

Les tissus musculaires

Généralités

Les tissus musculaires sont spécialisés dans la production du travail mécanique ou contraction musculaire.

Les myocytes ou cellules musculaires ont dans leur cytoplasme un matériel protéique filamentaire contractile, les myofilaments groupés en myofibrilles.

Il existe trois types de myocytes :

- les cellules musculaires striées squelettiques (rhabdomyocytes)
- les cellules musculaires lisses (léiomyocytes)
- les cellules musculaires cardiaques (cardiomyocytes, non vues ici)

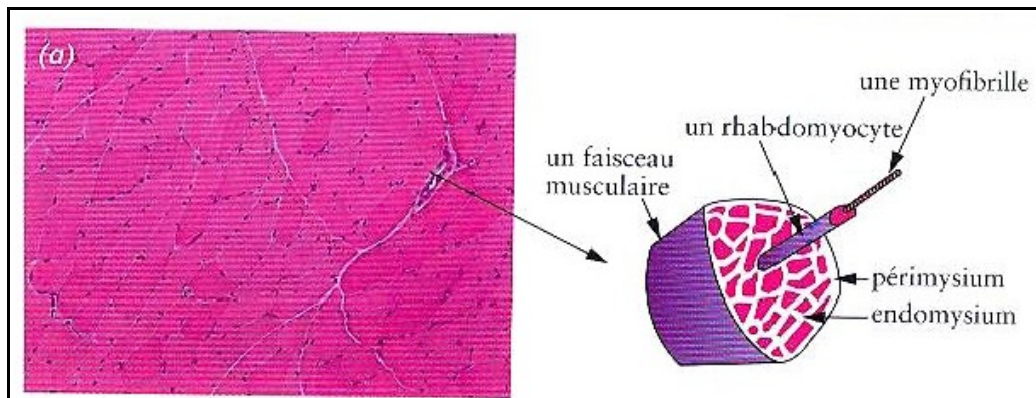
Muscles striés squelettiques

Ils assurent les mouvements volontaires et le maintien de la posture sous le contrôle du système nerveux.

Un muscle est constitué de faisceaux musculaires entourés par le périmysium.

L'intérieur d'un faisceau est l'endomysium.

Chaque faisceau musculaire est composé de rhabdomyocytes.



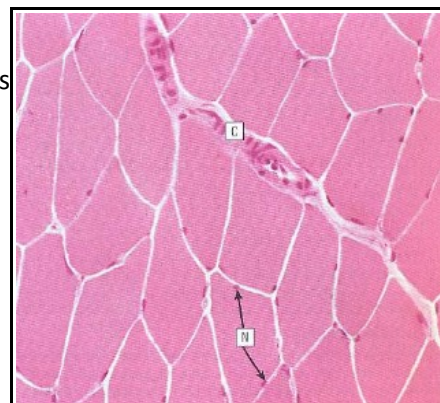
Microscopie optique

Le rhabdomyocyte possède des myofibrilles striées composées de protéines contractiles.

Il a la forme d'un cylindre allongé.

diamètre : 10 à 100 microns

longueur : jusqu'à 10 cm



Il est entouré d'une lame basale.

La membrane plasmique est le sarcolemme.

Cette cellule possède plusieurs centaines de noyaux, localisés à la périphérie du rhabdomyocyte, sous la membrane.

Les cellules satellites (de réserve) ont un seul noyau et sont situées entre le sarcolemme et la lame basale.

Ces cellules myogéniques de réserve sont activées et prolifèrent après lésions musculaires (réparation).

Microscopie électronique

Le cytoplasme du rhabdomyocyte (sarcoplasma) contient :

- organites cellulaires habituels
- beaucoup de mitochondries
- un réticulum endoplasmique lisse longitudinal abondant : le réticulum sarcoplasmique
- un système de tubules transversaux issus d'invaginations de la membrane plasmique : le système T
- les myofibrilles de protéines fibrillaires contractiles arrangées de façon spécifique

Myofibrilles

Ce sont des cylindres parallèles allongés dans la longueur.

Ils sont composés d'une succession régulière de petits cylindres identiques : les sarcomères.

