

TKANKA MIĘŚNIOWA

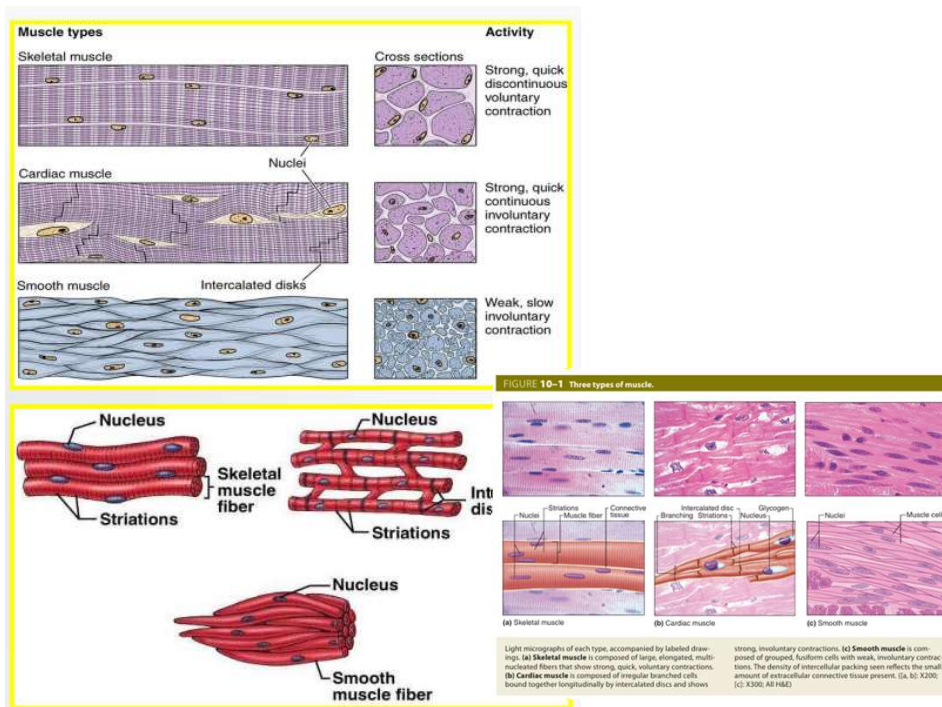
1

Odróżnia się trzy rodzaje tkanki mięśniowej:

- tkankę mięśniową poprzecznie prążkowaną szkieletową,
- tkankę mięśniową poprzecznie prążkowaną sercową,
- tkankę mięśniową gładką.

- ☐ Cytoplazma z miofibryllami – sarkoplazma
- ☐ SER – siateczka sarkoplazmatyczna
- ☐ Mitochondrium – sarkosom
- ☐ Błona komórkowa – sarkolemma

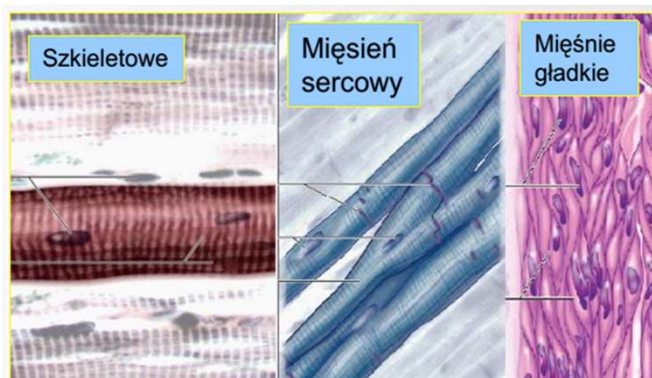
2



3

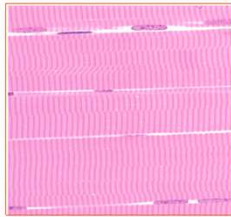
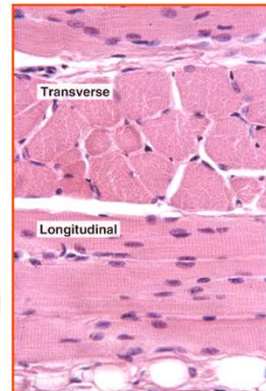
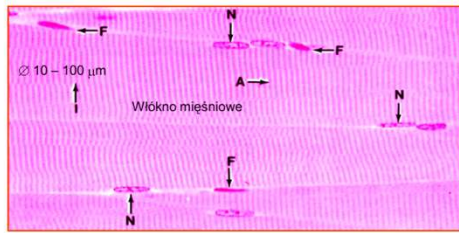
Tkanka mięśniowa (*textus muscularis*) składa się głównie z wydłużonych komórek, które stanowią miąższ (*parenchyma*) narządu, jakim jest **mięsień** (*musculus*, gr. *mys*). Komórki mięśniowe są otoczone **blaszką podstawną**, która razem z tkanką łączną właściwą luźną tworzy jego zrąb (*stroma*). Komórki mięśniowe są wyspecjalizowane w zmianie swojej długości, czyli w kurczeniu i rozkurczaniu się, oraz w zmianie swojego napięcia.

