

Influence de la fonction mécanique du muscle sur sa commande motrice

LAS - UE enseignement spécialisé – Masso-kinésithérapie

Année universitaire 2020-2021



Vol spatial

- **Chez l'homme : Station Spatiale Internationale (ISS)**
- Retour de 3 astronautes : dont 2 avec séjour de 340 j (Kelly & Kornienko), un avec séjour de 182 j
- Scott Kelly (ISS) & Mark Kelly (sur terre)

- **Résultats** : effets préventifs de protocoles d'exercices d'endurance (TR) et de renforcement musculaire pour pallier l'amyotrophie,....

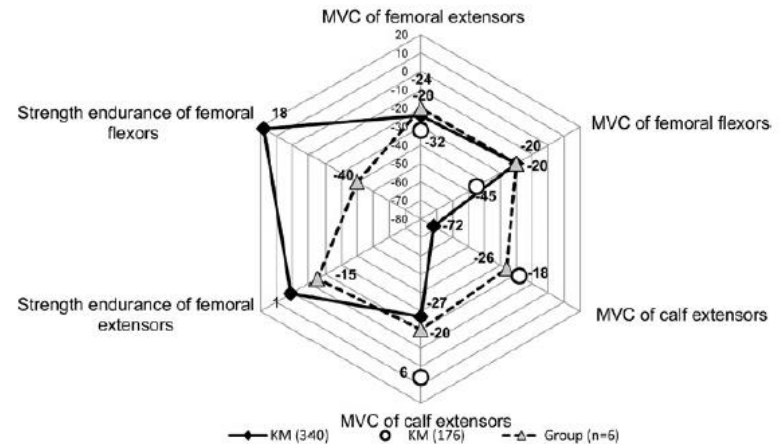


Fig. 4. Variations in the MVC and strength endurance of different muscles throughout the flight. KM (340): data from the 1-yr mission lasting 340 d; KM (176): data from his previous 176-d flight on ISS; MVC = maximal voluntary contraction.

Résultats de Mickaïl Kornienko: comparaison de la MVC de divers groupes musculaires sur la MVC % autres tests effectués sur lui-même au cours de sa mission précédente et % autres astronautes (séjours de 6 mois)



Vol parabolique

- **Chez l'animal (rat)**

- Vol parabolique chez le rat
- Conditions de microgravité réelle
- Analyse EMG
- Durant les **25 s** de la phase d'apesanteur:
- quasi-extinction de l'activité EMG dans le soléaire et augmentation simultanée dans les antagonistes (TA)