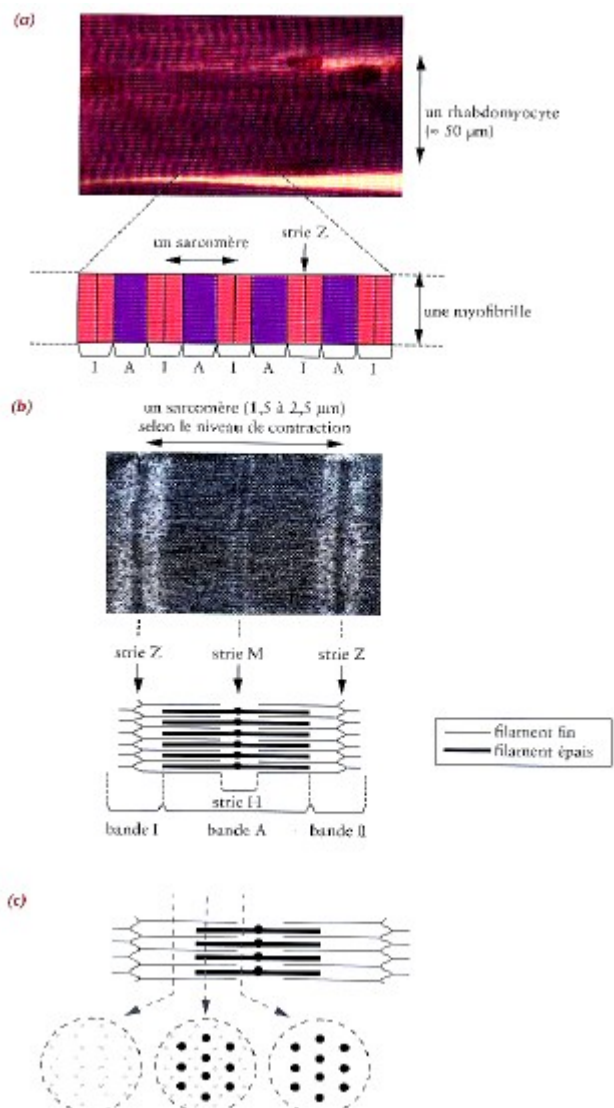
Chaque sarcomère est fait d'un faisceau de myofilaments parallèles à son grand axe.

On retrouve deux types de filaments :

- les filaments fins d'actine (5 nm à 7 nm de diamètre)
- les filaments épais de myosine (14 nm à 16 nm de diamètre)

Leurs dispositions particulières déterminent au niveau du sarcomère la striation transversale des myofibrilles visibles en microscopie optique.

Les filaments épais de myosine sont localisés au milieu du sarcomère au niveau de la bande A.



La strie M (au milieu de la bande A) correspond à un renflement médian de myosine.

Dans la strie H, ces filaments épais sont seuls présents.

Les filaments fins d'actine et les filaments épais se chevauchent dans les parties latérales des bandes A.

Les filaments fins sont disposés entre les filaments épais selon un mode hexagonal régulier avec des ponts d'union.

Au niveau de la bande I, les filaments fins sont seuls présents.

La strie Z correspond à l'interpénétration sur une courte distance des extrémités des filaments d'actine de deux sarcomères contigus.

Système sarcotubulaire

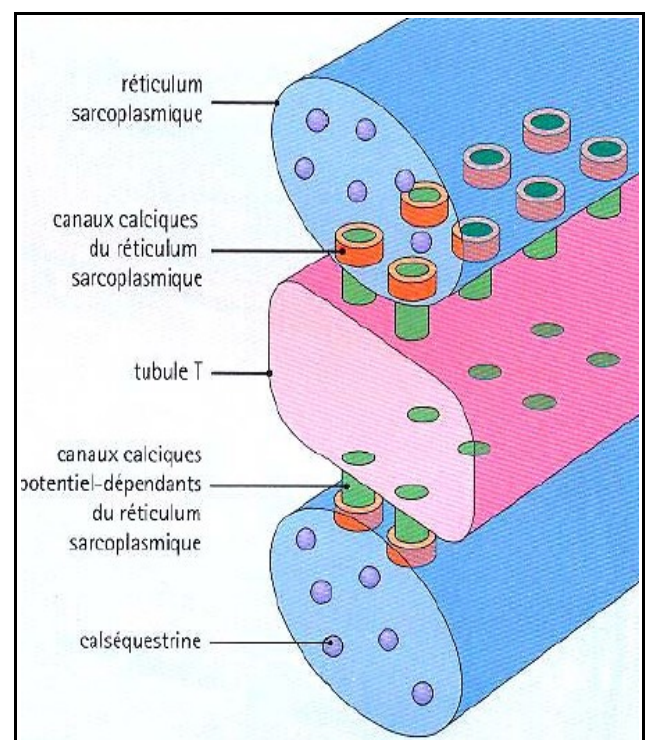
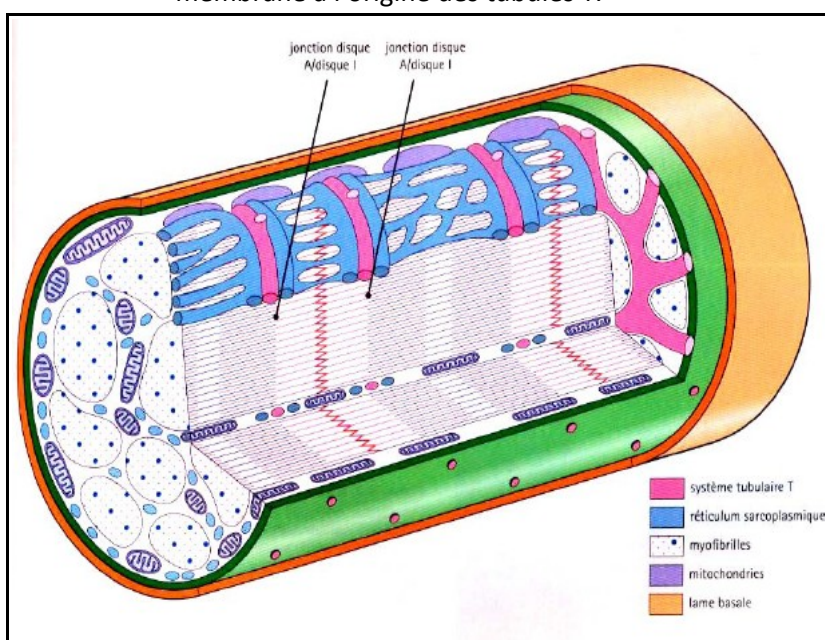
Le réticulum sarcoplasmique longitudinal est fait d'un réseau de canalicules et de saccules anastomosés entourant chaque myofibrille et se résolvant en une citerne terminale au niveau des disques A et I (coupe transversale de la cellule au niveau des bandes A et I).