Komórki mięśniowe pochodzą z mezodermi, a proces ich różnicowania polega na pojawianiu się w cytoplazmie komórek progenitorowych swoistych białek, które biorą udział w skurczu.



4

Mięśnie szkieletowe (poprzecznie prążkowane)

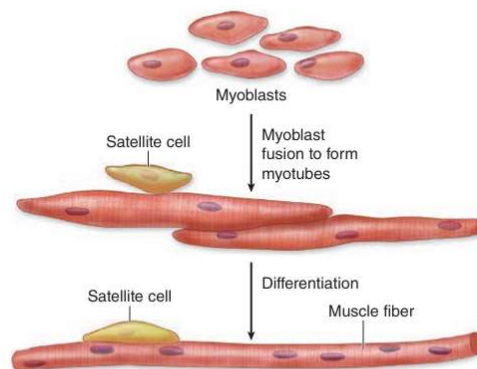


Włókno mięśniowe

- Wiele jąder ułożonych obwodowo pod sarkolemmą
- 75 jąder / 1mm dłg (fuzja w okresie embriogenezy)
- Otoczone blaszką podstawną
- Między blaszką podstawną a sarkolemmą komórki satelitarne
- W sarkoplazmie miofibrylle (pęczki filamentów) (ok. 80% sarkoplazmy)
- Liczne mitochondria (sarkosomy) otaczające miofibrylle, bardzo dobrze rozbudowana SER

5

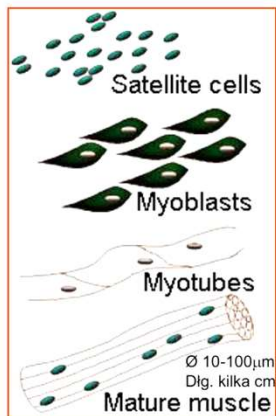
FIGURE 10-2 Development of skeletal muscle.



Skeletal muscle begins to differentiate when mesenchymal cells, called **myoblasts**, align and fuse together to make longer, multinucleated tubes called **myotubes**. Myotubes synthesize the proteins to make up myofilaments and gradually begin to show cross-striations by light microscopy. Myotubes continue differentiating to form functional myofilaments, and the nuclei are displaced against the sarcolemma.

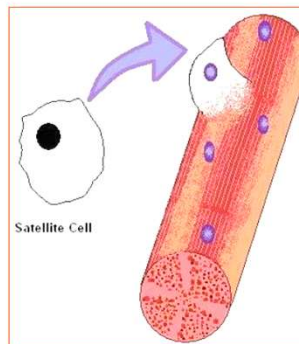
Part of the myoblast population does not fuse and differentiate but remains as a group of mesenchymal cells called muscle **satellite cells** located on the external surface of muscle fibers inside the developing external lamina. Satellite cells proliferate and produce new muscle fibers following muscle injury.

6



Mięśnie szkieletowe (poprzecznie prążkowane)

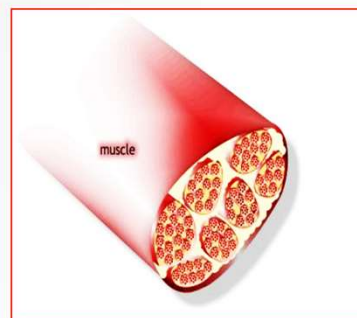
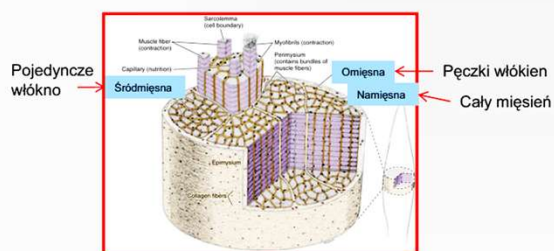
Komórki satelitarne (rycina 13.9). Nie wszystkie mioblasty fuzują. Pewna ich liczba przylega ściśle do komórek mięśniowych i nosi nazwę **komórek satelitarnych**, które są macierzystymi komórkami mięśni szkieletowych. Liczba jąder komórek satelitarnych w mięśniach ludzi dorosłych jest stała i wynosi około 5% jąder komórek mięśniowych.



