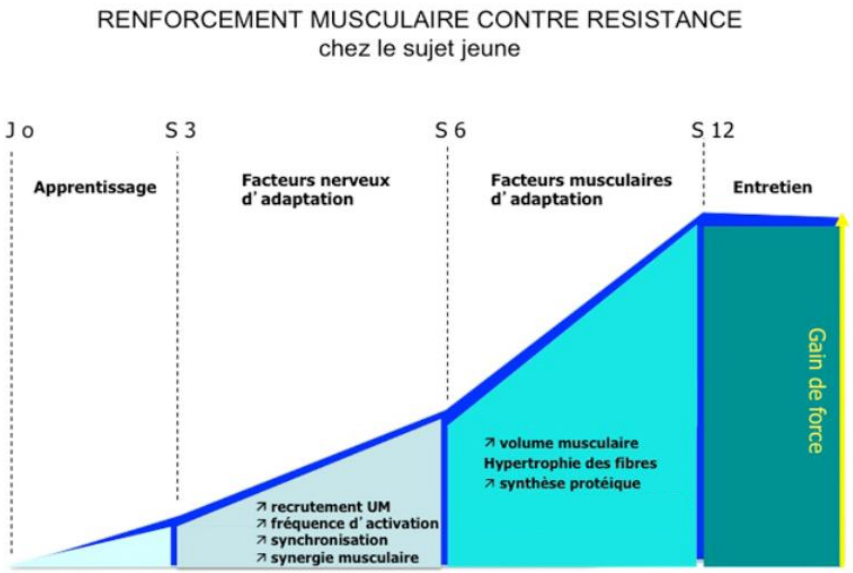
⇨ Gain de force avant 6 semaines de renforcement

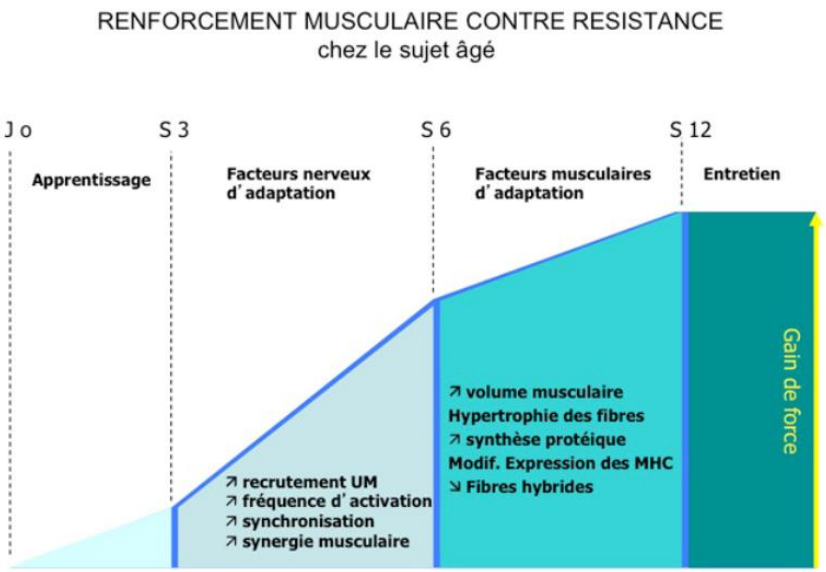
- Hypertrophie musculaire
  - ↗ Synthèse protéique ; ↗ Volume cellulaire

⇨ Gain de force après 6 semaines de renforcement

Exercice en résistance = exercice anaérobie, renforcement musculaire

Gain de force musculaire par l'exercice en résistance





d'après Cugy, Campus MPR 2013

Plan

- Exercices de renforcement musculaire

Exercices de renforcement musculaire

- Moyens résistants
- Typologie des exercices

Moyens résistants

- Gravité
- Résistance manuelle
- Charge directe
- Poulie-thérapie
- Balnéothérapie
- Isocinétisme