On y trouve des concentrations élevées de calcium qui est libéré dans le cytosol lors de l'arrivée du potentiel d'action du neurone moteur et induit la contraction musculaire.

Le système T (tubule T) est un réseau transversal de canalicules formé par des invaginations tubulaires de la membrane plasmique et entourant les myofibrilles au niveau de chaque jonction entre les bandes A et I.

A ce niveau, chaque tubule T et deux citernes adjacentes de réticulum sarcoplasmique forment une triade.

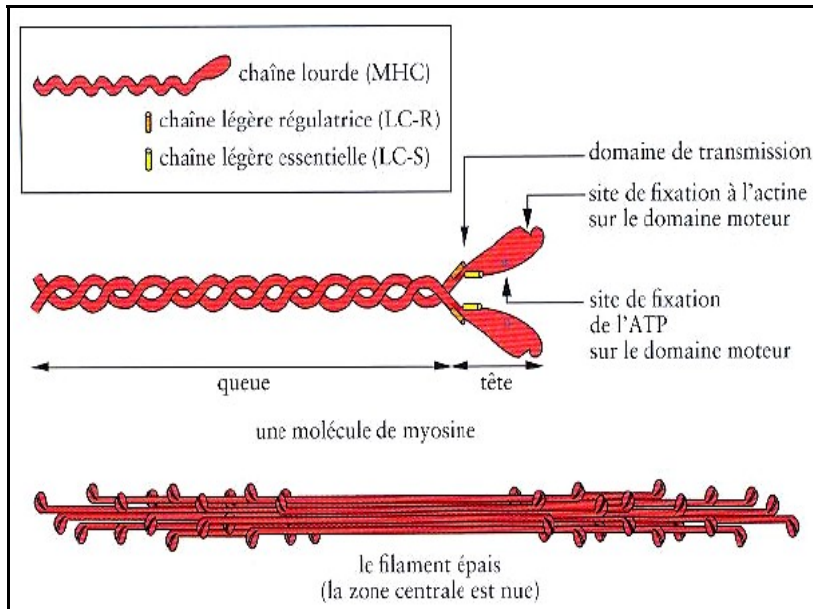
La lame basale de la cellule passe en pont au dessus des origines des invaginations de la membrane à l'origine des tubules T.



Architecture moléculaire

Filaments épais

Ils sont formés de l'assemblage de myosine.



- molécule de myosine : 2 chaînes lourdes identiques
 - queue et tête à activité ATPasique
 - les queues forment un axe torsadé
 - les têtes doubles émergent du filament épais
 - les parties distales des têtes ont une poche de fixation à l'ATP et un site d'interaction avec l'actine
 - domaines de transmission et moteur (têtes)
 - molécule de myosine : 2 paires de chaînes légères
 - elles sont situées à la base des têtes de myosine dans le domaine de transmission (rigidité)
- LC-R : régulatrice LC-S : essentielle

La partie centrale du filament est nue, sans tête de myosine (à la différence des muscles lisses).

Filaments fins

Ils sont constitués de polymères d'actine G (actine globulaire).

La polymérisation de l'actine G donne l'actine F (filaments).