7

Mięśnie szkieletowe

- **Namięsna** (epimysium) – tkanka łączna zwarta
- **Omięsna** (perimysium) – otacza pęczki włókien mięśniowych
- **Śródmięsna** (endomysium) – tkanka łączna luźna (włókna siateczkowate i istota podstawowa)

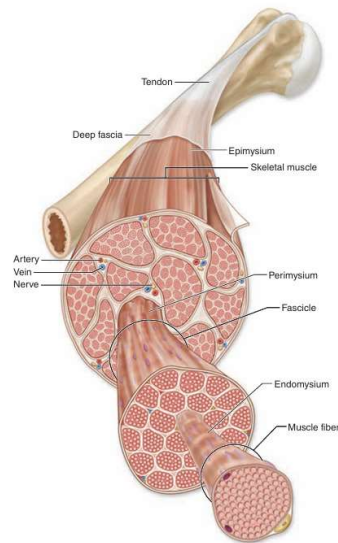


Funkcja tkanki łącznej

- mechaniczne przenoszenie siły generowanej przez kurczące się włókna mięśniowe
- wprowadzanie naczyń krwionośnych i limfatycznych. Naczynia włosowate (o śródbłonku ciągłym) tworzą gęstą sieć, która biegnie pomiędzy włóknami i równoległe do nich

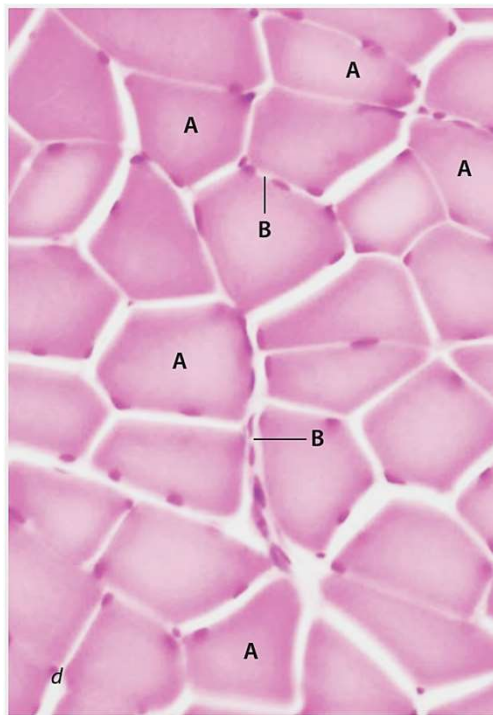
8

FIGURE 10-3 Organization of skeletal muscle.



An entire skeletal muscle is enclosed within a thick layer of dense connective tissue called the **epimysium** that is continuous with fascia and the tendon binding muscle to bone. Large muscles contain several **fascicles** of muscle tissue, each wrapped in a thin but dense connective tissue layer called the **perimysium**. Within fascicles individual muscle fibers (elongated multinuclear cells) are surrounded by a delicate connective tissue layer, the **endomysium**.

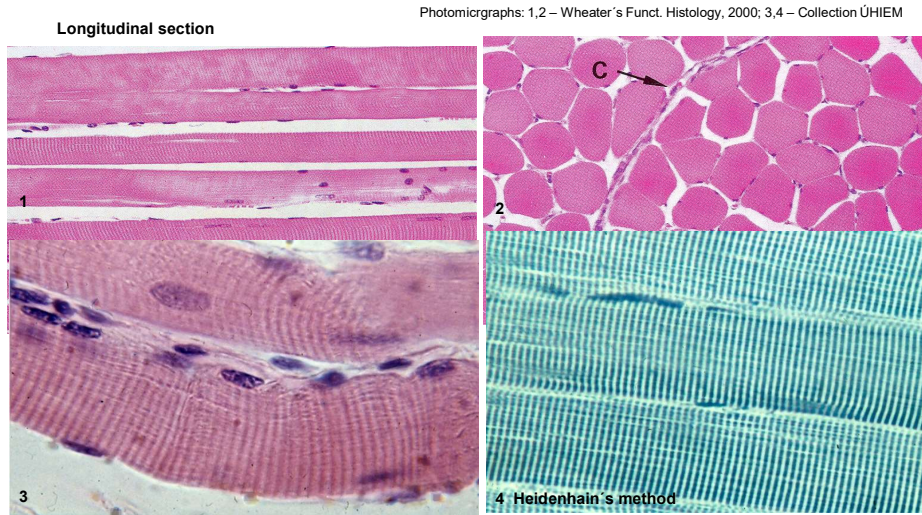
9



B – śródmięsna.

10

Włókno mięśniowe (wielojądrowe cylindryczne syncytium, jądra znajdujące się pod sarkolemmą).
Prążkowanie jest spowodowane regularnym ułożeniem cienkich i grubych miofilamentów oraz miofibryli.



