Etude d'un effecteur moteur : Le muscle strié squelettique

I – Les propriétés du muscle

Lorsqu'on applique un excitant sur un muscle vivant, il se raccourcit et se gonfle. On dit que le muscle se contracte. Le muscle est donc contractile.
Puisque le muscle réagit à certains facteurs extérieurs (excitants), on dit qu'il est excitable : c'est l'excitabilité.
Quand on tire modérément sur un muscle. Il s'allonge et reprend sa longueur initiale lorsqu'on cesse de titrer ; le muscle est donc élastique. C'est l'élasticité.
Le muscle est excitable, contractile, élastique

II – Les manifestations mécaniques de la contraction musculaire

A- Description du dispositif expérimental : Le myographe

Pour étudier les aspects mécaniques de la contraction musculaire, on utilise un dispositif expérimental appelé myographe. Il comprend :

- Un générateur qui délivre un courant aux bornes d'un excitateur ;
- Un interrupteur qui permet de permet et d'ouvrir le circuit à une cadence plus ou moins rapide ;
- Un excitateur en relation avec le nerf ou le muscle ; Un levier signal qui inscrit les fermetures et ouvertures du circuit ; Un levier portant un stylet inscripteur relié au muscle ; Un chronographe enregistre les durées.

Le levier signal, le stylet inscripteur et le chronographe, inscrivent leur déplacement sur une feuille de papier enduite de noir de fumée et enroulé »e autour d'un cylindre, animé d'un mouvement de rotation uniforme
Toute contraction du muscle est communiquée au stylet inscripteur qui l'inscrit sur le cylindre enregistreur. On obtient sur le papier une courbe appelée myogramme isométrique.

Fomesoutra.com
ça soutra !
Docs à portée de main

B- Les différents myogrammes

1-La réponse du muscle à une seule excitation

Si on applique une excitation unique mais efficace sur le muscle excité par l'intermédiaire de son nerf, répond par une contraction brève isolée appelée secousse musculaire élémentaire.
L'examen du myogramme qu'on peut le décomposer en 3 parties :
-Partie AB : correspond au temps de latence ou temps perdu. C'est le temps compris entre le moment de l'excitation (A) et le début de la réponse du muscle(B) Ce tempos perdu représente le temps mis par l'influx nerveux se transmettre du nerf au muscle.
- Partie BC : C'est la phase de contraction au cours de laquelle le muscle se raccourcit.

-Partie CD : C'est la phase de relâchement pendant laquelle le muscle reprend ses dimensions initiales

2- La réponse du muscle à deux excitations successives

Si le muscle subit 2 excitations successives, la réponse est différente selon le moment où intervient la 2è excitation mais également en fonction de l'intensité utilisée

1è cas : on utilise une intensité liminaire

- si la 2è excitation arrive pendant la période de relâchement de la 1è excitation la 2è réponse se superpose à la 1è sans confusion des 2 réponses avec une amplitude plus forte que la 1è : on parle de fusion incomplète

L'augmentation de l'amplitude est due au fait que la 2é réponse ajoute ses effets à la 1è. C'est le phénomène de sommation

- Par contre, si la 2è excitation intervient au cours de la phase de contraction de la 1è, il y a superposition et prolongement des 2 réponses. On a alors une amplitude supérieure à celle de la réponse élémentaire. On parle de fusion complète

2è cas : On utilise 2 excitations d'intensité maximum

La superposition des 2 réponses ne donne pas une réponse d'amplitude supérieure mais il peut y avoir un plateau au sommet de la courbe (tétanos)

3- La réponse du muscle à plusieurs excitations successives

a- Tétanos imparfait

On soumet le muscle à une série d'excitations espacées telle que l'excitation suivante vient pendant la phase de relâchement de l'excitation précédente, on constat que le tracé prend une allure en escalier. Le myogramme obtenu est qualifié de tétanos imparfait.

L'allure en escalier est due à une fusion incomplète des réponses successives.

b- Tétanos parfait

Si les excitations sont très rapprochées telles que l'excitation suivante arrive à la phase de contraction de l'excitation précédente, le muscle se contracte régulièrement jusqu' à un maximum.

Le tracé obtenu est un plateau à allure rectiligne : on parle de tétanos parfait

L'allure rectiligne et due à la fusion complète des réponses successives.

4- La courbe de fatigue

Après plusieurs réponses successives, si on soumet le muscle à une excitation isolée, on constate que la durée des différentes phases s'accroît et que l'amplitude du myogramme diminue. Cela montre que le muscle est fatigué. Le myogramme obtenu est dit courbe de fatigue

N.B - la fibre musculaire tout comme la fibre nerveuse répond à la loi du tout ou rien

- Quant au muscle entier, il répond au phénomène de seuil et sommation

III- Les manifestations électriques de la contraction musculaire

Pour enregistrer les phénomènes électriques de la contraction, on utilise un oscillographe.