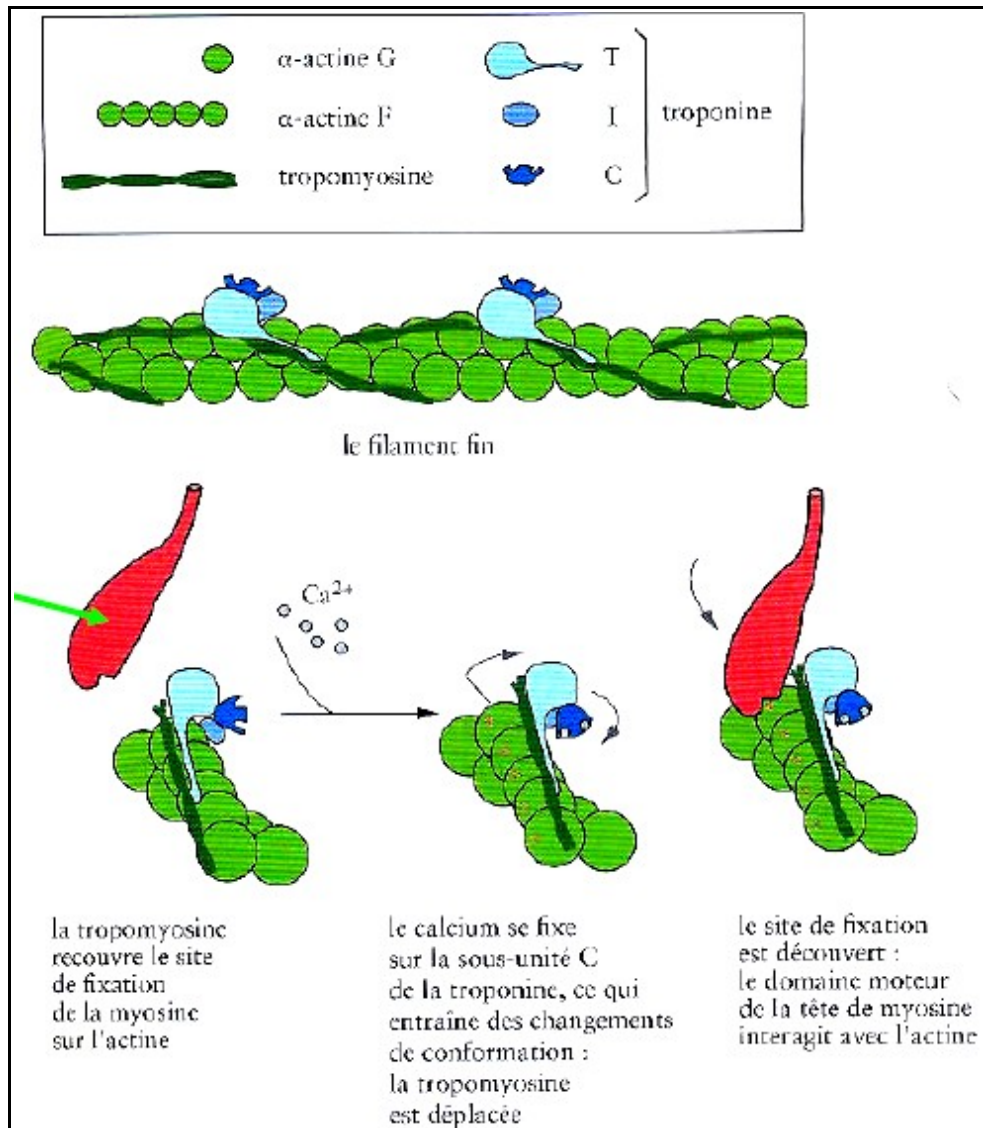
Ils sont formés d'une double hélice torsadée d'actine G.

Les myofilaments fins sont aussi formés de deux protéines :

- la tropomyosine : dimère filamenteux de renforcement
- la troponine : complexe de trois sous-unités protéiques (T : tropomyosine, C : calcium, I : inhibiteur)

Ces protéines régulatrices sont disposées le long de l'actine à intervalles réguliers en regard des têtes de myosine.

Elles sont impliquées dans la régulation de la contraction par le calcium.



Stries M

Elles contiennent des molécules de myoméline (titin-associated protein) et de MYBP-C (myosin binding protein C).

Elles sont localisées dans la partie centrale du filament épais.

Stries Z

Elles sont formées par l'organisation quadratique de filaments d' α -actinine interagissant avec l'actine F.

Les stries Z relient les extrémités des filaments fins de chaque sarcomère entre elles et avec les extrémités des filaments fins du sarcomère adjacent.

Le cytosquelette est réparti dans les trois types de localisation.

Cytosquelette endosarcomérique

Deux protéines sont connectées aux filaments épais et fins.

La titine relie dans chaque demi-sarcomère chaque filament épais à la strie Z (interaction avec l' α -actinine et la téléthonine).

