

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE CONSTANTINE 3
FACULTE DE MEDECINE DE CONSTANTINE
DEPARTEMENT DE MEDECINE DENTAIRE

PHYSIOLOGIE DU MUSCLE

Année universitaire : 2023 – 2024

Dr MARTANI MEHDI

I- Introduction

- Le tissu musculaire représente presque 40% du poids corporel chez l'homme.

- La principale caractéristique du tissu musculaire, du point de vue fonctionnel, est son aptitude à transformer une énergie chimique (sous forme d'ATP) en énergie mécanique (contraction).

-La fonction du tissu musculaire est de produire une contraction. Cette contraction est le résultat de la mise en jeu d'un mécanisme contractile suite à une excitation provenant du système nerveux central et grâce à un système d'apport énergétique.

II- Caractéristiques générales

a- Types de muscles

Il existe trois types de muscles : squelettique, lisse et cardiaque

Ces trois types diffèrent par : la structure de leurs cellules, leurs situations dans le corps, leurs fonctions et par le mode de déclenchement de leur contraction.

b- Fonctions des muscles :

- Production des mouvements :
- Maintien de la posture
- Stabilisation des articulations
- Dégagement de la chaleur

c- Caractéristiques fonctionnelles des muscles

- L'excitabilité
- La contractilité
- L'extensibilité
- L'élasticité

III- Muscle Squelettique

A- Anatomie Macroscopique

Le muscle squelettique est un organe bien délimité, il renferme des fibres musculaires, des vaisseaux sanguins et des fibres nerveuses.

A-1- Innervation et vascularisation

-Chaque fibre musculaire est dotée d'une terminaison nerveuse qui régit son activité. -Chaque muscle est desservi par une artère et une ou plusieurs veines.

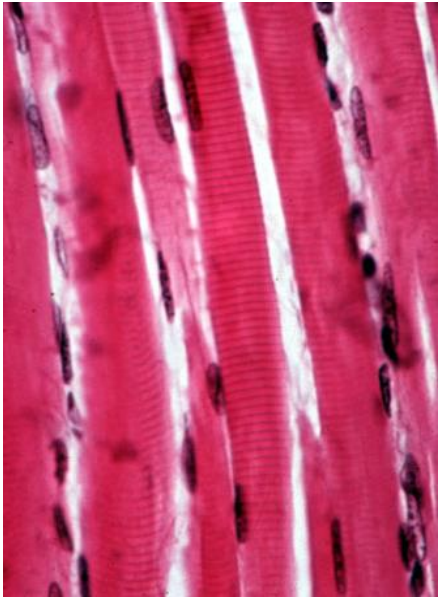
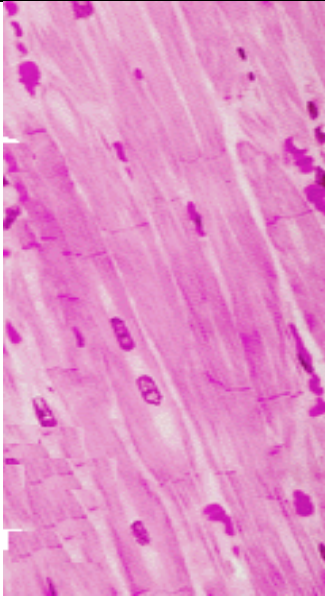
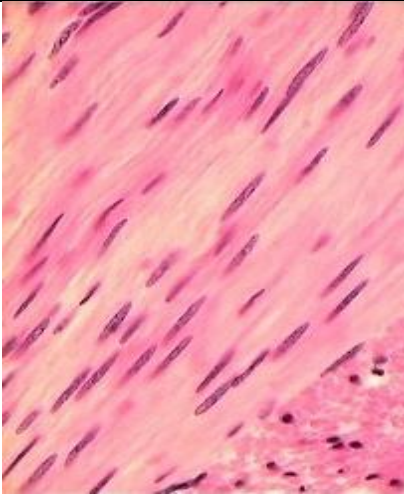
	Muscle squelettique	Muscle cardiaque	Muscle lisse
Localisation	Recouvre le Squelette osseux et s'y attache	Coeur	Dans les parois des organes viscéraux (estomac, vessie, utérus) , les voies respiratoires et les vaisseaux sanguins
Volontaire ou involontaire ?	Volontaire	Involontaire	Involontaire
Apparence			
Strié	Oui	Oui	Non
Contraction	Peut se contracter rapidement mais se fatigue facilement	Se contracte à un rythme relativement constant	Contractions lentes et continues (ne se fatigue pas)

Tableau : Différences entre les trois types de tissu musculaire

A-2- Enveloppes de tissu conjonctif :

- Chaque fibre musculaire se trouve à l'intérieur d'une fine gaine de tissu conjonctif appelée **endomysium**. Plusieurs fibres et leur endomysium sont placées cotes à cotes et forment un ensemble nommé **faisceau**.