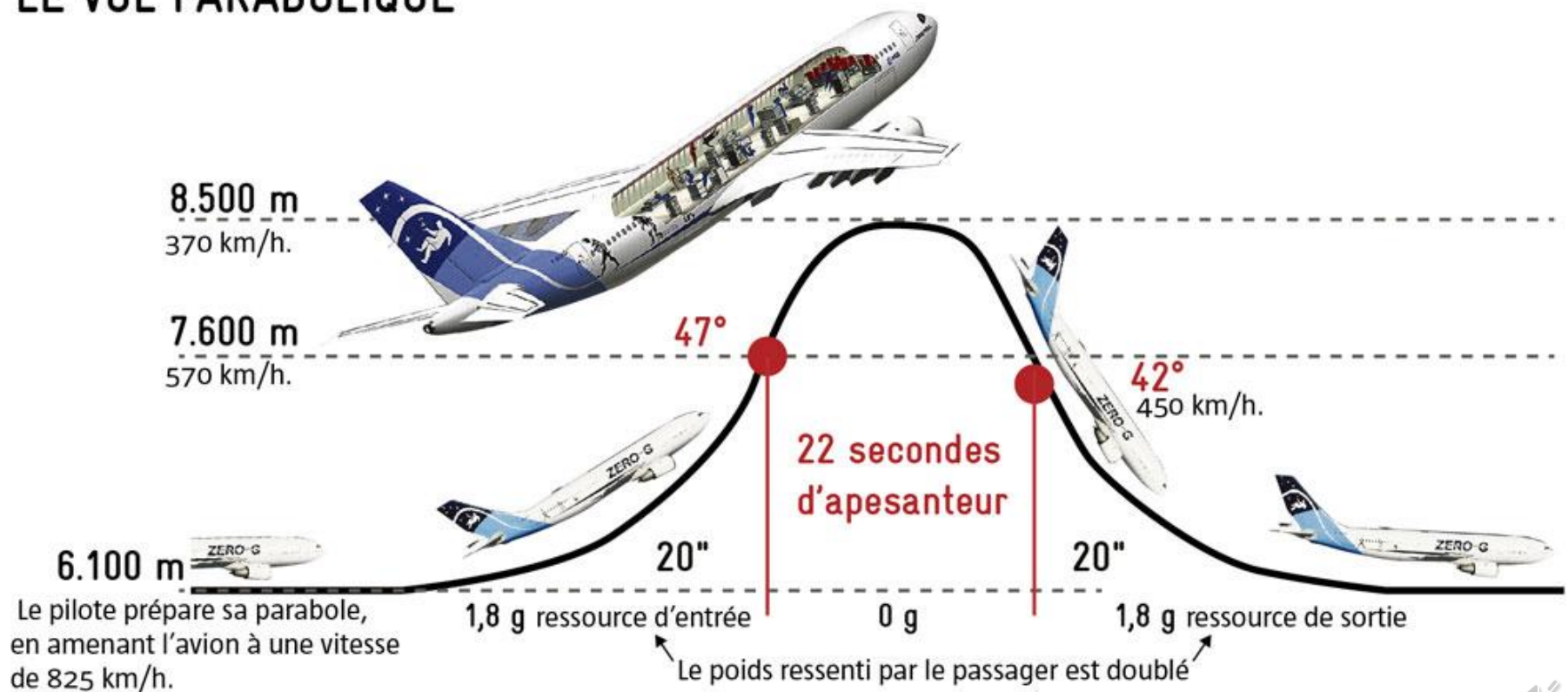


Vol parabolique

- Chez l'homme

LE VOL PARABOLIQUE

Infographie le JDD - Sources : CNES et Novespace



Vol parabolique

- Chez l'homme



Microgravité simulée

- Chez l'homme \Rightarrow « **bed rest** »
- Chez l'animal \Rightarrow **modèles de suspension**
- Ces modèles permettent d'étudier de manière **plus reproductible** les effets de la pesanteur.
- L'observation a été effectuée à différents niveaux
 - activation globale des muscles
 - propriétés contractiles du muscle entier, des UM
 - typologie des fibres
 - expression des myosines,
 - excitabilité membranaire des FMSS.



Microgravité simulée

- **Chez l'homme** ⇒
 - Premières études parcellaires non standardisées (missions Mir, Skylab)
 - Ensuite programmes d'études plus formalisés.
 - Vagues de campagnes successives chez l'homme volontaire jeune et sain
 - Programmes chez la femme
 - WISE (Women International Space Simulation for Exploration en 2005).
 - Coopération entre les différents agences spatiales (NASA, ESA, CSA, CNES)
 - 4 agences, 70 scientifiques, un budget de 3,6 millions € pour 24 femmes (campagnes de 12 volontaires à la fois sur 100 jours)
 - 3 groupes : BR, BR+ exercices, BR+ complémentation nutritionnelle
 - Tests initiaux avant le bed rest pour établir valeurs de base
 - Bed rest de 60 jours
 - Phase de récupération : 20 jours après la fin du Bed Rest
 - Suivi: à moyen terme (45, 60, 90, 180 jours après) puis 1 fois par an



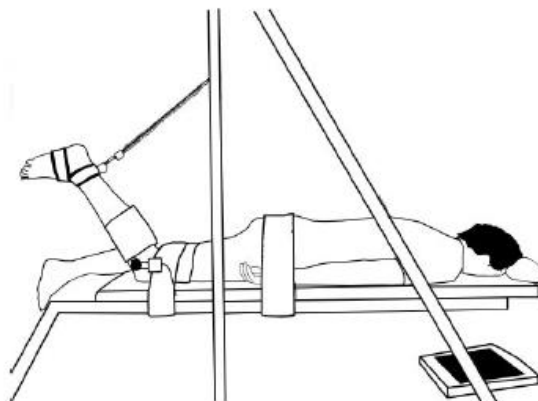
Microgravité simulée

- **Chez l'homme** ⇒
 - Modèle de bed rest (considéré comme le plus proche de la microgravité) : alitement prolongé avec inclinaison de -6° / horizontale
 - Réactions de l'organisme très similaires à celles des astronautes au cours des vols spatiaux de longue durée (troubles circulatoires, perte de masse musculaire, osseuse et de capacité à l'effort)
 - 48 hommes séjour > 6 mois (20 avec séjour > 1 an, un avec séjour > 2 ans)
 - Chez la femme, un plus grand degré d'intolérance orthostatique est observé au retour des missions courtes (15 jours). 20% des spationautes de la NASA sont des femmes



