

Ressources physiques : cours 3 Semestre 1

Les mécanismes de transmission de la force au niveau neuromusculaire

L'objet de ce cours est de bien connaître les structures essentielles à la production et la transmission de la force :

Nous développerons essentiellement les muscles et les tendons, leurs attaches sur le squelette, qui actionnent notre appareil locomoteur ; et plus particulièrement :

le muscle = ELEMENT CENTRAL DE LA STRUCTURE = seul élément sur lequel l'entraînement peut agir directement

C'est l'organe qui produit la force...

1^{ère} partie : comment générer et transmettre de la force ? la contraction musculaire : de la description au fonctionnement...

Description d'un muscle : voir illustration dans document d'accompagnement (schéma 1)

Un muscle est constitué de:

- Fibres musculaires
- d'enveloppes conjonctives qui convergent vers un tendon
- un réseau vasculaire (vaisseaux sanguins)
- d'un réseau de nerfs (ou neurones) : l'innervation motrice et sensitive

Les propriétés d'un muscle :

- Excitabilité : par système nerveux (S_{nx})
- Contractibilité : faculté de se raccourcir suite à excitation en 3 phases = latence, contraction, relâchement (sinon : tétanisation)
- Elasticité : s'allonger et revenir en position initiale
- Tonicité : contraction permanente / posture

Plus précisément, les structures musculaires vont du plus grand au plus petit :

- muscles
- faisceaux de fibres visibles à l'œil nu
- fibres musculaires
(correspond à une cellule sur le plan physiologique = myocyte) Niveau microscopique
- et les myofibrilles (qui correspondent à des molécules)

Au niveau de la fibre musculaire, deux structures essentielles :

- le sarcolemme (enveloppe) qui est pourvu d'une plaque motrice : c'est le lieu où se déclenche la contraction, résultat d'une combinaison d'un processus nerveux et chimique (schéma 2)
- au niveau du sarcoplasme (qui est le contenu de la cellule, les composants de la fibre musculaire) :

Le réservoir des substances énergétiques (myoglobine avec l'oxygène, le glycogène, les graisses...voir mécanismes des filières énergétiques)

Et les myofibrilles = formations cellulaires qui permettent aux fibres de générer de la force

Les myofibrilles sont donc l'échelon essentiel de la contraction : voir schéma 3

Description : alternance de bandes sombres et claires (aspect strié)

Explication : la myofibrille est constituée d'unités élémentaires identiques placées en série sur toute la longueur = sarcomères

Définition sarcomère : unité contractile de la fibre musculaire

La contraction résulte du glissement des filaments fins d'actine sur les filaments épais de myosine au sein de cette structure, ceci grâce à l'action de molécules (l'ATP notamment)

Synthèse :

La contraction musculaire en régime concentrique est le résultat :

- d'une commande nerveuse par motoneurone alpha qui émet un potentiel d'action
- Puis résulte d'un processus mécanique = glissement des filaments d'actine sur myosine (Energie = ATP)
- combinaison d'un phénomène nerveux et chimique

2^{ème} partie : facteurs structurels conditionnant la contraction musculaire

L'objet de cette partie du cours est de passer en revue les différents éléments sur lesquels on peut agir pour développer la force, en lien avec la vitesse (fil rouge de notre réflexion) essentiellement... Autrement, les phénomènes adaptatifs qui sont provoqués par la musculation. On peut provoquer des changements au niveau de :

- type de fibres
- longueur des fibres
- disposition des fibres
- surface de section
- les forces élastiques
- la viscosité

1- Les types de fibres :

Un muscle est constitué de trois types de fibres ayant des caractéristiques différentes :

- Rapides (IIb)
- Intermédiaires (IIa)
- Lentes (I)

Caractéristiques :

Fibres lentes : I

Peu fatigables, très vascularisées (apport sanguin important avec la myoglobine transportant l'oxygène)

Effort longue durée

Permettant contraction longtemps

Échappant au contrôle de la volonté (ex : marche, action du quotidien...)

Fibres rapides :

Riches en réserve d'énergie (Glycogène et présence d'activité ATPphasique 5 à 7 fois plus élevée)

Peuvent se contracter rapidement (Vitesse de raccourcissement dix fois supérieure chez fibres rapides) et vitesse de conduction plus rapides (80-90 m/s) / fibres lentes (60-70 m/s) au niveau des motoneurones

Fibres rapides plus fortes (diamètre 30 à 40% plus important)

Placée sous le contrôle de la volonté (sprint, soulever charge lourde...)