- Chaque faisceau est à son tour délimité par une gaine plus épaisse de tissu conjonctif appelée **pérимыsium**. Les faisceaux sont regroupés dans un revêtement plus grossier composé de tissu conjonctif plus dense qui enveloppe l'ensemble du muscle appelé **épимыsium**.

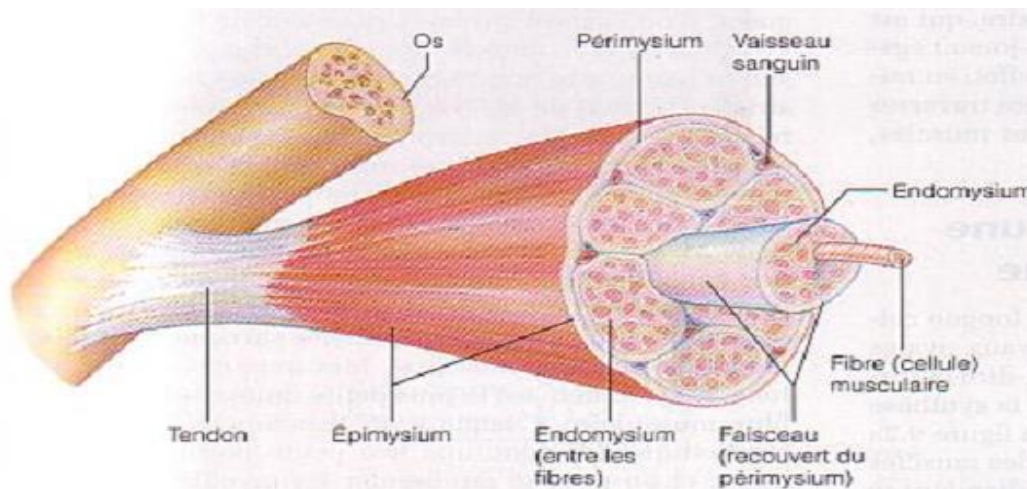


Figure 1 : Enveloppes de tissu conjonctif

B- Anatomie microscopique d'une fibre musculaire squelettique

B-1 La Fibre Musculaire

- Chaque fibre musculaire est une longue cellule cylindrique renfermant de nombreux noyaux. Elle est entourée par une membrane : **le sarcolemme**.

- Le sarcoplasme d'une fibre musculaire est comparable au cytoplasme des autres cellules, mais il contient des réserves importantes de glycogènes ainsi que de la myoglobine, une protéine qui se lie à l'oxygène et n'existe dans aucun autre type de cellule.

B- 2 Myofibrille : Chaque fibre musculaire comporte un grand nombre de myofibrilles parallèles qui parcourent toute la longueur de la cellule.

B-3 Myofilament : Sur la longueur de chaque myofibrille, on remarque une alternance de bandes sombres et claires appelées stries.

-Les bandes sombres sont nommées bandes **A (striés A)**, les bandes claires nommées bande **I (striés I)**.

- Chaque bande **A** a en son milieu une zone plus claire c'est la zone claire ou **strie H (zone H)**. Chaque zone claire est divisée en deux par une ligne sombre ou **ligne M**.

-Au milieu des bandes I, on trouve également une zone plus foncée que l'on nomme : ligne **Z**

- La région d'une myofibrille comprise entre deux lignes Z successives est appelée **Sarcomère**, mesurant 2 um et représente l'unité fonctionnelle du muscle.