11

Organizacja włókien mięśni szkieletowych

Miofibrylle

- filanty cienkie – aktynowe
- filanty grube - miozynowe

Prążek ciemny
A – anizotropowy

Prążek jasny
I – izotropowy

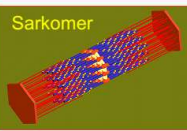
Każdy prążek I przedzielony linią Z
(TEM)

Sarkomer
Od linii Z do linii Z
Okolo 2,5 μm w mięśniu w spoczynku

Miofibrylle
 ϕ 1 – 2 μm , biegną równolegle do długiej osi włókna mięśniowego, tworzą je łańcuchowo ułożone sarkomery

12

Podstawowa jednostka kurczeniwa

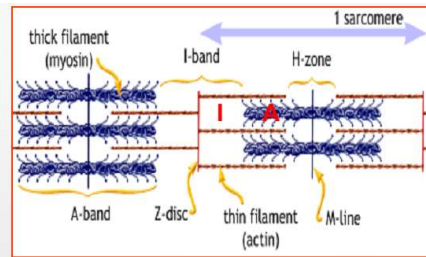
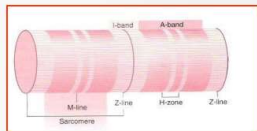


Białka miofibrylli biorące udział w skurczu

- aktyna – miofilamenty aktynowe (troponina, tropomiozyna)
- miozyna – filamenty miozynowe (grube)

Białka utrzymujące miofilamenty i strukturę sarkomeru

- titina
- nebulina
- białko m
- desmina (filamenty połączone między sobą przez filamenty plektynowe)
- α -aktynina
- dystrofina
- utrofina



$$Z + \frac{1}{2} I + A + \frac{1}{2} I + Z$$

Linia Z – α aktynina, desmina

Prążek I – filamenty aktynowe

Prążek A – filamenty miozynowe i filamenty aktynowe

Prążek H – filamenty miozynowe

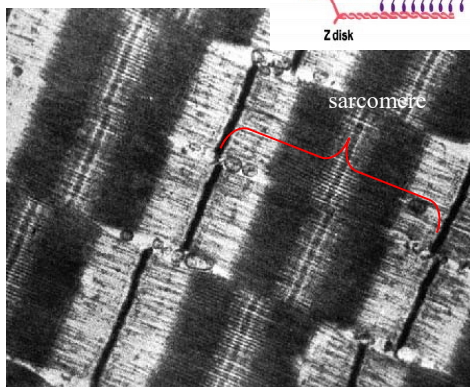
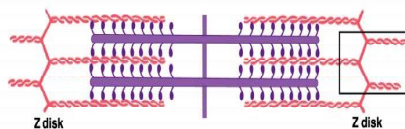
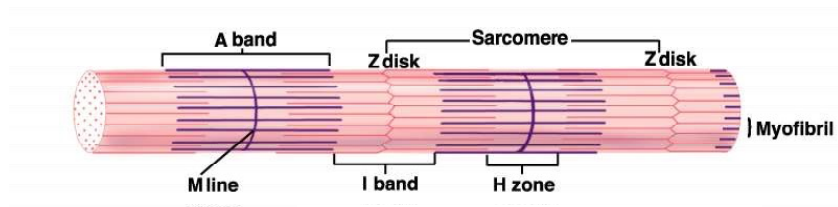
Linia M – białko m (kinaza kreatyninowa)

Titina – od linii Z do Linii M od linii M do linii Z

Nebulina – dookoła filamentów aktynowych

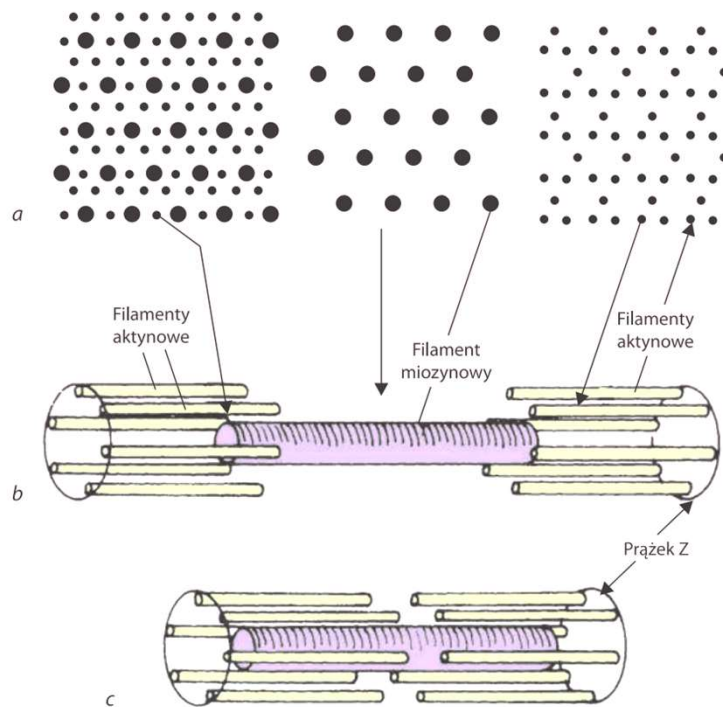
Dystrofina, utrofina – mocowanie miofibrylli do sarkolemmy