- Bandes élastiques

- Vibrations corporelles

- Électro-stimulation

Typologie des exercices de renforcement musculaire

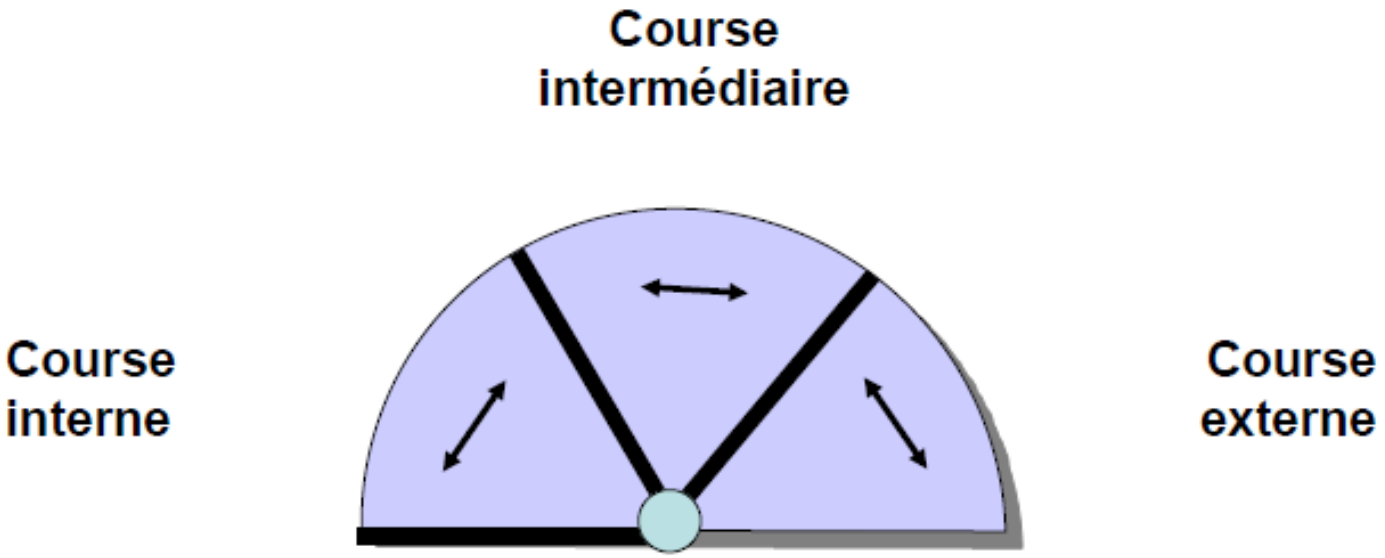
- Course de travail musculaire
- Déplacement des extrémités musculaires
- Chaîne musculaire
- Contraction musculaire

⇨ *Adaptation au travail musculaire physiologique, à la fonction musculaire privilégiée, à l'effet recherché et à la tolérance*

Course de travail musculaire

- Travail musculaire en course externe
  - Sollicitation d'un muscle dans un secteur correspondant à une position éloignées des insertions musculaires
- Travail musculaire en course interne
  - Sollicitation d'un muscle dans un secteur correspondant à une position rapprochées des insertions musculaires
- Travail musculaire en course intermédiaire
  - Sollicitation d'un muscle dans un secteur intermédiaire

Course de travail musculaire



Courses de travail pour un muscle fléchisseur

Course de travail musculaire

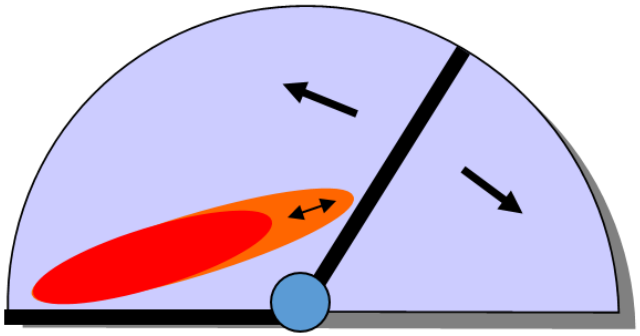
- Ischio-jambiers
  - Course intermédiaire