- Au niveau moléculaire chaque myofibrille est formée de filaments disposés de façon très régulière : **filaments fins et épais**. Les filaments épais sont faits de l'assemblage de molécules d'une protéine : **la myosine** (présents dans les bandes A, au centre du sarcomère), tandis que le constituant essentiel des filaments fins est une autre protéine : **l'actine** ; présent dans les bandes I)

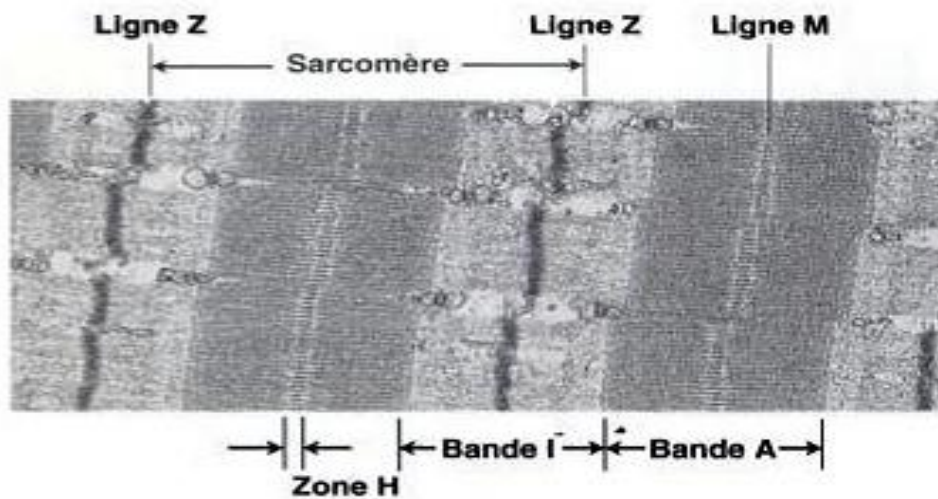


Figure 2 : Vue au microscope électronique d'une myofibrille

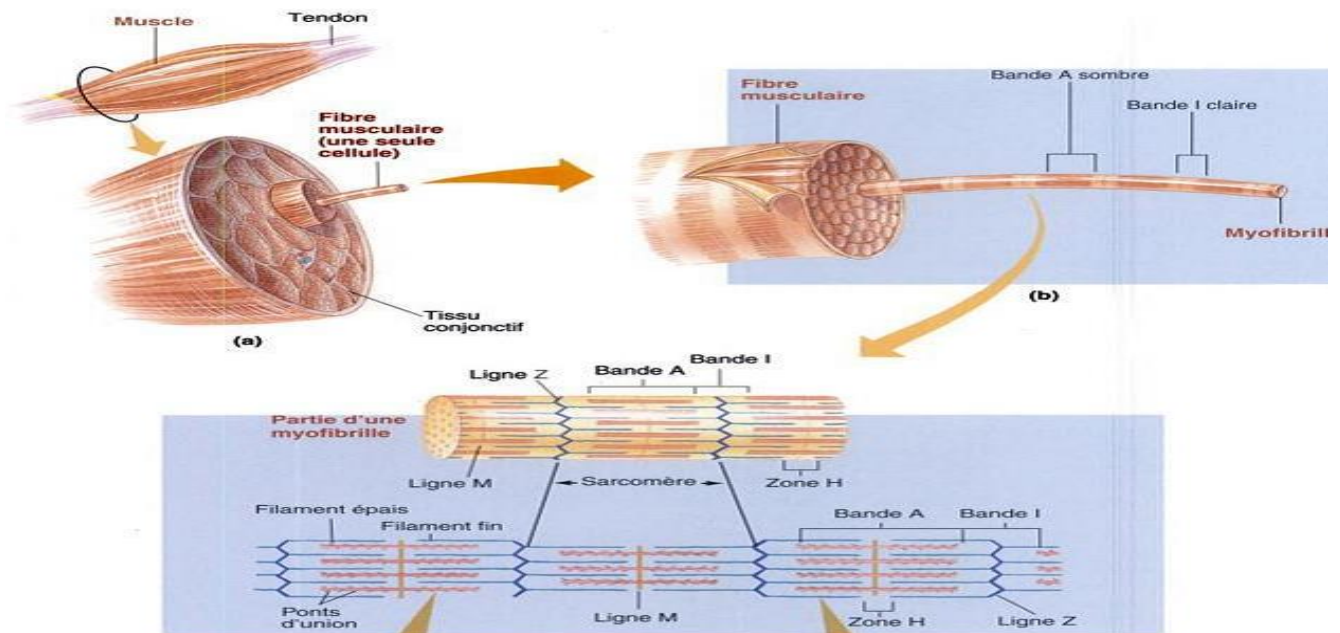


Figure 3 : Niveau d'organisation du muscle squelettique

- Les filaments épais :

- la molécule de myosine possède une structure très particulière, faite de deux sous unités identiques ayant la forme d'un bâton de golf dont les queues sont enroulées l'une sur l'autre.