D'où importance motivation

Conclusion sur comparaison fibres rapides et lentes :

Fibres rapides = plus de force et de rapidité...

Remarque : c'est le résultat logique de l'adaptation. Notre organisme possède des muscles plutôt doté en fibres lentes, exemple les mollets qui servent à maintenir en permanence la station debout...et d'autres plutôt dotés en fibres rapides (quadriceps, fessiers...) pour pouvoir courir vite, échapper à un danger...

Les fibres intermédiaires ont des caractéristiques moyennes situées entre celles des fibres lentes et rapides...

Caractéristique	Type I (Lente)	Type <u>IIa</u> (Rapide)	Type <u>IIb</u> (Rapide)
Forme de la fibre	Longue	Intermédiaire	Courte
Diamètre de la fibre	petit	Moyen	Gros
Force et vitesse de contraction	Lente (100 millisecondes)	Rapide (50 millisecondes)	Très rapide (25 millisecondes)
Résistance à la fatigue	Élevée	Moyen	Faible
Teneur en myoglobine	Élevée	Moyen	Faible
Teneur en glycogène	Faible	Moyen	Élevée

2- La longueur des fibres :

La force générée par un sarcomère dépend du nombre de ponts actine/myosine et cela est fonction de :

- la longueur du sarcomère (voir courbe force / longueur) : la force est maxi pour la longueur de repos
- des composants chimiques (Calcium...)

La fibre adapte sa longueur en modifiant le nombre de ses sarcomères en série (La force, p51) = adaptation pour préserver longueur optimale

Le nombre de sarcomères en série peut être augmenté par l'entraînement en travaillant en amplitude et en excentrique...

3- La disposition des fibres :

Fusifforme = fibres parallèles à la ligne de traction (se raccourcissent plus vite)

Penniforme = fibres orientées obliquement (plus de force potentielle)

4 - La surface de section : autrement dit, le diamètre d'un muscle

La tension maximale développée par une fibre est liée au nombre de myofibrilles par unité de section

Les fibres rapides sont plus fortes par rapport aux lentes du fait d'un diamètre plus important. A égalité de surface de section, elles restent plus fortes (densité myofibrillaire plus importante)

5 - Les forces élastiques :

Un muscle est composé de constituants élastiques (voir modèle de Hill dans cours sur régime excentrique)

Les forces élastiques sont conservatrices : l'énergie potentielle emmagasinée peut-être restituée et récupérée... (aspect développé dans cours sur régimes EXC et PLIO)

6 – La viscosité :

Correspond à la façon dont se comporte l'inertie de la matière du muscle, sa malléabilité (comme un chewing-gum). A pour origine les frictions qui se produisent entre les différents composants du muscle

Les forces visqueuses transforment l'énergie mécanique en chaleur. A l'inverse, plus le muscle est chaud et plus le muscle est souple, malléable...c'est l'intérêt de l'échauffement.

3^{ème} partie : les structures nerveuses de la commande de la force, de la contraction musculaire, notions d'Unité Motrice et motoneurone Alpha

Le système nerveux (SNx) fait le lien entre la perception et l'action motrice (Danion / Marin) : en fonction de ce que nous percevons, notre corps « commande » une réponse motrice. Parfois de façon réflexe : par exemple, retirer notre main d'une source chaude...Parfois de façon volontaire (ordre du cerveau) : s'arrêter si l'on perçoit un obstacle...

Dans tous les cas, la structure responsable de la commande de la contraction musculaire est une unité motrice (UM)

UM = Notion Essentielle car définit l'unité minimale de recrutement d'un muscle

Def : Unité motrice = ensemble constitué par un motoneurone alpha, son axone et les fibres musculaires qu'il innerve constitue une *unité motrice*.

Les fibres musculaires appartiennent à des entités appelées UMs qui assurent la liaison entre le SNx et musculaire. L'unité motrice est le plus petit élément contractile que le système nerveux peut mettre en jeu.

Motoneurone alpha : nerf moteur qui assure la commande motrice, la contraction du muscle.

Remarques sur la constitution des UMs :

- Les fibres musculaires innervées par un même motoneurone sont toutes du même type. On peut ainsi parler d'unités motrices de type I et d'unités motrices de type II, qui diffèrent par leurs propriétés structurales et fonctionnelles.

Les UMs se différencient ainsi par leur taille :

Les UMs de type lentes sont de petites tailles (faible diamètre)

Les UMs de type rapides sont de grandes tailles (diamètre important)

- Une Unité Motrice (UM) fonctionne avec la loi du « tout ou rien » = toutes les fibres de l'UM sont activées en même temps ou aucune...

