
**Université Paris Cité**


## 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 Paris Cité

Paris, le 20 mai 2026

UMR 1132 Inserm  
BIOSCAR

---

---

---

---

---

---

---

---

## Plan

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

---

---

---

---

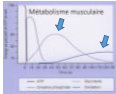
---

---

---

---

## Métabolisme musculaire



Wilder, Bradenton's PMR 2016

- Réserve **ATP** musculaire
  - $\text{ATP (ATP ase)} \rightarrow \text{ADP} + \text{Pi} + \text{E} \approx 5 \text{ s d'exercice intense}$
- Phosphate de créatine
  - $\text{ADP} + \text{PC (kinase)} \rightarrow \text{ATP} + \text{créatine} \approx 25 \text{ s d'exercice}$
- Glycolyse anaérobie
  - $\text{Glu} + 2\text{ADP} + 2\text{Pi} \rightarrow 2 \text{Lact} + 2 \text{ATP} + 2 \text{H}_2\text{O} \approx 2 \text{ min}$
- Glycolyse aérobie
  - $\text{Glu} + 6\text{O}_2 + 38\text{ADP} + 38\text{Pi} \rightarrow 6 \text{HCO}_3^- + 38 \text{H}_2\text{O} + 38 \text{ATP}$

---

---

---

---

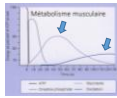
---

---

---

---

## 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

---

---

---

---

---

---

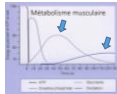
---

---

---

---

## 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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Adaptation du muscle à l'exercice



- Exercice anaérobie
  - Force maximale
  - Durée limitée
- ↗ Force
- 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 nerveux)
  - ↗ # 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

---

---

---

---

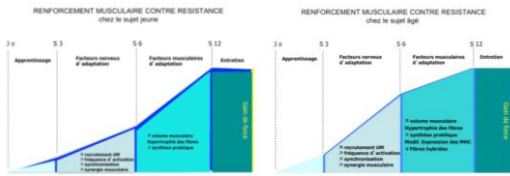
---

---

---

---

## Gain de force musculaire par l'exercice en résistance



d'après Cugy, Campus MPR 2013

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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



Cugy, Campus MPR 2013

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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

---

---

---

---

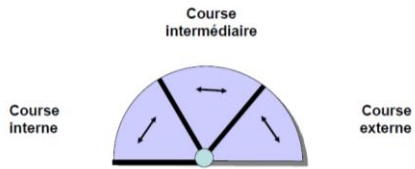
---

---

---

---

### 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



---

---

---

---

---

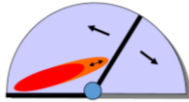
---

---

---

## 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



---

---

---

---

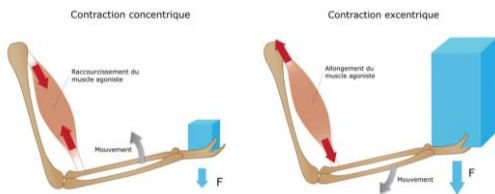
---

---

---

---

## 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 tibial antérieur (TA)



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 en appui mais mobile (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 et à la tolérance
- Inconvénients
  - Variabilité
  - Imprécision

---

---

---

---

---

---

---

## 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

---

---

---

---

---

---

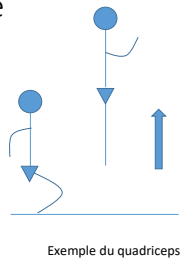
---

---

## Travail pliométrique

- Restitution d'énergie
  - 1 - Contraction dynamique excentrique
  - 2 - Contraction dynamique concentrique

↗ Vitesse et ↗ Force de contraction concentrique




---

---

---

---

---

---

---

---

## 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 : étapes

- 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 », chaîne, contraction
- Effets recherchés
  - Fonction ciblée
  - ↗ résistance tissulaire ...