Course de travail musculaire

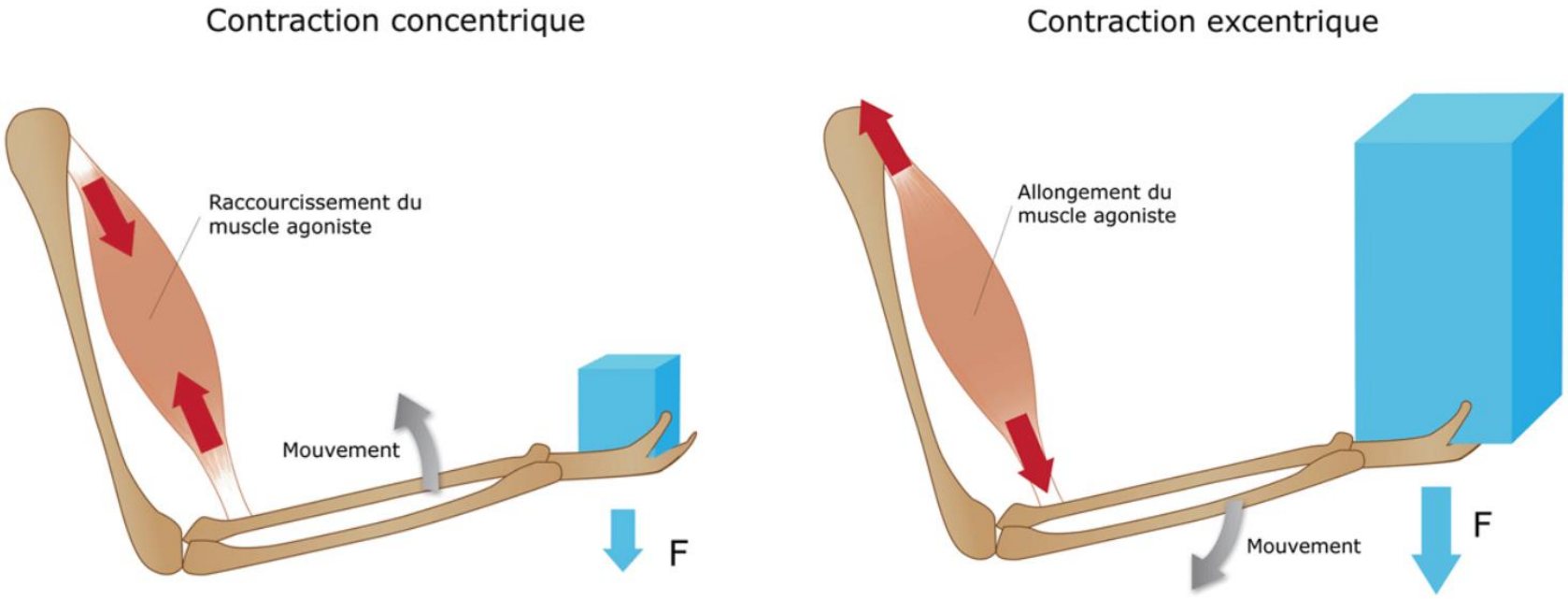
- Quadriceps
  - Course interne

Déplacement des insertions musculaires

- Exercice musculaire concentrique
  - Contraction lors d'un raccourcissement du muscle
    - Rapprochement des insertions musculaires
- Exercice musculaire excentrique
  - Contraction lors d'un allongement du muscle
    - Éloignement des insertions musculaires



Déplacement des insertions musculaires



Cugy, Campus MPR 2013

Déplacement des insertions musculaires

Contraction concentrique du tibial antérieur (TA)

Déplacement des insertions musculaires

Contraction concentrique du tibial antérieur (TA)

Contraction excentrique du TA puis concentrique du triceps sural

Déplacement des insertions musculaires

Contraction concentrique du jambier antérieur (JA)

Contraction excentrique du TA puis concentrique du triceps sural

Contraction concentrique du quadriceps

Chaîne musculaire

- Chaîne musculaire ouverte
  - Extrémité distale libre

- Chaîne musculaire fermée*
  - Extrémité distale fixe

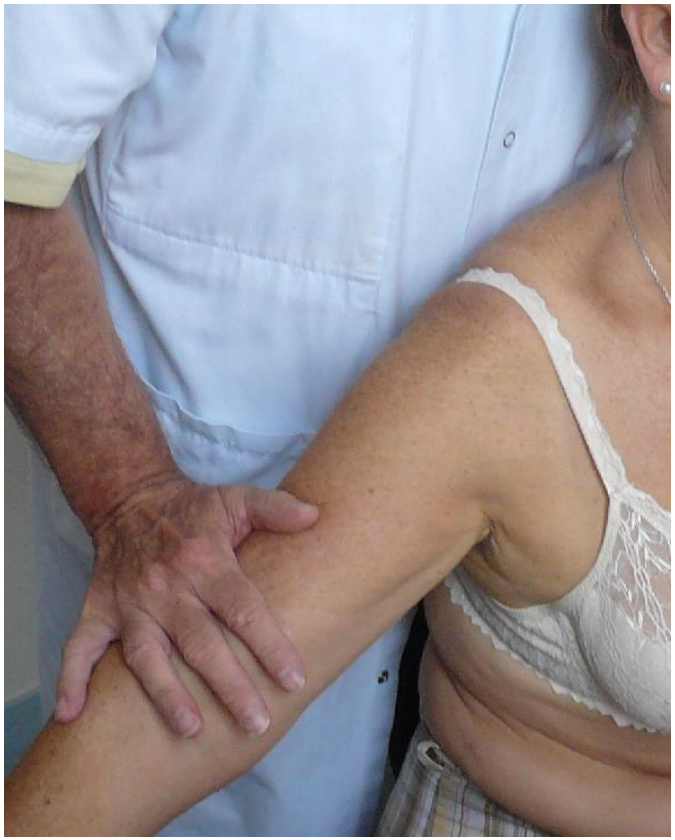
* Chaîne semi-fermée : extrémité distale libre mais résistance importante (ex. vélo)