Microgravité simulée

- **Chez l'homme**: étude de Berlin
 - Suivi de 10 hommes soumis à un repos forcé
 - Bed rest de 8 sem, suivi de 6 mois
 - EMG des **muscles lombo-sacrés (posturaux)** par électrodes de surface
 - Comparaison avec l'EMG tonique des muscles lombaires pdt mouvements répétitifs de flexion de jambe sur cuisse (0 à 45°) en conditions quasi-isométriques (avec apnée)



- **Résultats**: Conversion du profil tonique de l'activité EMG de ces muscles vers une activité de type phasique due à l'absence de mise en charge des sujets (et à des modifications de la proprioception non étudiée)

(Belavy et al., 2007)



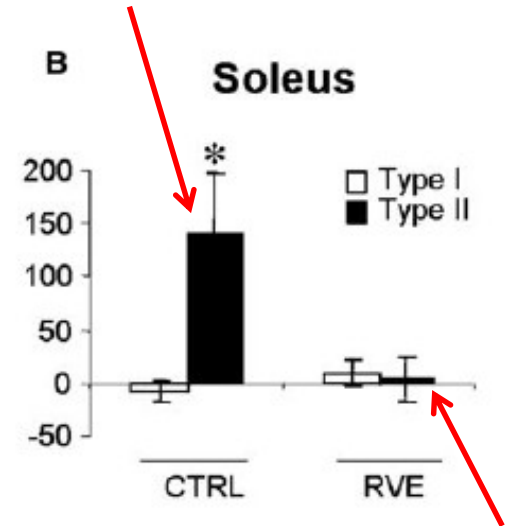
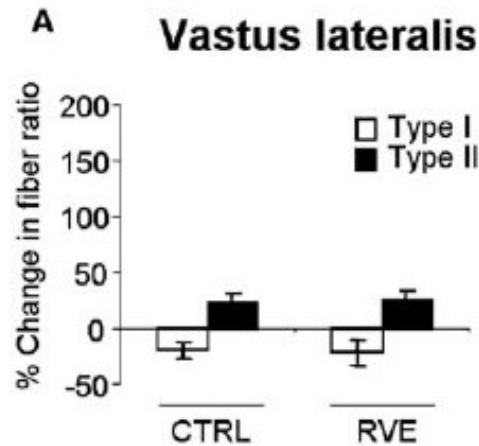
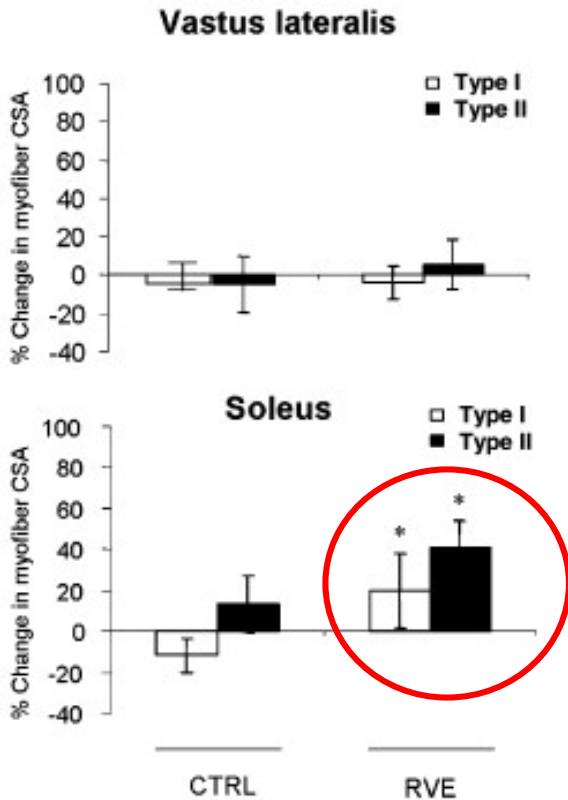
Microgravité simulée

- Chez l'homme:
- **Programmes d'étude de bed rest de Berlin** (collaboration entre centre de médecine spatiale de Berlin et MEDES de Toulouse)
- 1^{er} programme (2003-2005), 2^{ème} programme (2003-2004, publié en 2006) Blottner et al.
- *Objectif : tester mesures de prévention effets néfastes de l'apesanteur des séjours dans l'espace*
- 20 sujets mâles en bed rest de 56 jours
- Effets des exercices vibratoires (2 x 6 min /jour) avec dispositif Galileo utilisable en position allongée
- Biopsies musculaires (SOL, VL) à J2 et à J55 / chaque sujet et mesure force en MVC (flexion plantaire sur plateforme de force)



Microgravité simulée

- Chez l'homme: 2^{ème} programme de Berlin



- Pas de variation significative de la CSA des fibres type I et type II pour le VL