-Les têtes de myosine comportent les sites de liaisons de l'actine, de l'ATP ainsi que des enzymes ATPases qui dissocient l'ATP pour produire l'énergie nécessaire à la contraction musculaire.

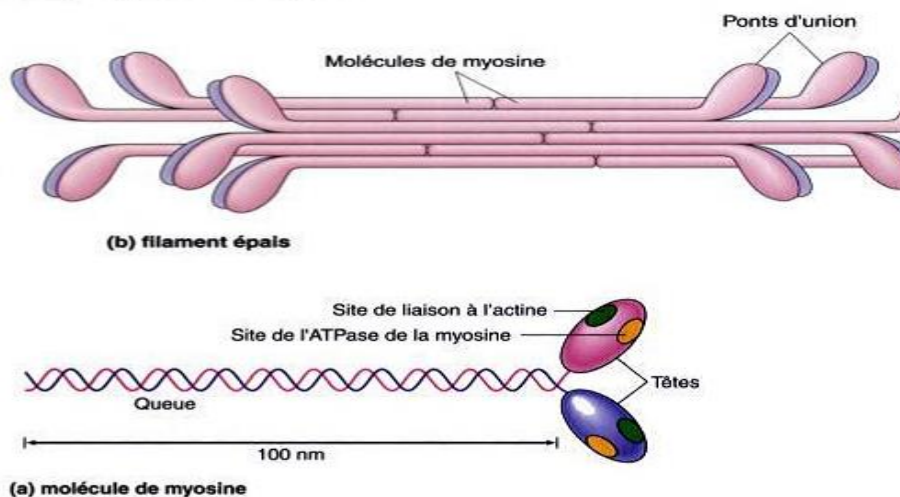


Figure 4 : filament épais (myosine)

- **Les filaments fins ou minces :**

- Sont faits de trois protéines : l'actine F (filamenteuse), la troponine et la tropomyosine.

- Deux chaînes d'actine filamenteuses faites d'une succession de molécules d'actine globuleuse qui sont enroulées l'une autour de l'autre.

-L'actine porte des sites de liaison sur lesquels les têtes de myosine se fixent lors de la contraction.

-Les molécules de troponine qui sont constituées de trois sous unités de forme sphérique (**TnI** = inhibitrice qui se lie à l'actine, **TnT**= se lie à la tropomyosine, **TnC**= se lie aux ions calciums).

-Les filaments de tropomyosine forment un ruban reposant sur le sillon de l'hélice de l'actine et bloquent (masquent) les sites actifs d'actine de sorte que les têtes de myosine ne peuvent pas se lier avec les filaments minces.

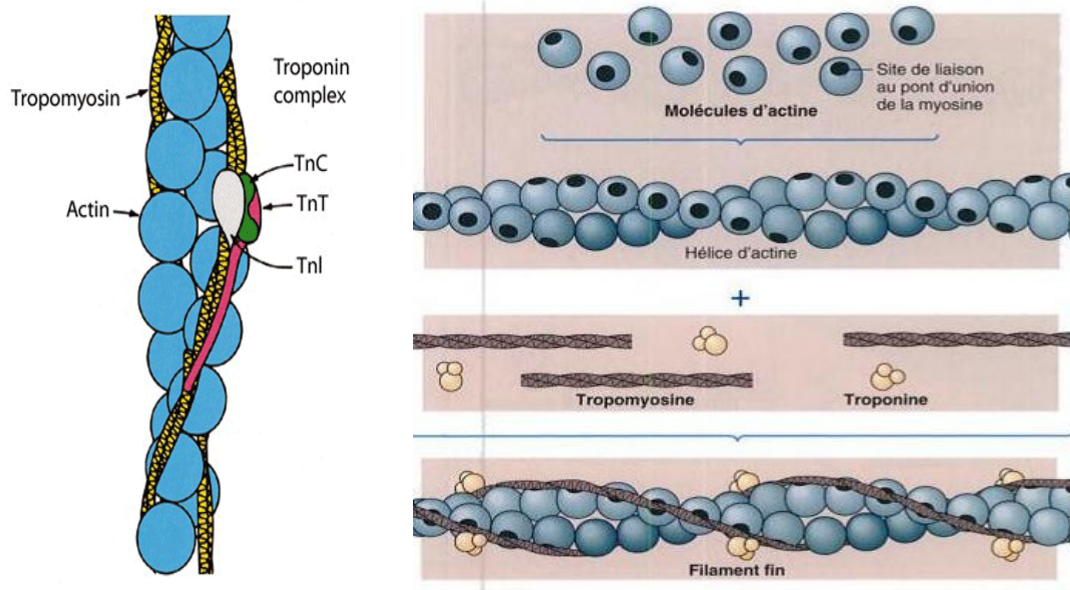


Fig 5 : filament mince (Actine)