13

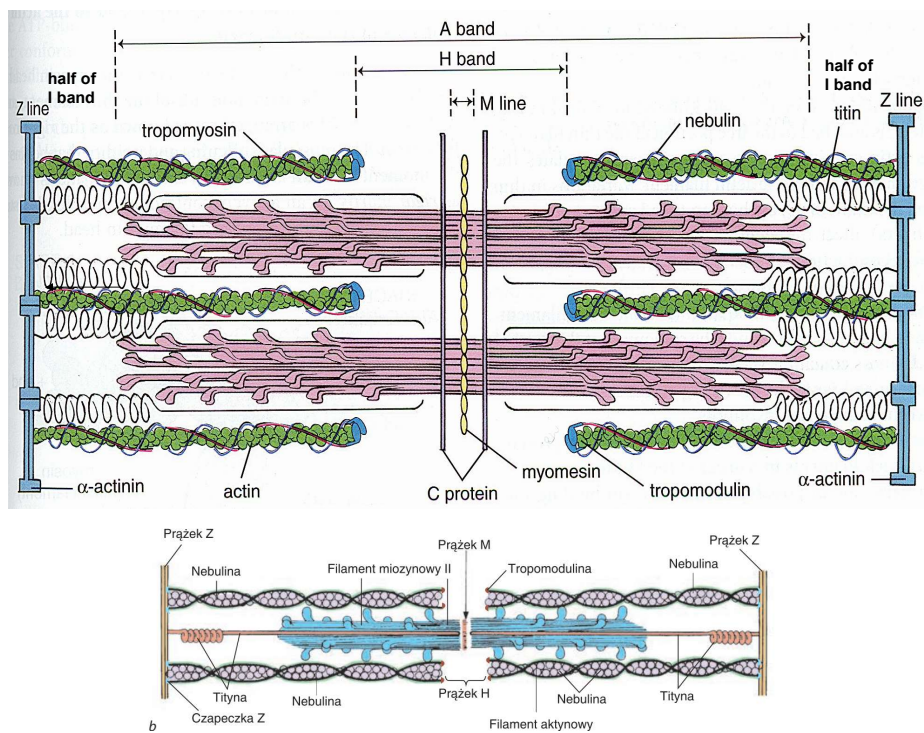


- Functional unit of a myofibril is the *sarcomere*
- Major filamentous proteins are actin and myosin, z proteins (in the z disk)
- Many structural proteins; alpha actinin, myomesin, C protein, [titin](#), [nebulin](#)
- Cytoskeletal proteins; desmin, vimentin, filamin

14

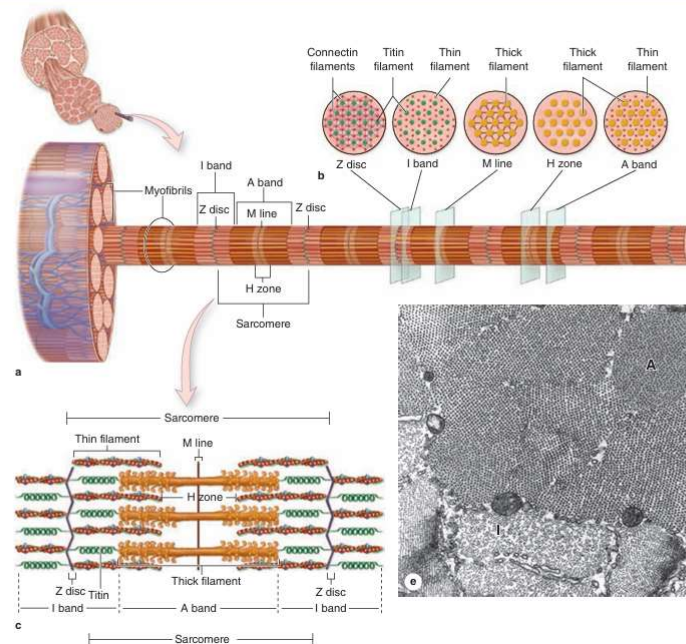


15



16

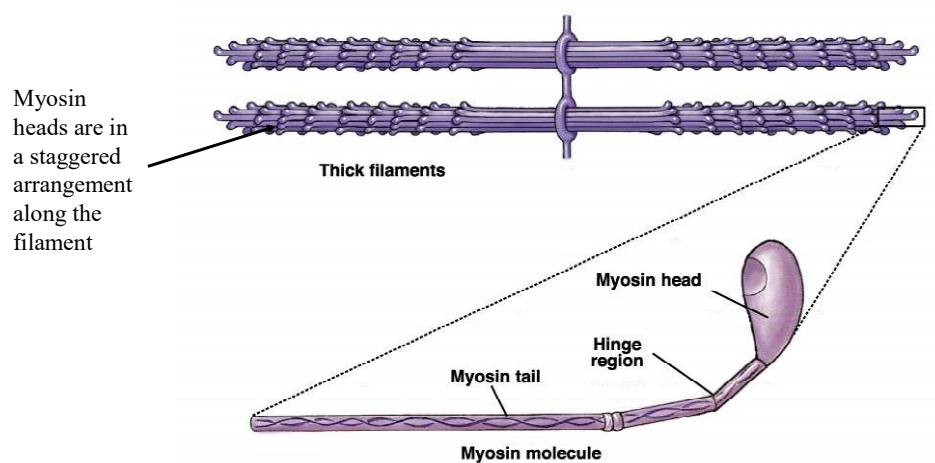
FIGURE 10–8 Structure of a myofibril: A series of sarcomeres.