- Pour le SOL (muscle antigravitaire) :

- L'exercice vibratoire en résistance (RVE) permet d'hypertrophier les fibres type II et même les type I
- La RVE permet de maintenir le ratio initial normal I/II % au soléaire des sujets contrôles

Microgravité simulée

- **Chez l'animal : 1^{ère} étude** (*Alford et al., 1987*)
 - 20 rats
 - Chaque animal est son propre contrôle : EMG enregistré durant les 2 jours précédant la suspension
 - Enregistrement de l'EMG des Soleus, gastrocnémien médian, Tibialis anterior (électrodes bipolaires en acier, implantées en chronique) sur 25 min/h/j pdt 1mois
 - Mesure de l'amplitude moyenne EMG

Microgravité simulée

- Résultats

- 1- extinction EMG à la 3^{ème} sec de suspension de **81%** pour soleus, de **54%** pour le MG puis **reprise** de l'EMG
- 2- ↑ activité EMG du TA

Remarques:

- chez le rat en charge (quadrupède):

activité EMG sol = 10× activité EMG du MG et 20× activité EMG du TA

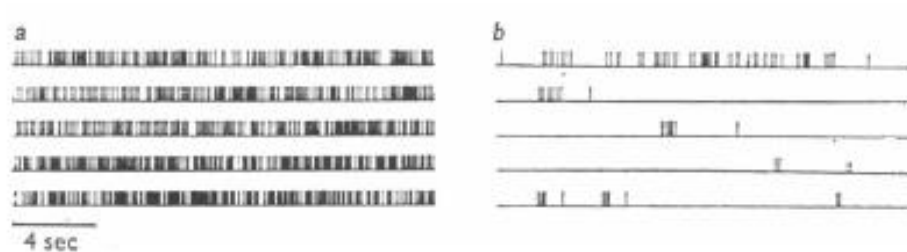
- Phénomènes transitoires pour le Sol et pour le MG car retour au niveau initial à J7

- majoration persistante de l'activité quotidienne du TA probablement due à la position privilégiée de la cheville en extension (position étirée du muscle ⇒ ↑ influx afférents).

Immobilisation de membre

- **Chez l'animal**: plusieurs auteurs ont étudié l'activité EMG lors de l'immobilisation d'une patte entière chez l'animal (par broches de blocage articulaire et/ou par dispositif externe)
⇒ Chute de l'activité EMG spontanée du muscle.

1- Immobilisation combinée genou et cheville et étude de l'EMG des Soleus et Flexor Hallucis Longus



Évolution de la même UM dans le temps: ↓ nombre de spikes de cette UM entre le contrôle à G et au 2^{ème} jour. Le soleus plus affecté que le muscle rapide.

Immobilisation de membre

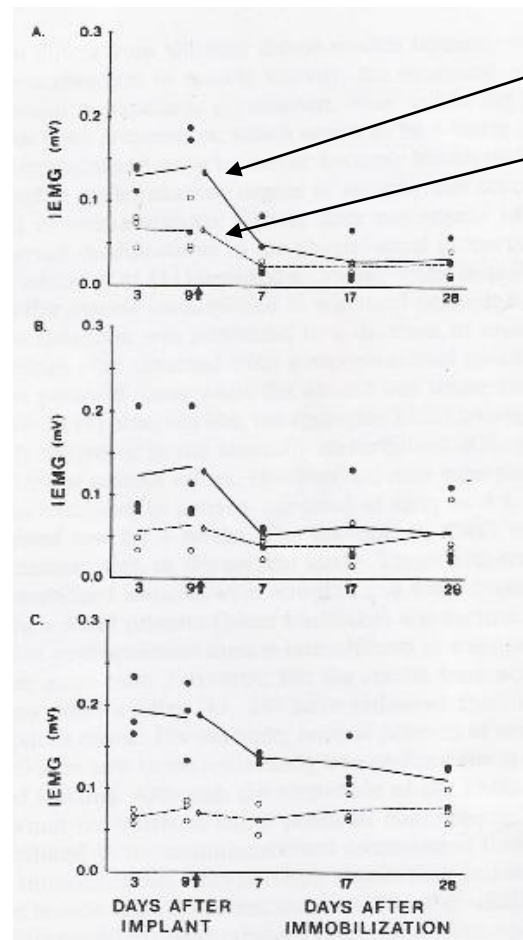
2- immobilisation bilatérale des 2 pattes postérieures chez le rat par broches + plâtre + électrodes implantées