Comment le muscle peut-il alors graduer, doser la force déployée? Que se passe-t-il lorsqu'un muscle doit produire une force qui augmente ?

Le SNx recrutera un nombre plus ou moins élevé d'UM par deux stratégies :

Recrutement spatial

Recrutement temporel

1- recrutement spatial : c'est la loi de Henneman

Les UM recrutées dans l'espace selon la taille : en premier sont recrutées les UM de petites tailles (les lentes)...les UM rapides sont recrutées en dernier si la force exigée augmente.

Autrement dit, c'est plus difficile de recruter les UM rapides : il faut une « commande » plus importante (c'est logique, le corps répond de façon proportionnelle et économise ses forces...)

2- recrutement temporel : par la fréquence de stimulation des influx nerveux

Pour une action de faible intensité, la fréquence des influx nerveux est faible...si l'action requiert plus de force : la fréquence augmente.

D'où importance de la volonté, de la concentration au moment de soulever une charge lourde (mobiliser le SNx). On peut exploiter également les réflexes (sera développé dans les régimes excentriques et pliométrie).

Conclusions :

Les déterminants de la production de la force sur le plan musculaire sont :

- longueur à laquelle se trouve le sarcomère (la qualité des ponts actine / myosine)
- quantité et qualité des substrats énergétiques (ATP, Ca⁺⁺)
- nombre de sarcomères en parallèle (lié à section du muscle et nombre de Fibres rapides)
- les types de fibres recrutées
- l'élasticité et la viscosité
- la commande motrice...

Ceux-ci ont des conséquences sur la vitesse, exemple, le type de fibres (lentes ou rapides) qui sera mobilisé.

A l'inverse, un exercice de musculation aura des effets adaptatifs particuliers : utilisation de charges lourdes ou légères... Il faut être cohérent sur les choix effectués en terme de méthodes de musculation pour en cerner les effets.

Et pour continuer la réflexion, l'approfondir, il faut connaître les effets adaptatifs que provoque l'utilisation de chaque régime musculaire.

Annexes :

Définition termes clés :

Motoneurone : nerf moteur qui assure la commande motrice, la contraction du muscle.

« Les motoneurones alpha sont localisés dans la corne antérieure grise de la moelle épinière (musculature du tronc et des membres) ou dans les noyaux moteurs des nerfs crâniens du tronc cérébral (musculature du cou et de la tête). Leurs axones moteurs myélinisés quittent la moelle épinière par la racine ventrale. Avant de quitter la moelle, ces axones se ramifient et donnent une collatérale, qui retourne dans la substance grise pour établir des contacts synaptiques excitateurs avec un interneurone inhibiteur: **la cellule de Renshaw** (inhibition récurrente des motoneurones). Cette cellule rend, temporairement, les motoneurones inexcitables et limite ainsi la fréquence maximale de leur décharge. Les différents arcs réflexes comme les contrôles moteurs descendants intervenant dans le contrôle des actes moteurs (cf. Contrôle du mouvement) s'expriment, de fait, par **une seule voie finale commune : les motoneurones** (Sherrington, 1906) »

Myofibrilles : Les myofibrilles sont des cylindres parallèles allongés dans le sens de la cellule musculaire (myocyte), faits de la succession régulière, bout à bout, de petits cylindres identiques appelés sarcomères.

Sarcolemme : Membrane plastique des fibres musculaires striées, qui entoure le sarcoplasme et qui assure la diffusion des influx nerveux.

Sarcoplasme : Le sarcoplasme est un fluide qui entoure les myofibrilles et constitue le cytoplasme d'une fibre musculaire striée. Les sarcoplasmes contiennent plusieurs milliers de mitochondries (dites producteurs d'énergie), qui génèrent une grande quantité d'ATP. (cytoplasme = contenu d'une cellule)

Sarcomère : unité contractile de la fibre musculaire ; chaque sarcomère est fait d'un faisceau de myofilaments parallèles à son grand axe (filaments fins d'actine et filaments épais de myosine)

Vidéos à consulter :

Anatomie 3 D : le muscle squelettique, organisation et architecture

<https://www.youtube.com/watch?v=c6PbymeF98c>

Anatomie 3 D : contraction musculaire concentrique excentrique isométrique (explique bien comment fonctionnent les ponts actine / myosine)

<https://www.youtube.com/watch?v=x2CTIZImmSY>