---

---

---

---

---

---

---

---

## Exercices : critères de choix

- Travail isométrique
  - Douleur, protection tissulaire (cartilage, os, tendon, lig)
- 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

- 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                     | <b>80-90% 1RM</b>                    |
| Volume      | 1-3 séries<br>10-20 répétitions | 1-3 séries<br><b>1-8 répétitions</b> |
| Repos       | 1 minute                        | 2-3 minutes                          |
| Fréquence   | 2-4 j/semaine                   | <b>4-6 j/semaine</b>                 |
| Progression | Volume (durée)                  | <b>Intensité (charge)</b>            |

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

---

---

---

---

---

---

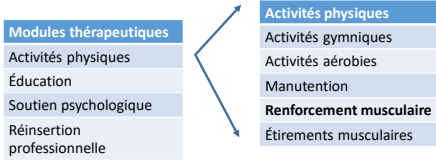
---

---

---

---

## Restauration fonctionnelle pour lombalgie chronique



Lariboisière – Fernand Vidal

---

---

---

---

---

---

---

---

## Restauration fonctionnelle pour lombalgie chronique

### • Renforcement musculaire : évaluation initiale

| EVALUATION RENFORCEMENT MUSCULAIRE |            |           |           |
|------------------------------------|------------|-----------|-----------|
|                                    | 100 % 0 RM | 50 % 0 RM | 75 % 4 RM |
| Développé couché                   | 28         | 13        | 74,5      |
| Quadriceps                         |            |           |           |
| Flexion anale                      | 16         | 8         | 12        |
| Miroir                             | 16         | 8         | 12        |
| Papillon                           | 30         | 15        | 25        |
| Tête surgen                        | 25         | 10        | 20        |
| Presses à Jambes                   | 60         | 30        | 50        |

Lariboisière – Fernand Vidal

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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 Vidal

---

---

---

---

---

---

---

---



**Abstract**  
 Volume 28, Issue 1, 2017, Pages 21-27  
 © The Author(s) 2016. Reprints and permissions: [sagepub.com/journalsPermissions.nav](http://sagepub.com/journalsPermissions.nav)  
 DOI: 10.1177/1083282516670008

**Proximal muscle**  
**High-intensity versus low-intensity resistance training in patients with knee osteoarthritis: A randomized controlled trial**

Arjan H de Winter<sup>1</sup>, Jeroen Bekker<sup>2,3,4</sup>, Leo D Brouwer<sup>5</sup>, Marita van der Wal<sup>6,7</sup>, Paul van't Hof-Maat<sup>8</sup>, Vincent M van Mechelen<sup>9</sup>, Alexander C Reijnen<sup>10</sup>, Frankine Teekamp<sup>11</sup>, Marjolijn Grootenboer<sup>12</sup>, Arjo Blomhagen<sup>13</sup>, Kim Bennell<sup>14</sup>, Margje PM Stegeman<sup>15</sup>, Willem F Lamer<sup>16</sup>, and Marita van der Wal<sup>17</sup>

**iv. High vs. Low - NRS**

| Timepoints | High-intensity group | Low-intensity group |
|------------|----------------------|---------------------|
| PreXT      | ~5.5                 | ~5.5                |
| PostXT     | ~3.5                 | ~3.5                |
| FU         | ~3.5                 | ~3.5                |

**i. High vs. Low - Muscle strength**

| Timepoints | High-intensity group | Low-intensity group |
|------------|----------------------|---------------------|
| PreXT      | ~1.0                 | ~1.0                |
| PostXT     | ~1.2                 | ~1.2                |
| FU         | ~1.2                 | ~1.2                |

**iii. High vs. Low - WOMAC - PF**

| Timepoints | High-intensity group | Low-intensity group |
|------------|----------------------|---------------------|
| PreXT      | ~20                  | ~20                 |
| PostXT     | ~18                  | ~18                 |
| FU         | ~18                  | ~18                 |

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Programme de renforcement musculaire

Évolution qualitative : exemple post PTG

| Contraction isométrique | Contraction dynamique | Mise en situation |
|-------------------------|-----------------------|-------------------|
| J0 - J1                 | J2 - J4               | J5 ...            |

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



Ghozlane, Actualités en MPR 2014

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Traitement fonctionnel d'une lésion du LCA

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



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'entraînement 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

---

---

---

---

---

---

---

---