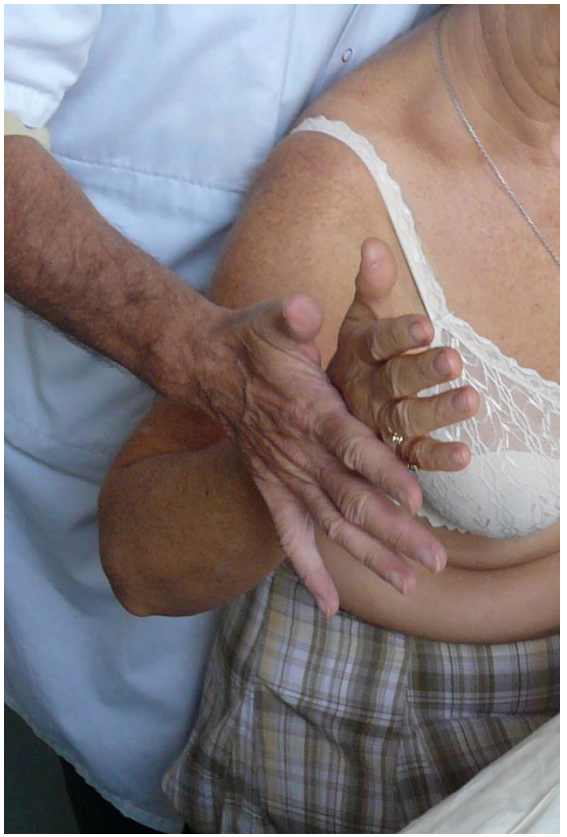
Boorman, J Bone Joint Surg Am 2014

Contraction musculaire

- Travail musculaire statique
  - Travail musculaire isométrique
    - Contraction sans mouvement segmentaire
- Travail musculaire dynamique
  - Travail musculaire isotonique
    - Contraction contre résistance constante
  - Travail musculaire isocinétique
    - Contraction lors d'un mouvement à vitesse constante

Contraction musculaire isométrique





Contraction sans mouvement contre résistance manuelle

Contraction musculaire isométrique

- Avantages
  - Tolérance ostéo-articulaire
- Inconvénients
  - Longueur musculaire constante

Résistance manuelle

- Avantages
  - Adaptation à la force développée
  - Travail mono/pluri-segmentaire
- Inconvénients
  - Variabilité
  - Imprécision

Résistance manuelle

- Travail pluri-segmentaire
  - Quadriceps et jambier antérieur
  - Débordement d’énergie

Contraction musculaire dynamique isotonique

- Exercice dynamique des muscles de la sangle abdominale contre la gravité

Contraction musculaire isotonique contre gravité

- Avantages
  - Simplicité
- Inconvénients
  - Non adaptation au cours du mouvement
  - Résistance non modulable

Contraction musculaire dynamique isotonique

Exercice musculaire dynamique
à charge directe ou indirecte constante

Contraction musculaire isotonique

- Charge directe
  - Avantages
    - Simplicité
    - Précision
    - Résistance modulable
  - Inconvénients
    - Non adaptation au cours du mouvement
- Charge indirecte
  - Avantages
    - Simplicité
    - Précision
    - Résistance modulable
  - Inconvénients
    - Non adaptation au cours du mouvement

Contraction musculaire dynamique isocinétique

- Exercice musculaire dynamique à vitesse constante

Forthomme, Clin Physiol Funct Imaging 2011

Contraction musculaire isocinétique

- Avantages
  - Évaluation
  - Précision
  - Adaptation au cours du mouvement
  - Résistance modulable
- Inconvénients
  - Matériel sophistiqué
  - Adaptation au dispositif