La nébuline est associée à chaque filament fin du muscle pour en déterminer sa longueur.

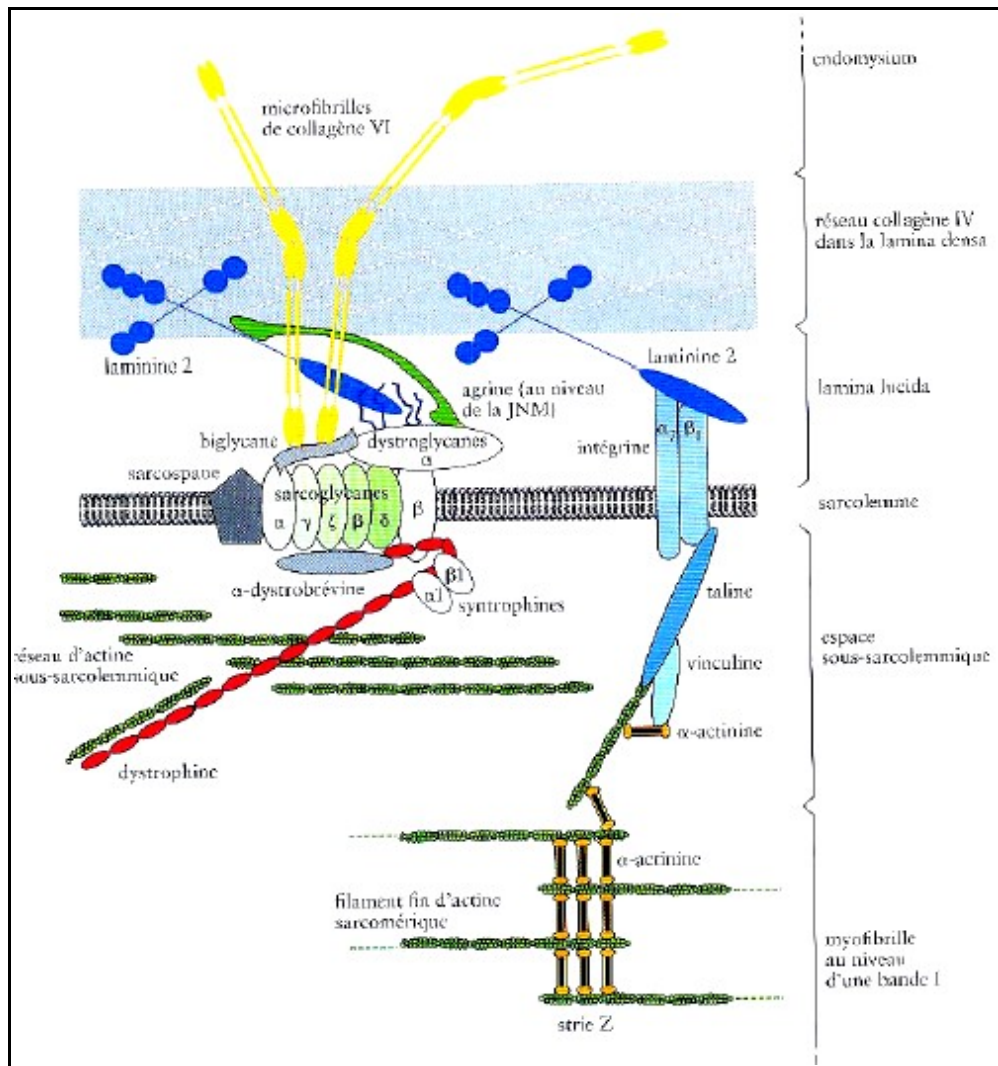
Cytosquelette exosarcomérique

Situé à l'extérieur des sarcomères, il comprend des microtubules et des filaments intermédiaires de desmine.

Cytosquelette sous sarcolemmique (sous membranaire)

Il est composé de deux complexes protéiques :

- le complexe dystrophine-protéines associées
 - il consolide l'espace sous membranaire et la membrane lors de la contraction musculaire
 - il crée un pont entre le réseau d'actine sous membranaire et le réseau de laminines et de collagène de type IV
 - la dystrophine est une très grosse protéine (427 kDa) situé sous le sarcolemme sous forme d'arcs (costamères)
 - elle se lie à de nombreuses protéines
 - la mutation de son gène cause la dystrophie musculaire de Duchenne
- le complexe intégrine/taline/vinculine
 - il fait partie intégrante des costamères et permet l'ancrage des sarcomères à la région sous membranaires et à la lame basale grâce aux intégrines



Contraction musculaire

Elle correspond à une transformation d'une énergie chimique en énergie mécanique.

Elle est marquée par le raccourcissement de cellules musculaires provenant du glissement des filaments épais entre les filaments fins.