- Dans différentes positions articulations genou et cheville ⇒ muscle en position étirée, neutre ou raccourcie
- EMG enregistré par périodes de 15 min/H/j
- **Chute de 50% de l'EMG intégré versus période pré-fixation du soléaire en position neutre passant à 77% si le soléaire immobilisé en position raccourcie et 25% seulement en position étirée**
- Pas de modif de l'EMG intégré du gastrocnémien médian (MG)

(Fournier et al., 1983)

Immobilisation de membre

2- immobilisation bilatérale des 2 pattes postérieures chez le rat par broches + plâtre + électrodes implantées



SOL

MG

Position courte

-77% pour le soléaire

Position neutre

-50% pour le soléaire

Position étirée

-25% pour le soléaire

Immobilisation de membre

- Propriétés contractiles du muscle entier:
 - à **4 sem**, ↓ ↓ temps de contraction du soleus, ↑ fréquence de fusion téτανique (*Fischbach et al., 1969*).
 - Mêmes conclusions pour *Simard et al., 1982* :
 - ↓ CT, ↓ HRT de la secousse, ↓ force téτανique
- ⇒ Acquisition d'un profil contractile plus rapide du soléaire**

Immobilisation

- **En conclusion: l'immobilisation entraîne**
 1. Une amyotrophie importante
 2. Ce modèle empêche le raccourcissement du muscle \Rightarrow conditions isométriques
 3. Les effets majorés si la longueur à laquelle le muscle est immobilisé est $<$ longueur physiologique de repos
 4. Les effets plus importants sur les muscles à fonction posturale

Augmentation de l'utilisation du muscle

1. *Entraînement en puissance*

1. *Chez l'homme*

2. *Chez l'animal*

2. *Entraînement en endurance*

1. *Chez l'homme*

2. *Chez l'animal*

3. **Surcharge mécanique**

Ablation muscles synergiques

Surcharge mécanique

- **Chez l'animal:** ablation expérimentale des muscles synergiques du muscle étudié.

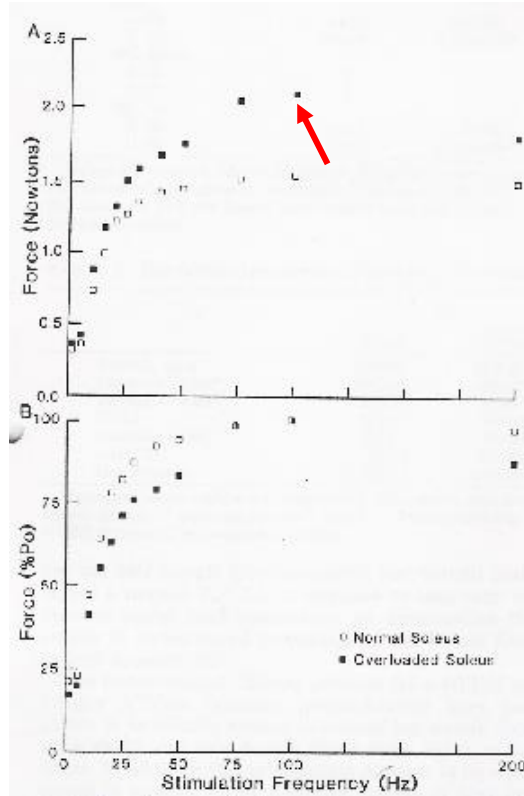
Surcharge mécanique

- Comparaison muscle lent / muscle rapide
 - **Soleus** ou **gastrocnemius medial** mis en situation de surcharge par ablation de leurs synergistes (le reste du triceps sural + plantaire), chez le rat
 - Mesures:
 - après 12-14 semaines
 - Caractéristiques twitch, tétanos sur muscle entier
 - Marquage activité ATPases
 - Résultats:
 - Pas de modification de la vitesse de contraction quel que soit muscle mis en surcharge soleus ou MG
 - **Augmentation force secousse et tétanique pour chacun des muscles en surcharge.**