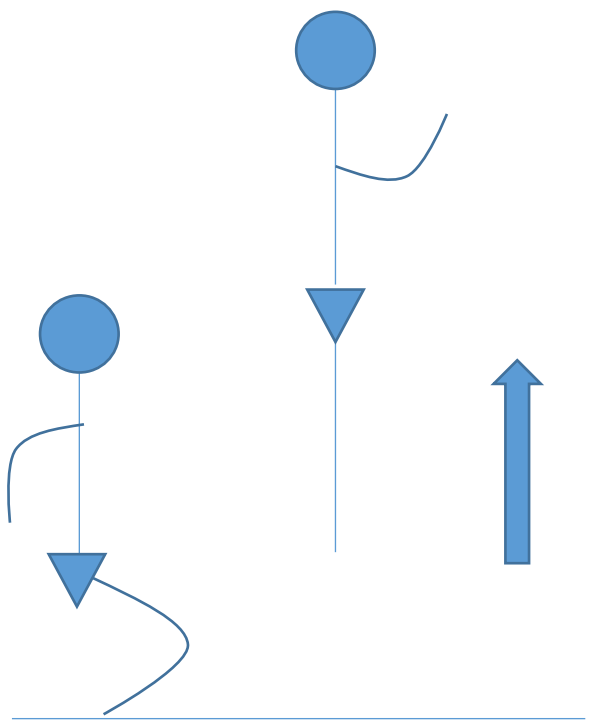
Travail pliométrique

- Restitution d'énergie

  1 - Contraction dynamique excentrique

  2 - Contraction dynamique concentrique

  ↗ Vitesse et ↗ Force de contraction concentrique



Exemple du quadriceps

Plan

- Méthodes et programmes de renforcement musculaire

Méthodes et programmes de renforcement musculaire

- Paramètres
  - Muscle(s), type(s) d'exercice(s)
  - Force musculaire maximale
  - Temps de travail/récupération
  - Charge de travail
  - # de répétitions/séries/séance
  - # de séances par programme
  - Modulation (progression)

Intensité
Volume
Fréquence

Programmes de renforcement musculaire

- Évaluation
- Planification
  - Exercices
  - Méthode
    - Répétitions
    - Séries
    - Séances
    - Modulation
- Réalisation/éducation
  - Échauffement
  - Renforcement musculaire
  - Étirements musculaires
- Évaluation

⇨ *Adaptation et évolution en fonction du contexte et des objectifs*

Exercices : critères de choix

- Faisabilité
- Tolérance
- Physiologie musculaire
  - Course, centricité, chaine, contraction
- Effets recherchés
  - Fonction ciblée
  - ↗ résistance tissulaire …

Exercices : critères de choix

- Travail isométrique
  Douleur, protection tissulaire (cartilage, os, tendon, ligt)
- Travail excentrique
  Tendinopathie*, objectif de charge élevée, physiologie musculaire (exemples : JA, IJ, spinaux, RE épaule)
- Travail concentrique
  Physiologie musculaire (quadriceps, abdominaux, RI épaule)
- Travail pléiométrique
  Recherche de vitesse, puissance, explosivité
- Combinaison des exercices en cours de programme

* Cicatrisation et renforcement tendineux

Mesure de la force musculaire

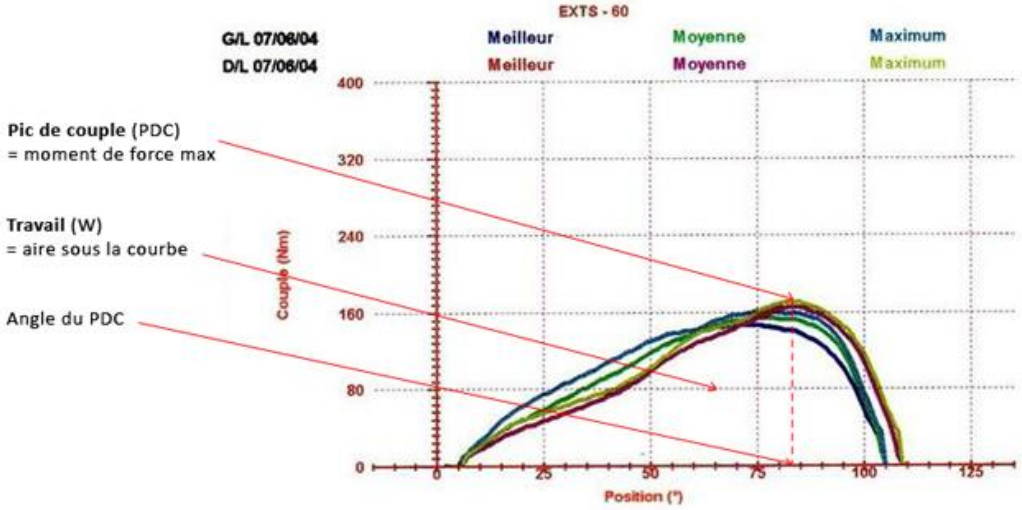
- Tests isométriques
  - Dynamomètres

- Test dynamiques
  - Isocinétisme
  - Résistance maximale

Mesure de la force musculaire

- Isocinétisme

Extension du genou à 60°/s



Cugy, Campus MPR 2013

Mesure de la force musculaire

- Résistance maximale
  - X RM
    - Charge maximale déplacée x fois
  - 1 RM
    - Charge maximale déplacée 1 fois
  - 5 RM
    - Charge maximale déplacée 5 fois
  - 10 RM
    - Charge maximale déplacée 10 fois