L'actine se comporte comme une crémaillère et la myosine comme la partie active du moteur biologique responsable de la progression du filament épais le long de cette crémaillère.

La myosine est capable de fixer l'actine et l'ATP et ensuite d'avoir une activité ATPasique.

Les ponts d'union entre actine et myosine sont modifiés pendant la contraction.

La contraction est déclenchée par le calcium après dépolarisation du sarcolemme.

On décrit 5 temps moléculaires à la contraction.

1 – la tête de myosine avec l'ATP est dissociée de l'actine

2 – dépolarisation du sarcolemme au niveau des tubules T des triades, largage du calcium par les citernes du réticulum, fixation du calcium sur la troponine C, déplacement de la tropomyosine et contact actine-myosine, angle de 90°

3 – hydrolyse de l'ATP en ADP + Pi par la tête de myosine

4 – libération d'énergie et changement de conformation du domaine de transmission, fixation actine-myosine plus forte et déplacement de la crémaillère d'actine

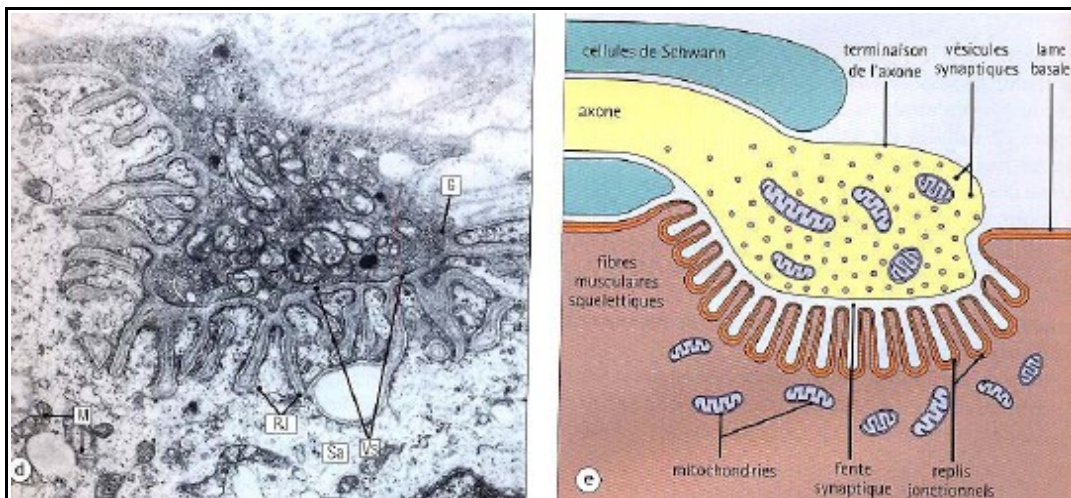
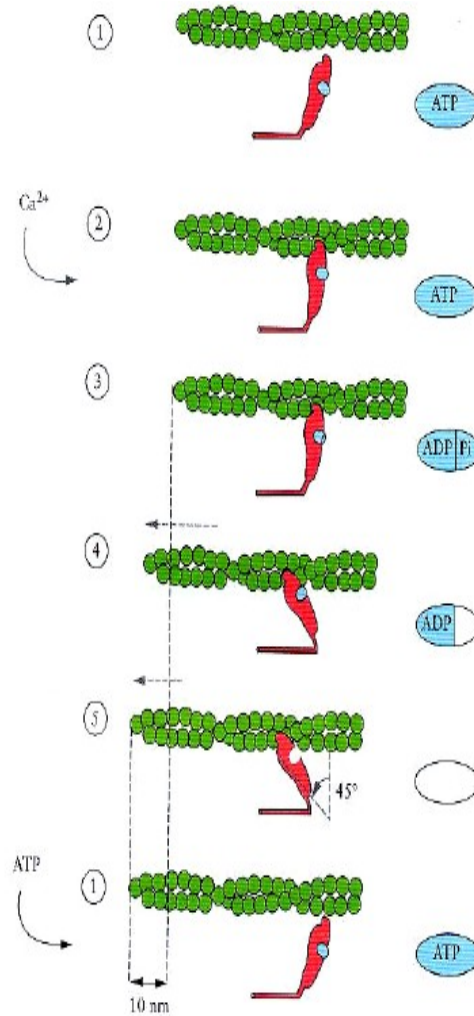
5 – libération de l'ADP qui achève le déplacement avec un angle tête de myosine-actine à 45°. Le filament fin est déplacé de 10 nm, puis retour au temps 1 avec ATP.

La répétition de ces séquences pour chaque tête de myosine entraîne le raccourcissement du sarcomère.

Jonction neuromusculaire

Il s'agit de la terminaison des axones moteurs au niveau de la plaque motrice.