Surcharge mécanique

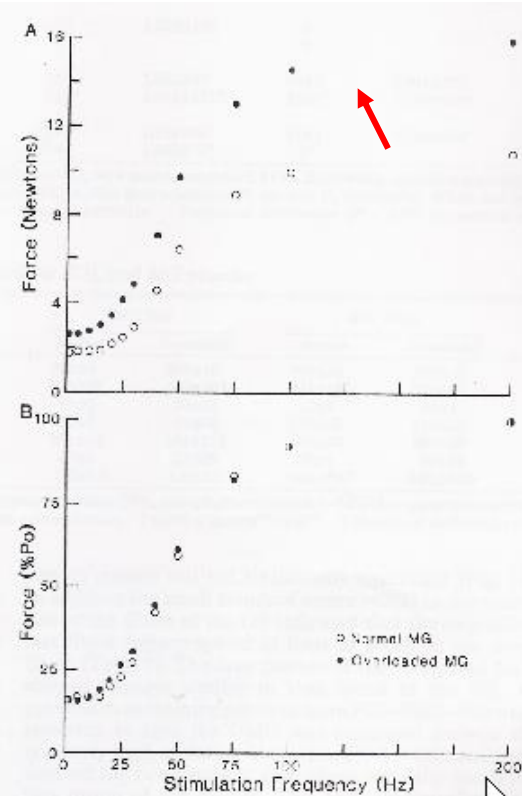
soleus

force absolue



% force max

MG



- ↑ force maximale développée
- ↑ masse muscle en surcharge

Surcharge mécanique

Conclusions générales

Effets de la surcharge fonctionnelle **plus marqués sur les extenseurs rapides de la cheville que sur les fléchisseurs rapides** ⇒ ces extenseurs ont une fonction plus importante au cours de la marche avec maintien du poids de l'animal, propulsion pdt phase d'appui (stance) alors que le rôle des fléchisseurs se limite à relever le pied pdt phase de suspension du pas (swing)

Changement de la fonction mécanique

1. Chez l'animal

lapin: Bach et al. 1948

2. Chez l'homme

Van Heest et al. 2010

Changement de la fonction mécanique

1. Chez l'animal

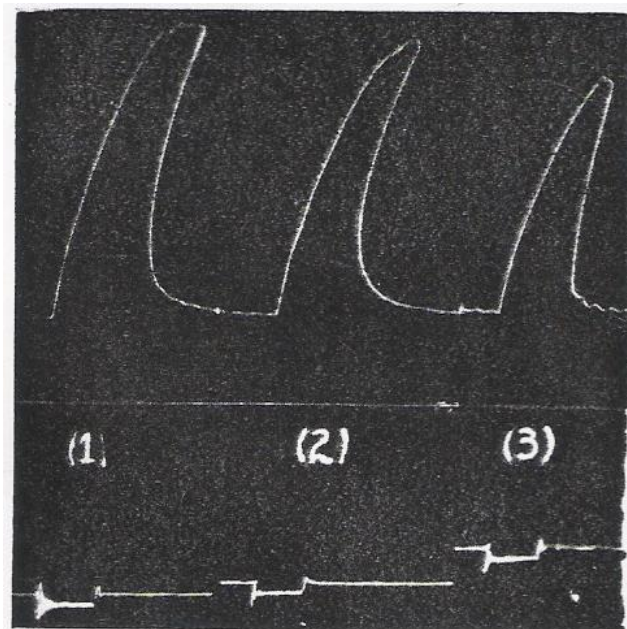
(Bach et al., 1948)

- Lapin
- Tendon distal du soléaire suturé au tendon distal du Tibial postérieur (muscle synergique du Sol)
- Immobilisation plâtrée de **2 sem**
- Euthanasie des animaux à **6 mois**
- Stimulation du nerf sciatique controlatéral \Rightarrow contraction tétanique réflexe du sol Gauche / du sol D transposé / du TP gauche
- Contenu en myoglobine \downarrow dans le sol transposé et = contenu du TP gauche

Changement de la fonction mécanique

1. Chez l'animal

(Bach et al., 1948)



Sol G normal

Sol D transposé

TP G normal

TABLE I.
Comparison of Myohemoglobin and Iron Contents
in Normal Red, Transplanted Red, and Normal
White Muscles.

All muscle weights corrected to 5 g. All values
represent averages in mg per 5 g muscle of the
number of determinations indicated in parentheses.

Muscle	Iron conten	Myohemoglobin content
Tibialis posterior (2)	32.50	10.00
Transplanted soleus (3)	34.00	10.29
Normal soleus (3)	53.49	15.74

⇒ Conversion du muscle rouge vers un muscle pâle par transposition tendineuse.