Résistance maximale

- Exemple : Mr F
  - 5 RM : charge maximale déplacée x 5
  - Exercice : tiré – nuque
  - Muscles cibles : grand dorsal, biceps brachial
  - Travail concentrique et excentrique

- Tentative 1 : 15 kg x 5
  - « facile » ; repos 2 min
- Tentative 2 : 25 kg x 5
  - « facile » ; repos 2 min
- Tentative 3 : 35 kg x 5
  - « moyen » ; repos 2 min
- Tentative 4 : 40 kg x 5
  - « difficile » ; arrêt

Méthodes et programmes d'exercices musculaires

	Endurance	Résistance
Intensité	30-60% 1 RM	80-90% 1RM
Volume	1-3 séries 10-20 répétitions	1-3 séries 1-8 répétitions
Repos	1 minute	2-3 minutes
Fréquence	2-4 j/semaine	4-6 j/semaine
Progression	Volume (durée)	Intensité (charge)

d'après Donner, Pulmonary Rehabilitation 2005

Méthode de renforcement musculaire

- Méthode de Delorme et Watkins : *progressive resistance exercises*
  - 3 séries de 10 mouvements
    - Série 1 : 50% 10 RM ; 1 minute ; repos 1 minute
    - Série 2 : 75% 10 RM ; 1 minute ; repos 1 minute
    - Série 3 : 100% 10 RM ; 1 minute ; repos 1 minute
  - Charge directe
  - 4 séances de travail/semaine ; mesure 10 RM séance 5
  - 3 séries de 10 mouvements …

Delorme, Arch Phys Med 1948

Méthode de renforcement musculaire

- Méthode des efforts maximaux
  - 4 à 8 séries de 1 à 3 mouvements
  - 90% 1 RM
  - Repos 7 minutes
  - 1 séance/8-10 jours

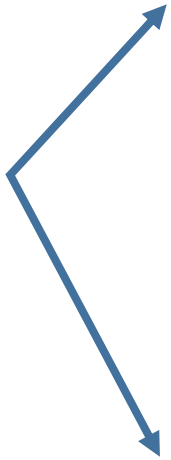
Sale, Exc Sport Sci Rev 1987

- …

Revel, Traité de MPR 1998

Restauration fonctionnelle pour lombalgie chronique

Modules thérapeutiques
Exercices physiques
Éducation
Soutien psychologique
Réinsertion professionnelle



Activités physiques
Activités gymniques
Activités aérobies
Manutention
Renforcement musculaire
Étirements musculaires

Lariboisière – Fernand Widal

Restauration fonctionnelle pour lombalgie chronique

- Renforcement musculaire : évaluation initiale

EVALUATION RENFORCEMENT MUSCULAIRE

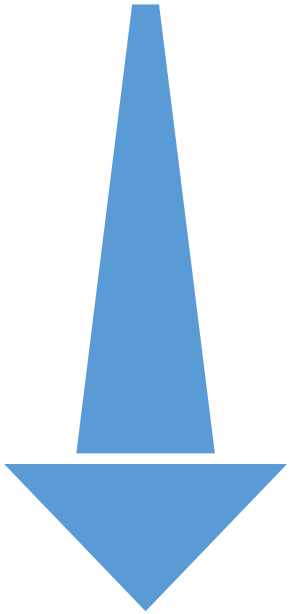
	100 % 5 RM	50 % 5 RM	75 % 5 RM
Développé couché	28	13	21,5
Quadriceps			
Biceps assis	16	8	12
Miroir	16	8	12
Papillon	30	15	25
Tiré nuque	25	10	20
Presse à jambe	60	30	50

Lariboisière – Fernand Widal

Restauration fonctionnelle pour lombalgie chronique

- Renforcement musculaire : progression

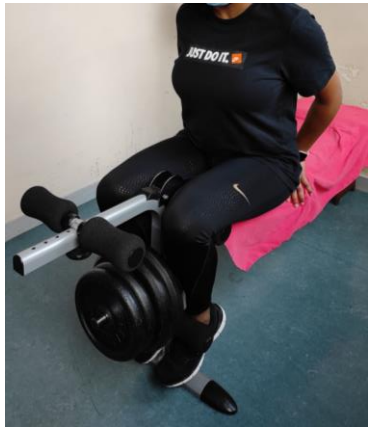
  - Semaine 1
    - 50% 5RM
  - Semaine 2
    - 75% 5RM
  - Semaine 3
    - 75% 5 RM
  - Semaine 4
    - 100% 5 RM
  - Semaine 5
    - 100% 5 RM