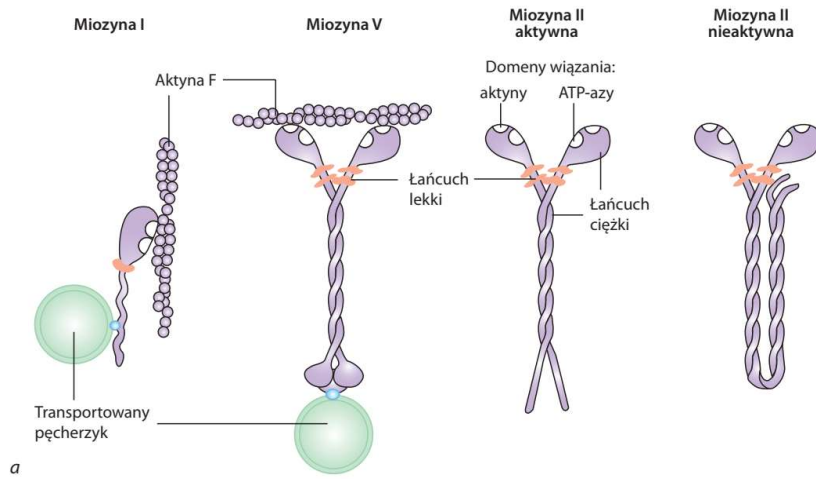
17

Myosin (thick) filaments

- Each filament contains about 400 individual myosin molecules
- Bundled so that half of the molecules have their head facing one direction, the other half, the opposite direction

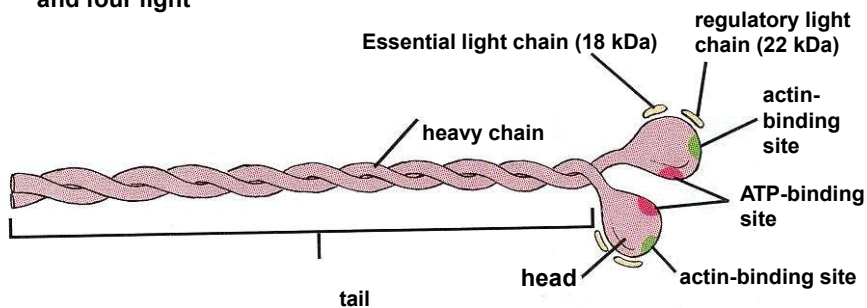


18

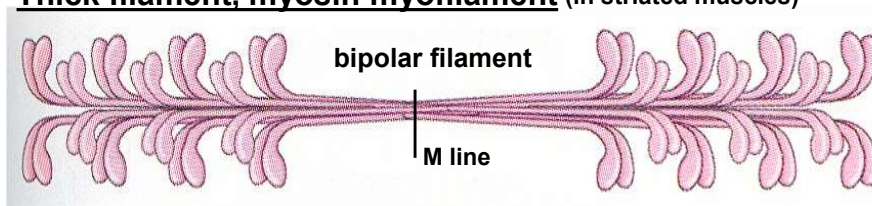


19

Myosin II molecule is composed of two polypeptide heavy chains and four light



Thick filament, myosin myofilament (in striated muscles)