Changement de la fonction mécanique

- Chez l'homme:

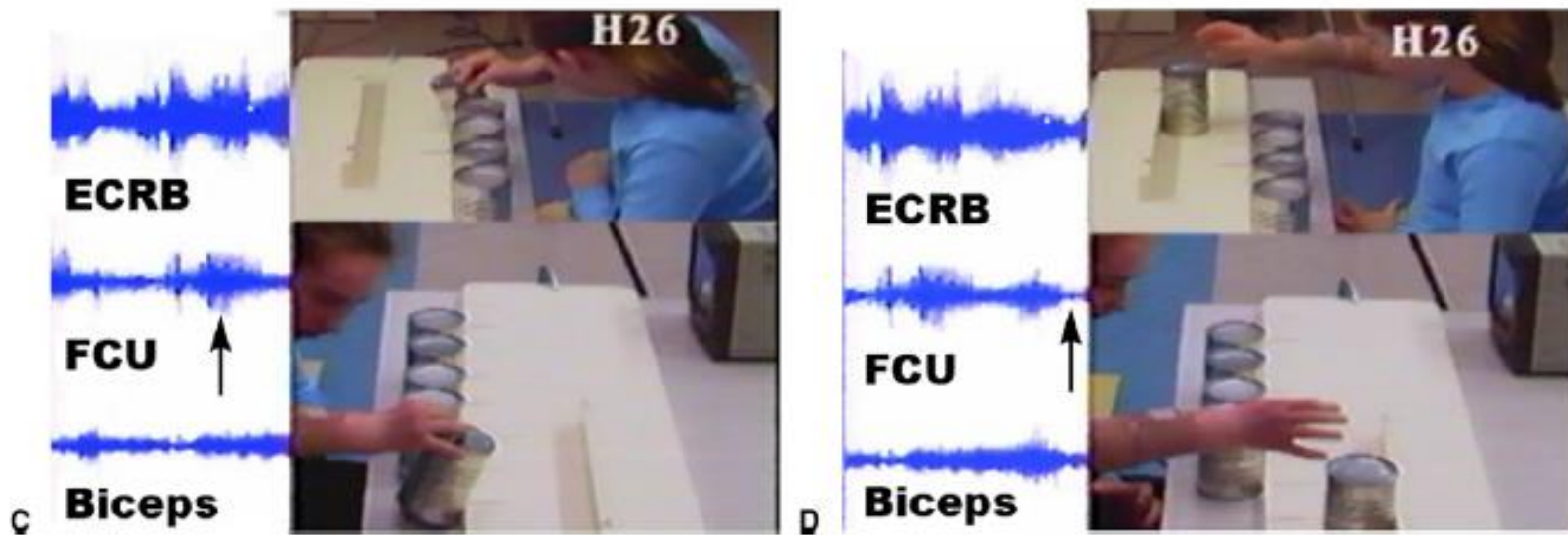
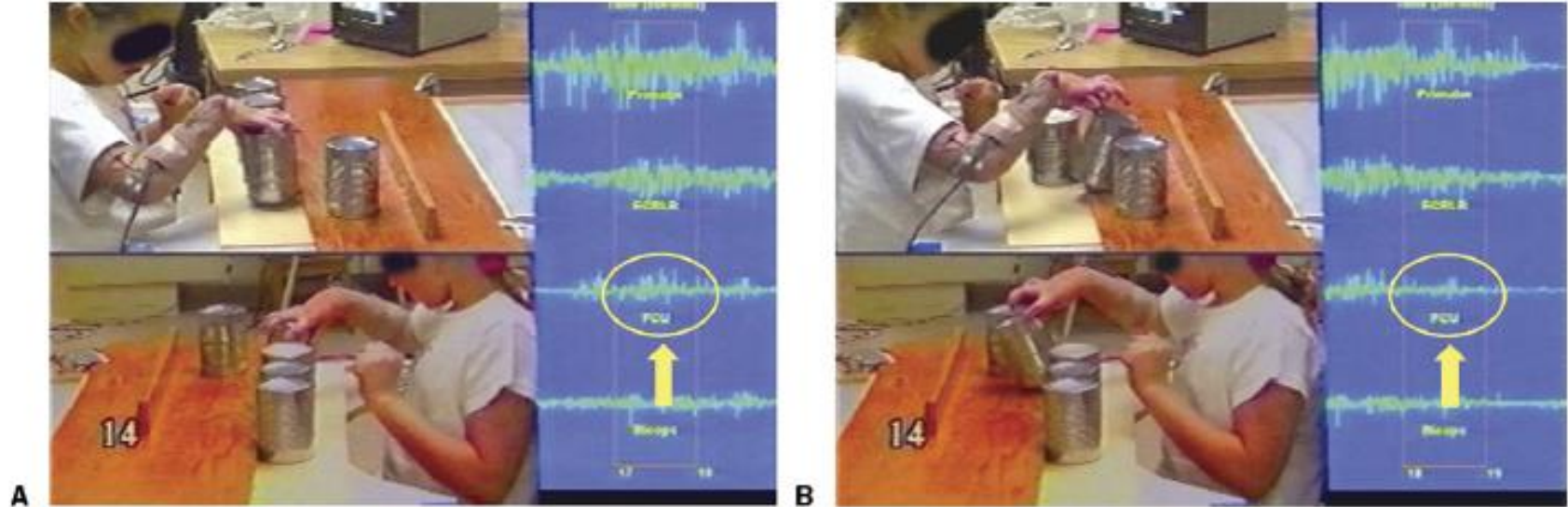
- Au niveau du membre inférieur, transplantation efficace avec rééducation longue
- Mise en œuvre de nouveaux programmes moteurs plus aisée pour les mouvements volontaires / mouvements marche automatique
- Certain degré de plasticité au niveau du membre supérieur :
Avant-bras
 - **Ex : écriture: volontaire, ajustement des programmes donc phénomènes d'apprentissage donc plasticité centrale.**
 - **Transplantation très utilisée: transposition fléchisseurs comme extenseurs du poignet en cas de paralysie Nerf radial**