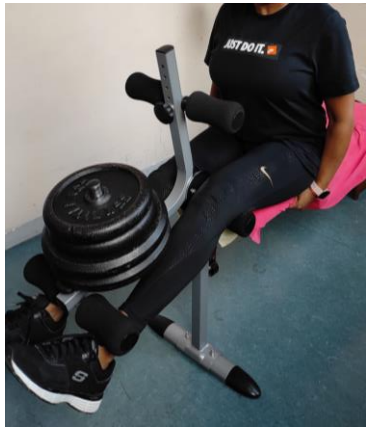


5 à 10 séries ; 1 à 2 séances / semaine

Lariboisière – Fernand Widal

Renforcement du quadriceps
Mme A 47 ans

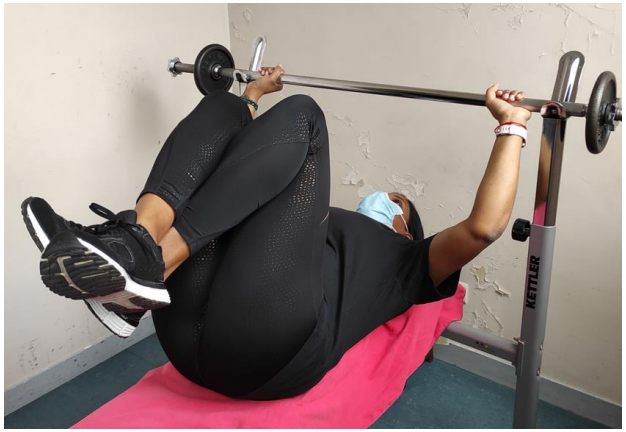




Évaluation 1	5 RM initiale	Renforcement musculaire	Évaluation 2	5 RM finale

- Charge en début de test : 30% poids du corps
- Paliers : 5kg
- Tentatives : 3-5
- Gradation de l'effort : facile/ moyen/difficile
	30 kg	• Semaine 1
		  • 50% 5RM
		• Semaine 2
		  • 75% 5RM
		• Semaine 3
		  • 75% 5 RM
		• Semaine 4
		  • 100% 5 RM
		• Semaine 5
		  • 100% 5 RM
		5 à 10 séries
		1 à 2 séances / semaine
			- Charge en début de test : 30 kg (5 RMi)
			
			- Paliers : 5kg
			- Tentatives : 3-5
			- Gradation de l'effort : facile/ moyen/difficile
				50 kg