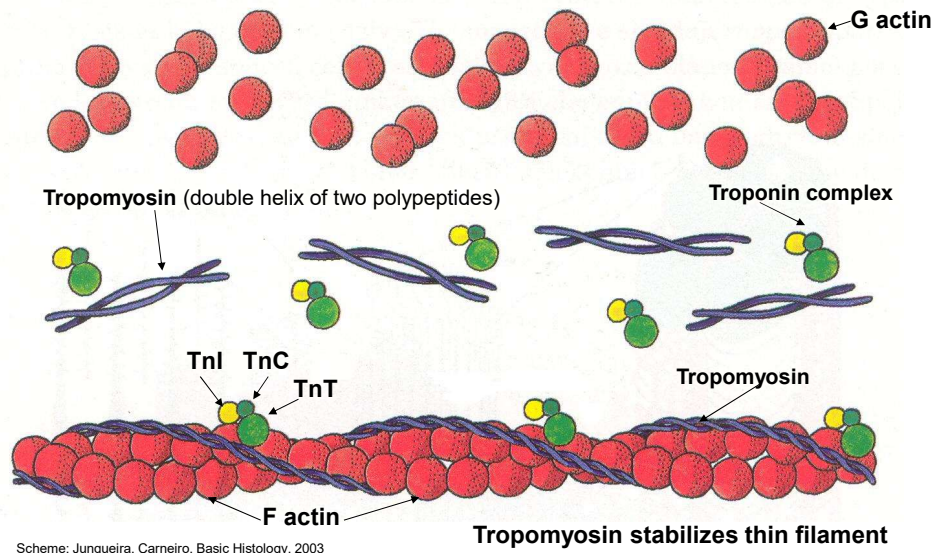


Myomesin and **C proteins** hold thick filaments at the M line in sarcomere

Schemes: Ross, Pawlina, Histology, 2006

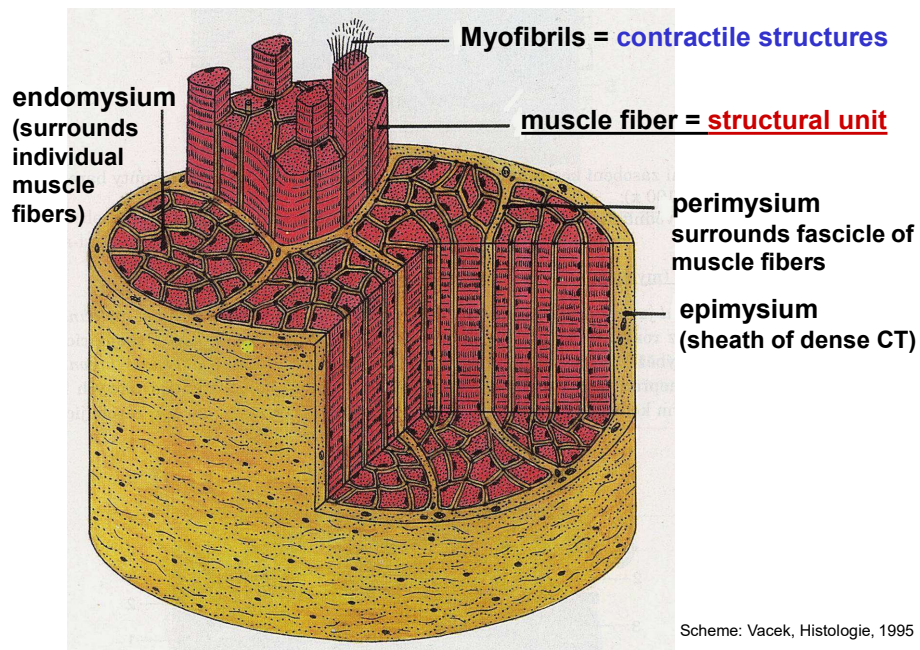
20

Filament cienki (aktynowy) składa się z dwuniciowej helisy aktyny F, tropomiozyny i troponiny - kompleksu trzech podjednostek globularnych: TnC wiąże Ca^{2+} , TnT wiąże się z tropomiozyną, TnI wiąże się z aktyną, hamując w ten sposób oddziaływanie aktyna-miozyna



21

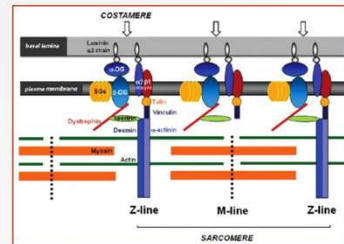
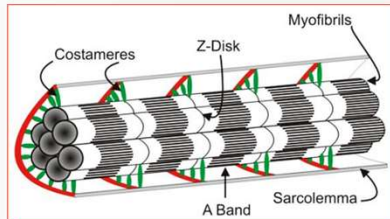
Organization of the skeletal muscle



22

Sarkolema

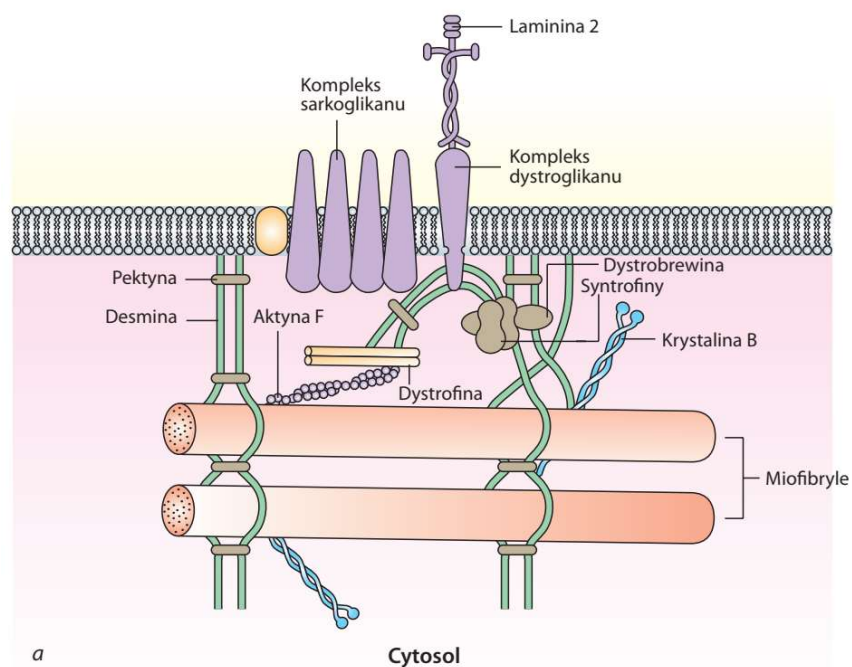
- Może ulegać uszkodzeniu – zapobieganie i reperacja z udziałem (~ 40) białek podbłonowych – kostamery.
- Udział białek sarkolemy: kaweolina 3, kapłaina 3 oraz dysferlina.
- ❑ Kostamery - leżą obwodowo na kształt pierścieni na wysokości linii Z, tworząc sieć kostamerową: aktyna, integryna, desmina, dystrofina, kompleks białek towarzyszących dystrofynie (DAP), dystroglikan, meluzyna i wiele enzymów,