La membrane sarcolemmique possède des replis jonctionnels et elle contient des récepteurs pour l'acétylcholine qui est libérée par le motoneurone.



Muscle Lisse

Les léiomyocytes sont les principales cellules contractiles de la paroi des viscères et des vaisseaux sanguins.

Leur contraction est indépendante du contrôle volontaire.

Ils constituent la portion contractile de la paroi du tube digestif, de la vessie, de l'utérus, des parois vasculaires et des canaux excréteurs des glandes.

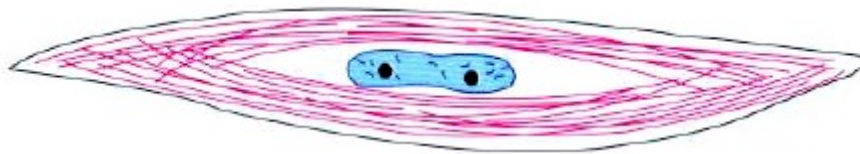
Microscopie optique

Ces cellules sont fusiformes et mesurent de 20 à 700 microns de longueur, elles sont unies entre elles par la lame basale.

Elles ont un noyau allongé au centre de la cellule.

En coupe transversale, elles sont arrondies et étroites avec un diamètre de 4 à 20 microns.

Le cytoplasme est éosinophile et sans striation transversale.



Microscopie électronique

Le cytoplasme (sarcoplasme) est rempli de myofilaments associés à des corps denses : appareil contractile de la cellule.

Appareil myofilamentaire

Il est fait de filaments épais de myosine et fins d'actine.

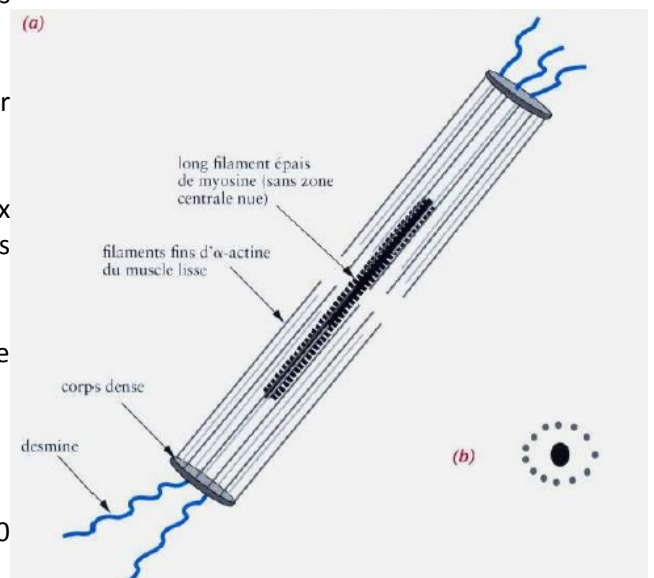
L'organisation n'est pas systématisée comme pour le muscle strié.

Les filaments fins sont regroupés en faisceaux insérés sur les corps denses, les filaments épais intercalés dans les faisceaux.

Le rapport filaments épais sur filaments fins est de 1/12.

Corps denses

Ce sont des formations lenticulaires de 100 à 300 nm de diamètre diffuses dans le sarcoplasme.



Ils contiennent de l' α -actinine et sont liés aux filaments intermédiaires et à la desmine ou la vimentine (vaisseaux).

Sarcoplasme

Il est localisé aux extrémités de la cellule (cônes sarcoplasmiques) et sous la membrane plasmique.

Ces cônes contiennent du Golgi, du réticulum granulaire et des mitochondries.

Le réticulum sous membranaire s'associe à des invaginations de cette membrane plasmique : les cavéoles.

Cavéoles

Ce sont des invaginations qui augmentent la surface membranaire de 60 %.

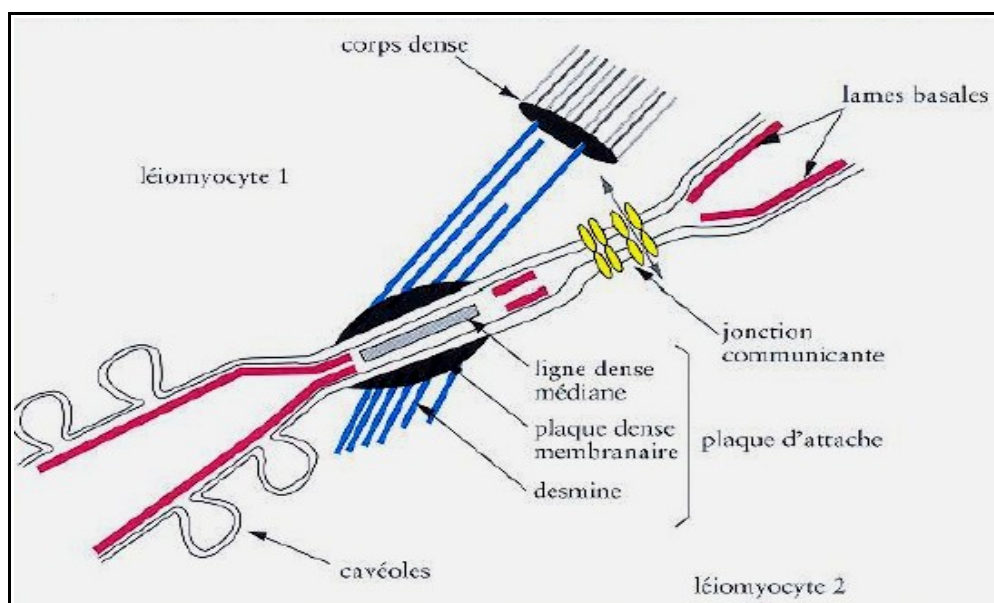
Ce sont des équivalents fonctionnels des tubules T du muscle strié.