Développé couché
Mme A 47 ans

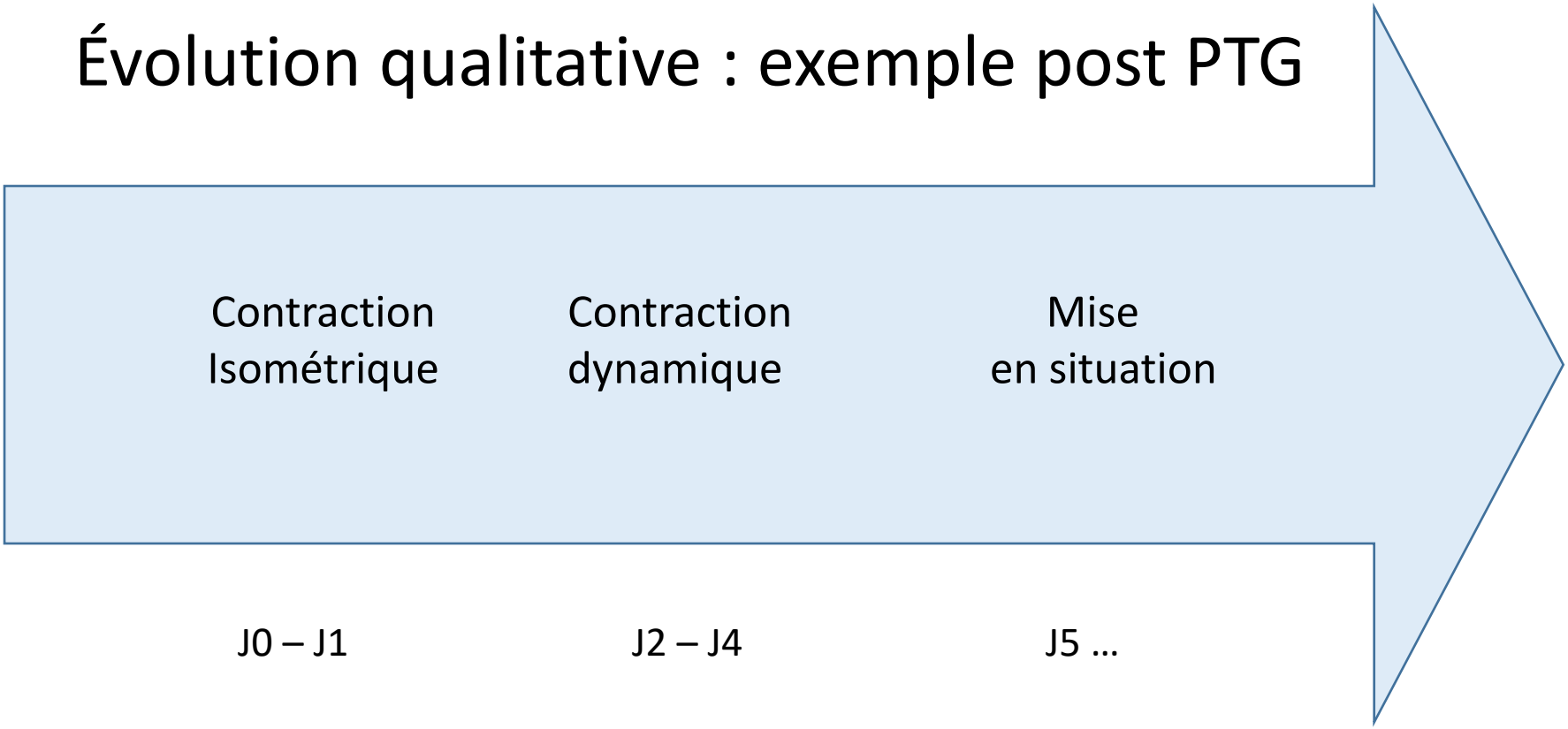


Évaluation 1	5 RM initiale	Renforcement musculaire	Évaluation 2	5 RM finale

- Charge de début : 8 kg
 	
- Paliers : 2-3 kg
- Tentatives : 3-5
- Gradation de l'effort : facile/ moyen/difficile
	13 kg	• Semaine 1
		  • 50% 5RM
		• Semaine 2
		  • 75% 5RM
		• Semaine 3
		  • 75% 5 RM
		• Semaine 4
		  • 100% 5 RM
		• Semaine 5
		  • 100% 5 RM
		
		5 à 10 séries
		1 à 2 séances / semaine
			- Charge en début de test : 13 kg (5 RMi)
			- Paliers : 2-3 kg
			- Tentatives : 3-5
			- Gradation de l'effort : facile/ moyen/difficile
				20 kg

Programme de renforcement musculaire

Évolution qualitative : exemple post PTG



d'après Cugy, Campus MPR 2013

Traitement fonctionnel d'une lésion du LCA

- RICE
- **Renforcement ischio-jambiers et quadriceps**
- Reprogrammation neuromusculaire
- Reconditionnement à l'effort

} *Stabilisation active du genou*

Traitement fonctionnel d'une lésion du LCA

- Renforcement musculaire : phase 1 (1-3 semaines)
  - Levée de sidération du quadriceps

Faire des contractions répétées du quadriceps avec remontée de la rotule. Les exercices sont ceux qui seront enseignés par le kinésithérapeute : contractions flash et contractions statiques pendant 10 s, en alternant les 2 genoux pour permettre un repos de 10 s.
Faire entre 30 et 50 répétitions de chaque exercice 3 fois par jour.

Ghozlane, Actualités en MPR 2014

Traitement fonctionnel d'une lésion du LCA

- Renforcement musculaire : phase 2 (2-3 mois)
  - Travail excentrique des ischio-jambiers
  - Travail concentrique des ischio-jambiers

↘ translation antérieure et rotation tibiales

Ghozlane, Actualités en MPR 2014

Traitement fonctionnel d'une lésion du LCA

- Renforcement musculaire : phase 2 (2-3 mois)
  - Travail du quadriceps en chaine fermée

↘ translation tibiale antérieure
↘ contraintes LCA et FP

Ghozlane, Actualités en MPR 2014

Traitement fonctionnel d'une lésion du LCA

- Renforcement musculaire : phases 3 et 4 (4-6 mois)
  - Genou sec, indolore, mobile
  - Force IJ et Q : 90% ; ratio IJ/Q : 60%

  ⇨ Poursuite du renforcement

  + mise en situations spécifiques et instables
  - Travail de la proprioception

  ⇨ Reprise progressive de l'entrainement sportif

Ghozlane, Actualités en MPR 2014

Points importants

- Muscle strié squelettique
  - Propriété : contraction
  - Rôle physiologique : posture et mouvement
- Exercices de renforcement
  - Vaste classe thérapeutique
  - Activité et adaptation musculaires

- Programme de renforcement
  - Indication : Contexte, patient, affection
  - Évaluation : force maximale
  - Planification : exercices, intensité, volume, fréquence, modulation
  - Réalisation/éducation

Merci pour votre attention