B - 4 Réticulum sarcoplasmique et tubules transverses T :

-**Tubules transverses T** : à la jonction des stries A et I, le sarcolemme présente des invaginations qui pénètrent à l'intérieur de la fibre musculaire et forment les Tubules Transverses (tubule T).

-**Le réticulum sarcoplasmique (RS)** : forme un réseau de fins tubules entourant de ses mailles chaque myofibrille sur toute sa longueur. Il comporte des citernes latérales qui établissent des contacts intimes avec les tubules T.

Le tubule T et les citernes latérales situées de chaque côté forment : **La triade**

-Le réticulum sarcoplasmique joue un rôle fondamental dans :

* Le stockage du calcium et sa libération dans le sarcoplasme

* la recapture du calcium : à l'aide des pompes calciques ATP-dépendantes

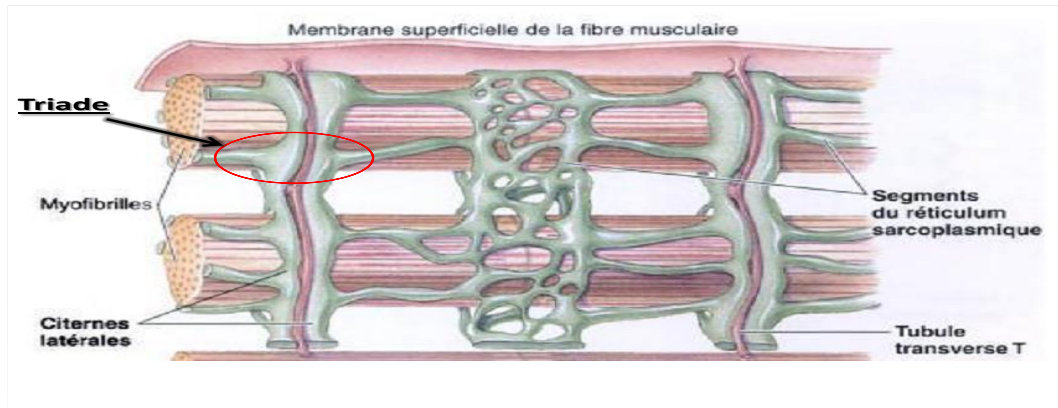


Fig. 6 : Réticulum sarcoplasmique et tubules T

- Rôle du Triade dans la transmission de l'information :

La transmission de l'information (l'influx nerveux) du système tubulaire au réticulum sarcoplasmique (qui conduit à la libération du calcium) fait intervenir un mécanisme spécifique. Celui-ci mis en jeu :

- Des canaux voltages-dépendants localisés dans la membrane tubulaire et bloqués par la dihydropyridine (DHP) d'où leur nom de canaux DHP ou récepteur à la dihydropyridine (**DHPR**).
- Chaque récepteur à la dihydropyridine (DHP) est en contiguïté avec un canal calcique du réticulum sarcoplasmique sensible à la Ryanodine d'où leur nom de canaux Ryanodine ou récepteur à la Ryanodine (**RyR**)
- Sous l'effet de la dépolarisation membranaire, le DHPR agit comme un détecteur d'intensité du courant électrique ou du voltage et subit des changements conformationnels conduisant à une interaction moléculaire avec le **RyR**. Cela favorise son ouverture et la libération de calcium du réticulum sarcoplasmique.