Elles contiennent une réserve extracellulaire de calcium qui peut entrer dans la cellule lors de la contraction.

Les jonctions cellulaires sont de deux types :

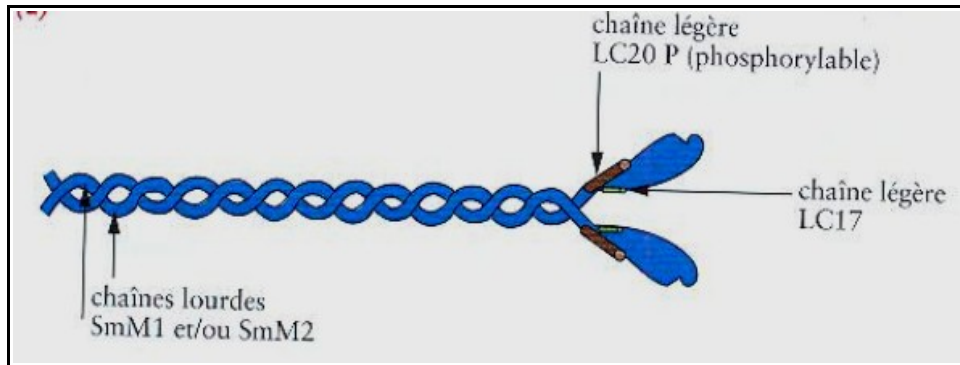
- jonctions communicantes « GAP junctions »
- plaques d'attache pour le couplage mécanique formées de 3 composants : ligne dense, plaque dense, desmine

Architecture moléculaire



Filaments épais

Ils sont constitués de molécules de myosine composées de deux chaînes lourdes (SmM1 et/ou SmM2) associées à deux paires de chaînes légères (LC20P et LC17). Les têtes de myosine sont présentes sur toute la longueur.



Filaments fins

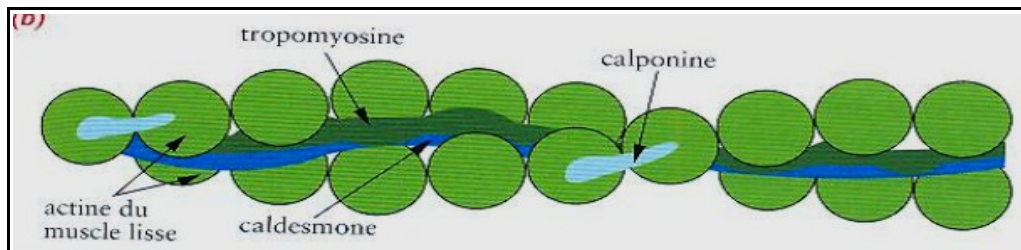
Ils sont constitués de deux polymères torsadés d'actine.

Ils sont associés à la tropomyosine mais pas à la troponine.

La caldesmone et la calponine sont associés aux filaments contractiles d'actine.

Les filaments d'actine associés aux filaments intermédiaires contiennent de la filamine.

La contraction musculaire diffère de celle du muscle strié et est liée à la phosphorylation des chaînes légères de myosine sous l'influence du calcium et de la calmoduline (LC20P).



Cellules contractiles

On rattache aux muscles différents types de cellules :

- les cellules rameuses dans la paroi des artères élastiques
- les cellules myofibroblastiques qui jouent un rôle important dans les processus de cicatrisation
- les cellules de myoépithéloïdes de Ruyters situés dans la paroi des artérioles afférents des glomérules rénaux
- les cellules myoépithéliales observées dans certaines glandes (salivaires, sein, sudoripares) et contrôlent la sécrétion
- les péricytes situés à la surface externe de certains capillaires
- la rétine irienne recouvrant la face postérieure de l'iris au niveau de l'œil