- Sur un muscle gastrocnémien frais, on place une électrode à la surface du muscle et on enfonce une microélectrode à l'intérieur.

Fomesoutra.com
ça soutra !
Docs à portée de main

On observe qu'il y a déviation du spot. Ce qui indique l'existence d'une différence de potentiel entre l'intérieur chargé négativement et l'extérieur du muscle chargé positivement. C'est le potentiel de repos de – 90 mV

- Si on applique une excitation efficace au muscle, on enregistre 2 courbes :

Une courbe représentant le potentiel d'action musculaire ou électromyogramme
Une courbe représentant le myogramme (secousse musculaire)
On constate que le P.A musculaire se déroule entièrement pendant le temps de latence du myogramme. Ainsi les phénomènes électriques précèdent les phénomènes mécaniques

IV- Les manifestations thermiques de la contraction musculaire

Lors de l'effort musculaire, la température du corps augmente. La contraction musculaire s'accompagne donc d'une production de chaleur qui peut être étudiée au moyen d'aiguilles thermoélectriques formées de deux métaux différents (cuivre- nickel, or-nickel) soudés bout à bout.
Une des aiguilles est introduite dans le muscle et l'autre maintenue à une température constante dans une solution de référence.
La différence de température entre les 2 aiguilles se traduit par la production de courant électrique dont l'intensité est proportionnelle à la température du muscle
Le dégagement de chaleur au cours de la contraction se fait en 2 temps :

- *Une chaleur initiale (0,3 s)* : Elle est contemporaine de la contraction qui correspond à l'utilisation des composés phosphatés par la fibre musculaire. Elle se repartit en chaleur d'activation (pendant la phase de contraction) et en chaleur de soutien (pendant la phase de relâchement)
- *Une chaleur retardée* (1 à 2 mn) : Elle est libérée plusieurs mn après la fin de la contraction qui correspond à la reconstitution des composés phosphatés utilisés au cours de la contraction

N.B. Si on prive le muscle d'oxygène, on constate la disparition quasi-totale de la chaleur retardée

Fomesoutra.com
ça soutra !
Docs à portée de main

V- Les manifestations chimiques de la contraction musculaire

Les techniques histochimiques ont montré qu'au cours du travail musculaire (contraction) :

- Les besoins en oxygène et en glucose croissent c. à. d. qu'il y a augmentation de la consommation d'oxygène et du glucose
- Il y a une diminution du stock du glycogène (forme de réserve du glucose)
- En milieu anaérobie (milieu dépourvu d'oxygène) ou lorsque le muscle est trop sollicité (cas des tétanos), il y a accumulation d'acide lactique. Celui-ci gène le muscle dans sa contraction. On dit que le muscle se fatigue
- L'ATP est utilisée et consommée par suite de son hydrolyse selon la réaction suivante :
  ATP $\longrightarrow$ ADP + P_i +E .L'énergie libérée est utilisée par la fibre musculaire pour sa contraction

Fomesoutra.com
ça soutra
Docs à portée de main

NB Utilisée lors de la contraction musculaire le taux d'ATP musculaire demeure constant. Il doit donc exister des voies de régénération de l'ATP musculaire.

VI- Les voies métaboliques intervenant dans la restauration de l'ATP musculaire

Il existe 4 voies de restauration de l'ATP : 2 voies rapides et 2voies lentes

A- Les voies rapides de régénération de l'ATP

- 1ère voie : voie de la myokinase

2 molécules d'ADP (adénosine di phosphate) en présence de la myokinase (enzyme propre aux cellules musculaires) peuvent redonner une molécule d'ATP avec libération d'AMP

$$ADP + ADP \xrightarrow[\text{Myokinase}]{} ATP + AMP$$

- 2è voie : voie de la phosphocréatine

Il existe dans le cytoplasme de la fibre musculaire un autre composé phosphoré. C'est l'acide créatine phosphorique ou phosphagène ou phosphocréatine en présence duquel 1 molécule d'ADP redonne 1 molécule d'ATP

$$\text{Phosphocréatine} + ADP \xrightarrow[\text{Enzyme}]{} ATP + \text{créatine}$$

B- Les voies lentes de régénération de l'A TP musculaire

Lors de la contraction, le glycogène se dégrade pour donner du glucose : c'est la glycogénolyse. Le glucose se dégrade à son tour pour donner de l'acide pyruvique : c'est la glycolyse