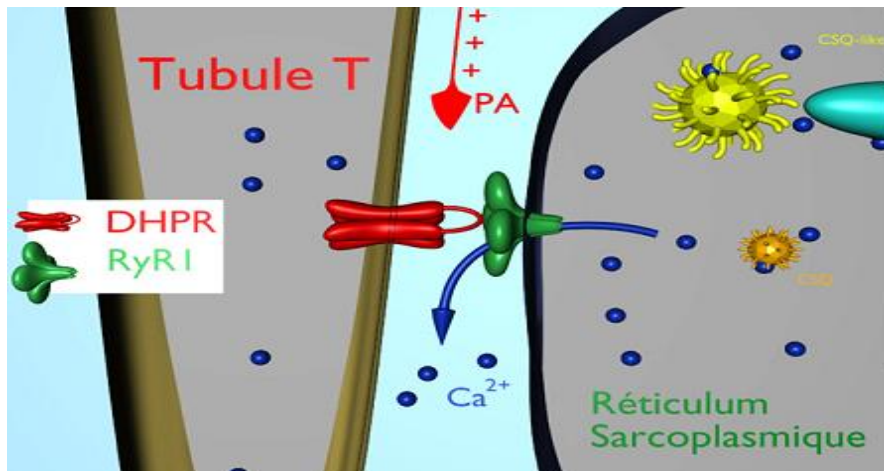


Figure 7 : Transmission de l'information du système tubulaire au RS

C- Mécanismes de la contraction :

C-1- Modèle du glissement des filaments

La théorie de la contraction par glissement des filaments, élaborée par **Hugh Huxley en 1954**, propose l'explication suivante : « durant la contraction, les filaments minces (actines) glissent le long des filaments épais (myosine), de telle sorte que les filaments d'actine et de myosine se chevauchent davantage ».

Au repos les filaments épais et minces ne chevauchent que sur une petite partie de leurs longueurs, mais quand les cellules musculaires sont stimulées, les têtes de myosine s'accrochent aux sites de liaison de l'actine et le glissement s'amorce.

Les têtes de myosine tirent les filaments minces vers le centre du sarcomère : C'est le raccourcissement **du sarcomère**. La longueur des bandes A ne change pas durant le raccourcissement mais celle des bandes I et H diminue.

C-2- Couplage excitation- contraction :

C'est la succession d'évènements par laquelle le potentiel d'action transmis le long du sarcolemme provoque le glissement des myofilaments.

Le couplage excitation – contraction passe par les étapes suivantes :

- 1-** Le potentiel d'action se propage le long du sarcolemme et des tubules transverses.
- 2-** Lorsque le potentiel d'action parvient aux triades, le **DHPR** agit comme un détecteur d'intensité du courant électrique ou du voltage et subit des changements conformationnels conduisant à une interaction moléculaire avec le **RyR**. Cela favorise son ouverture et la libération de calcium des stocks du réticulum sarcoplasmique