chez l'homme

- Les transferts tendineux sont proposés
- **pour pallier un déficit nerveux** : suppléance des muscles dont le nerf est altéré ou détruit par des muscles dont l'innervation est intacte
 - Donc le transfert s'effectue entre 2 muscles de **fonction mécanique opposée**
- **pour limiter une déformation articulaire**
- **pour pallier une déficience musculaire**
 - Infirmes moteurs cérébraux (ex.: transfert du FCU Flexor Carpi Ulnaris comme extenseur du carpe).
 - Hypothèse = le FCU change son pattern d'activation après transfert (*étude de Van Heest et al., 2010*)



Etude de Van Heest et al. (2010)-1



Etude de Van Heest et al. (2010)-2

L'activation du FCU est **variable** selon le sujet:

- en préopératoire, la majorité des patients (4/7) activation du FCU pdt le grasp et l'inactivent pdt le relâchement
- en post-opératoire, 6/7 patients activent leur FCU pdt le grasp et l'inactivent pdt le relâchement donc même schéma moteur

schéma moteur

TABLE 2. Comparison of EMG/Video Analysis Preoperatively and Postoperatively

Subject	FCU in Grasp	FCU in Release	Ability to Lift Can	Wrist Position
1				
Preoperatively	Relaxes	Contracts	Unable	Neutral
Postoperatively	Contracts	Contracts	Able	Extension (45°)
2				
Preoperatively	Contracts	Contracts	Unable	Flexion (90°)
Postoperatively	Contracts	Relaxes	Able	Flexion (90°)
3				
Preoperatively	Contracts	Relaxes	Unable	Flexion (45°)
Postoperatively	Contracts	Relaxes	Able	Extension (45°)
4				
Preoperatively	Contracts	Relaxes	Able	Flexion (60°)
Postoperatively	Contracts	Relaxes	Unable	Extension (45°)
5				
Preoperatively	Contracts	Relaxes	Unable	Flexion (90°)
Postoperatively	Contracts	Relaxes	Unable	Neutral
6				
Preoperatively	Contracts	Relaxes	Unable	Flexion (45°)
Postoperatively	Contracts	Relaxes	Unable	Extension (45°)
7				
Preoperatively	Relaxes	Contracts	Able	Flexion (60°)
Postoperatively	Contracts	Relaxes	Able	Flexion (90°)



Etude de Van Heest et al. (2010)-3

L'activation du FCU est **variable** selon le sujet:

- 1 seul patient active son FCU en phase de grasp et aussi en phase de relâchement

TABLE 2. Comparison of EMG/Video Analysis Preoperatively and Postoperatively

Subject	FCU in Grasp	FCU in Release	Ability to Lift Can	Wrist Position
1				
Preoperatively	Relaxes	Contracts	Unable	Neutral
Postoperatively	Contracts	Contracts	Able	Extension (45°)
2				
Preoperatively	Contracts	Contracts	Unable	Flexion (90°)
Postoperatively	Contracts	Relaxes	Able	Flexion (90°)
3				
Preoperatively	Contracts	Relaxes	Unable	Flexion (45°)
Postoperatively	Contracts	Relaxes	Able	Extension (45°)
4				
Preoperatively	Contracts	Relaxes	Able	Flexion (60°)
Postoperatively	Contracts	Relaxes	Unable	Extension (45°)
5				
Preoperatively	Contracts	Relaxes	Unable	Flexion (90°)
Postoperatively	Contracts	Relaxes	Unable	Neutral
6				
Preoperatively	Contracts	Relaxes	Unable	Flexion (45°)
Postoperatively	Contracts	Relaxes	Unable	Extension (45°)
7				
Preoperatively	Relaxes	Contracts	Able	Flexion (60°)
Postoperatively	Contracts	Relaxes	Able	Flexion (90°)