Les voies lentes ont pour point commun la glycolyse. Il s'agit de la fermentation et de la respiration

Fomesoutra.com
ça soutra
Docs à portée de main

- 3è voie : voie de la fermentation

En l'absence d'oxygène, l'acide pyruvique est réduit en acide lactique. La production d'ATP est plus faible. De plus l'accumulation d'acide lactique gène le muscle dans sa contraction ; on dit qu'il se fatigue

$$\text{Glycogène} \xrightarrow{\text{Glycogénolyse}} \text{glucose} \xrightarrow{\text{Glycolyse}} \text{acide pyruvique } (-0_2) \longrightarrow \text{Acide lactique} + CO_2 + ATP$$

- 4è voie : voie de la respiration

En présence d'oxygène l'acide pyruvique dans le cytoplasme est oxydé au niveau des mitochondries en CO_2+H_2O+E. L'énergie libérée par ces dégradations moléculaires sert à la reconstitution de l'ATP et du phosphagène.

$$\text{Glucose (sanguin)} \xrightarrow{\text{Glycolyse}} \text{Acide pyruvique} + O_2 \longrightarrow CO_2+H_2O+ATP$$

C- Localisation de l'oxydation respiratoire

On appelle oxydation respiratoire un ensemble de réactions qui se déroulent dans les mitochondries à partir de l'acide pyruvique, en présence d'oxygène, et ayant pour conséquence la phosphorylation de l'ADP en ATP (4è voie)

$$ADP + P_i + E \longrightarrow ATP$$

Le fonctionnement des mitochondries nécessite de l'oxygène. Cela assure la phosphorylation de l'ADP en ATP. La mitochondrie produit de l'énergie sous forme d'ATP. C'est la centrale énergétique de la cellule.

Fomesoutra.com
ça soutra !
Docs à portée de main

VII- La contraction musculaire

A- Structure et ultra structure du muscle

1- Structure du muscle.

Une coupe transversale du muscle montre que le muscle est un ensemble de fibres musculaires groupées en faisceaux eux même réunis en champ musculaire
Chaque muscle est une cellule géante contenant un grand nombre de noyaux

2- Ultra structure de la fibre musculaire

La fibre musculaire comprend :

- Une membrane cytoplasmique très fine appelée sarcolemme
- Un cytoplasme appelé sarcoplasme coloré en rouge par la myoglobine. Il est riche en mitochondries et referme plusieurs noyaux.
- Des faisceaux de fibrilles musculaires ou myofibrilles. Chaque myofibrille est formée d'unités successives appelées sarcomères limitées à leurs extrémités par une ligne sombre appelée strie Z.

Entre 2 stries Z se trouve :

- Une bande sombre ou bande A qui présente dans sa région centrale une zone claire ou zone H.
- 2 bandes claires ou bandes I situées de part et d'autre de la bande A

L'observation en microscopie électronique montre que la myofibrille renferme 2 sortes de filaments de nature protéique. Ce sont les myofilaments ;

- Les myofilaments épais ou myosine
- Les myofilaments fins ou actine

N.B Les bandes claires sont constituées uniquement de filaments d'actine tandis que les bandes sombres contiennent à la fois des filaments d'actine et des filaments de myosine.

B- Mécanisme de la contraction musculaire

La contraction de la fibre musculaire se 'effectue en 3 phases.

1- La phase d'attachement

Au repos les filaments d'actine possèdent des sites d'attachement qui sont masqués.
Lorsque la fibre musculaire reçoit le potentiel d'action (influx), le réticulum endoplasmique lisse qui entoure les myofibrilles, libère les ions Ca^{2+} qui viennent démasquer les sites d'attachement d'actine. Chaque tête de myosine vient s'attacher au site d'attachement d'une molécule d'actine. Il se forme un complexe acto- myosine qui a une activité ATPasique : C'est la phase d'attachement

2- La phase de pivotement ou de glissement

Les têtes de myosine pivotent vers le centre du sarcomère grâce à l'énergie libérée fournie au cours de l'hydrolyse de l'ATP présent sur les têts de myosine. Cela entraîne le glissement des myofilaments fins le long des myofilaments épais.. La zone H disparaît, la

bande I se rétrécit, ce qui entraîne une diminution de la longueur du sarcomère et donc le raccourcissement de la fibre musculaire.

Fomesoutra.com
ça soutra
Docs à portée de main

3- La phase de détachement ou de relaxation

Le réticulum lisse repompe les ions Ca^{2+} tandis que les filaments d'actine se détachent des filaments de myosine (sous l'effet de la contraction des fibres antagonistes). Il y a fixation d'une nouvelle molécule d'ATP sur la tête de myosine.