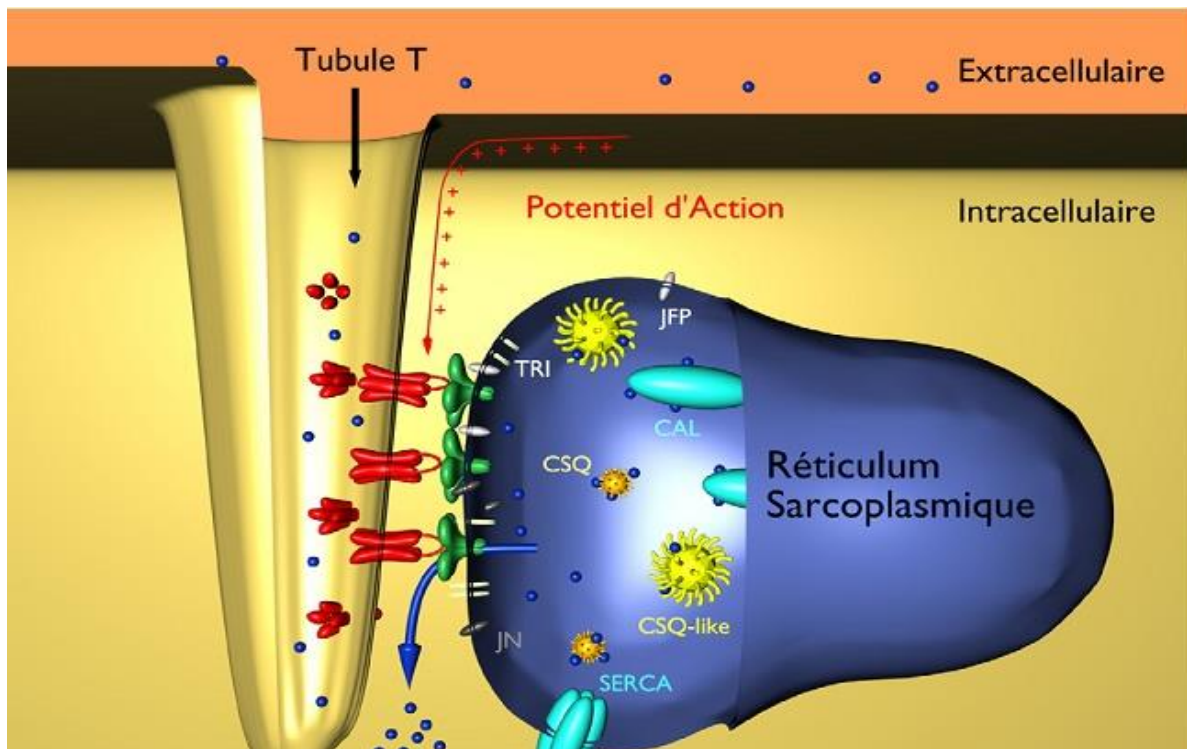


Fig 8 : Mécanisme de la libération du calcium par le RS.

- 3- Une fois dans le milieu intracellulaire (sarcoplasme), le calcium se lie à la troponine C (TnC), quatre molécules de calcium se lient à une molécule de TnC.
- 4- La troponine change alors sa structure tridimensionnelle, provoquant le déplacement latéral de la tropomyosine et donc libération (démasquage) des sites de liaison de l'actine.
- 5- Dès que les sites de liaisons de l'actine sont exposés, les têtes de myosines se fixent immédiatement sur l'actine formant un complexe : l'actomyosine
- 6- Dans le même temps la fixation du calcium sur la TnC permet la levée de l'inhibition exercée par la troponine I sur l'activité ATPasique de la tête de myosine, cette activité ATPasique permet l'hydrolyse de l'ATP en ADP et Pi (cette réaction est Mg^{+} dépendante).
- 7- Le détachement du Pi et ADP des têtes de myosines, permet la flexion des têtes de myosines (modifications de l'angle formé par les têtes de myosine fixées à l'actine) = **glissement des filaments d'actine sur les filaments de myosine**
- 8- La liaison de l'actine avec la myosine reste stable et seule la présence d'une nouvelle molécule d'ATP (qui se fixe sur la tête de myosine), permet la rupture de la liaison entre actine et myosine.
- 9- La contraction se poursuit tant que le signal calcique et l'ATP sont présents.
- 10- En l'absence de potentiel d'action, le réticulum sarcoplasmique récupère le calcium du sarcoplasme, le troponine change de nouveau sa forme et la tropomyosine masque les sites de liaison des têtes de myosine avec l'actine, et la contraction prend fin et les filaments reprennent leurs positions initiales = Relâchement musculaire

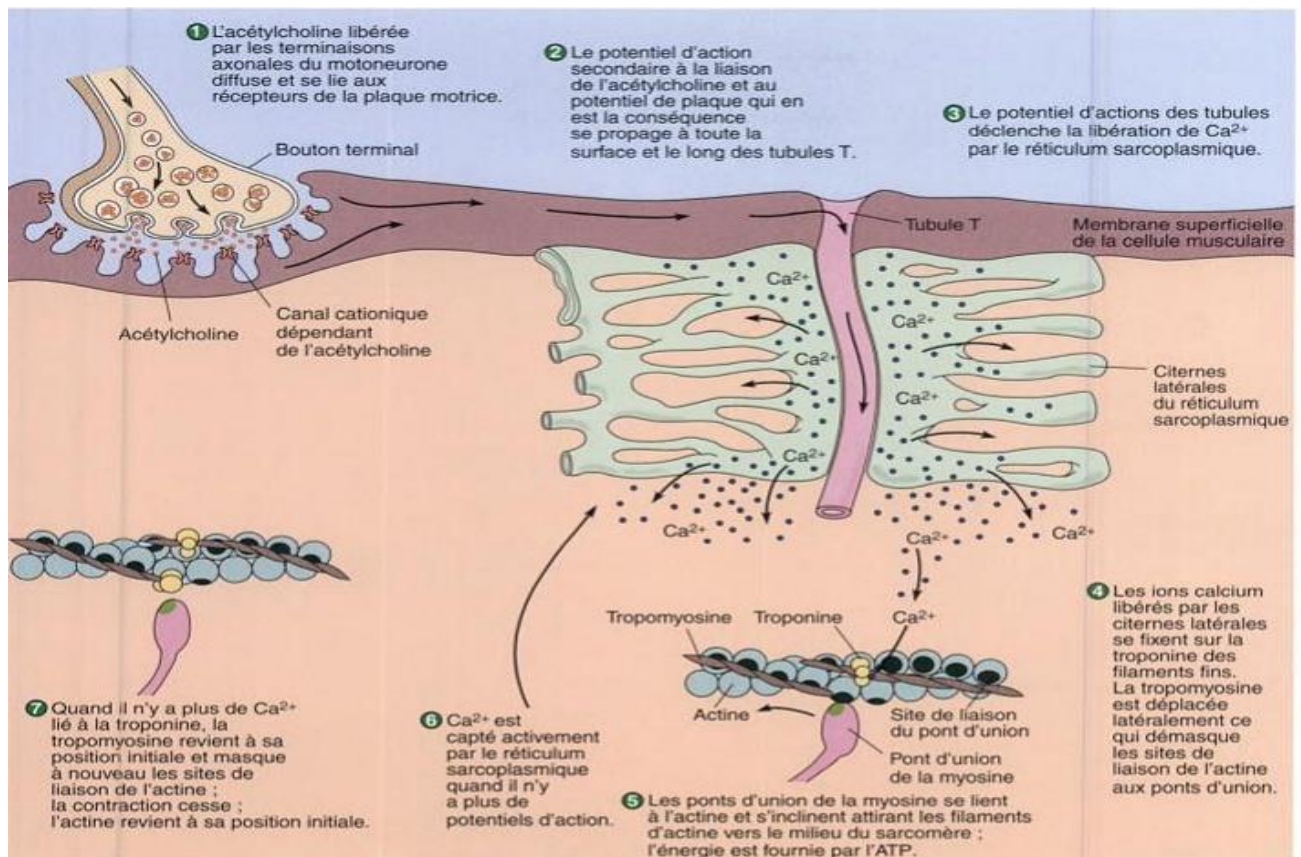


Fig 9 : couplage excitation – contraction

D- Métabolisme du Muscle squelettique : Régénération de l'ATP

-Lors de la contraction musculaire l'énergie servant à l'activité contractile (flexion, détachement des têtes de myosine et fonctionnement de la pompe à calcium) est fournie par l'ATP.

-Etant donné que l'ATP est la seule source d'énergie qui peut alimenter directement la contraction, et que les stocks d'ATP immédiatement disponibles sont peu importants dans le muscle et permettant une contraction de 4 à 6 secondes, il doit être régénéré de façon continue afin que la contraction puisse se poursuivre

- Sa régénération se fait en une fraction de seconde suivant **trois voies** :

a- Interaction de l'ADP avec la créatine phosphate (CP)

- Au début de la contraction, une fois les faibles réserves d'ATP ont été consommées, de l'ATP supplémentaire est rapidement reconstitué à partir d'une molécule à haute énergie : la Créatine-phosphate (CP) :



-Cette réaction est catalysée par une enzyme : La Créatine Kinase.

-Une puissance musculaire maximale peut être maintenue pendant 10 à 15 secondes

b- La Glycolyse anaérobie

Les réserves de glycogène du muscle sont transformées en acide lactique avec la production de deux (02) molécules d'ATP. Ensembles, les réserves d'ATP et de créatine phosphate et la glycolyse anaérobie peuvent entretenir une activité musculaire pendant une minute.

a- Respiration cellulaire aérobie : phosphorylation oxydative

Lors d'une activité musculaire légère mais prolongée, l'ATP utilisé par les muscles est fournie par la respiration cellulaire aérobie qui se déroule dans les mitochondries et nécessite la présence d'oxygène et fait intervenir une suite de réaction chimiques (cycle de krebs, chaîne respiratoire et transport d'électrons). Pendant la respiration aérobie le glucose est entièrement dégradé ; l'oxydation complète d'une molécule de glucose fournit 36 molécules d'ATP.

Références bibliographiques

- **Elaine N. Marieb : Anatomie et Physiologie Humaine**
- **H.Guenard : Physiologie Humaine**
- **P. Rigoard, K. Buffenoir : Architecture moléculaire du réticulum sarcoplasmique et son rôle dans le couplage excitation-contraction**