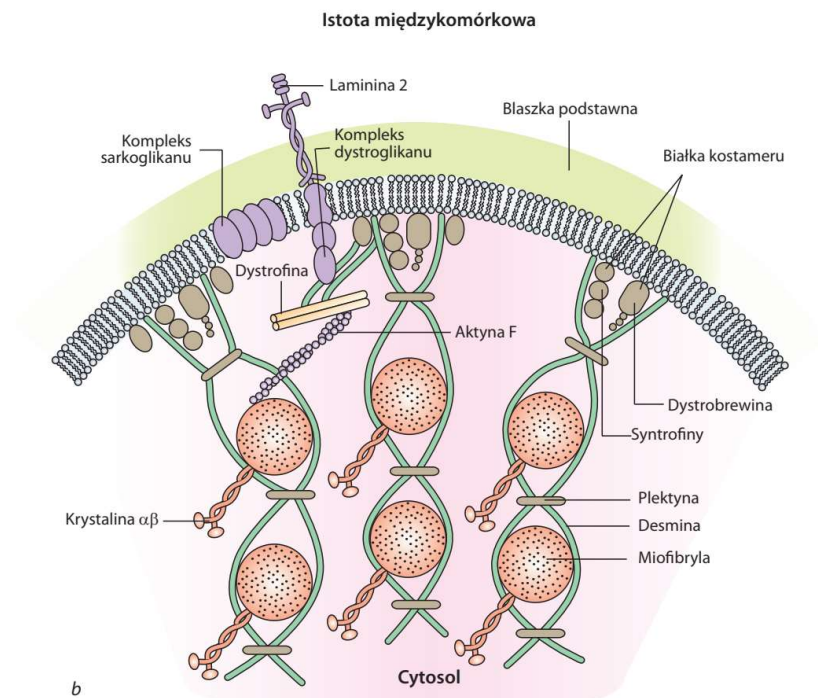
- Funkcja kostamerów
 - Przenoszenie sił mechanicznych poprzez sarkolemę poza włókno
 - Koordynacja kształtu błony (skurcz/rozkurcz)
 - Przekazywanie sygnałów z innych komórek

23

Istota międzykomórkowa



24

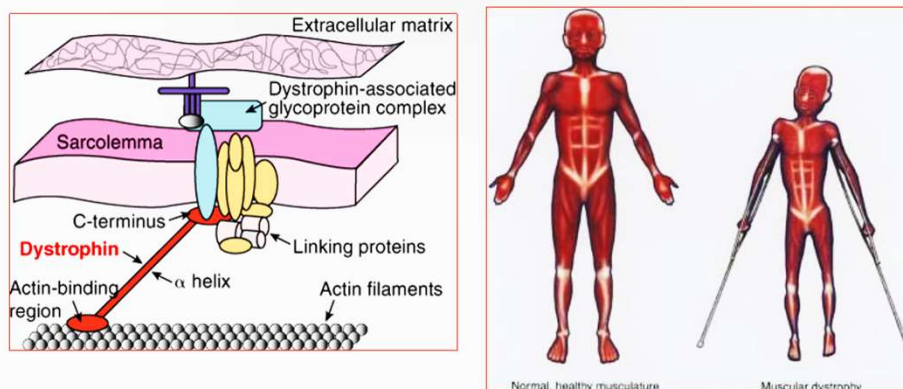


25

Dystrofie mięśniowe

- Grupa dziedzicznych chorób mięśni, objawiających się zmianami patologicznymi we włóknach mięśniowych i tkance łącznej – osłabienie mięśni, atrofia, podwyższenie stężenia enzymów mięśni w surowicy krwi, zmiany destrukcyjne w tkance mięśniowej.

Głównym białkiem włączonym w dystrofię mięśniową jest dystrofina, która przyłącza do niej filamenty aktynowe, poprzez białka łączące (kompleks **dystroglikanu** i kompleks **sarkoglikanu**)

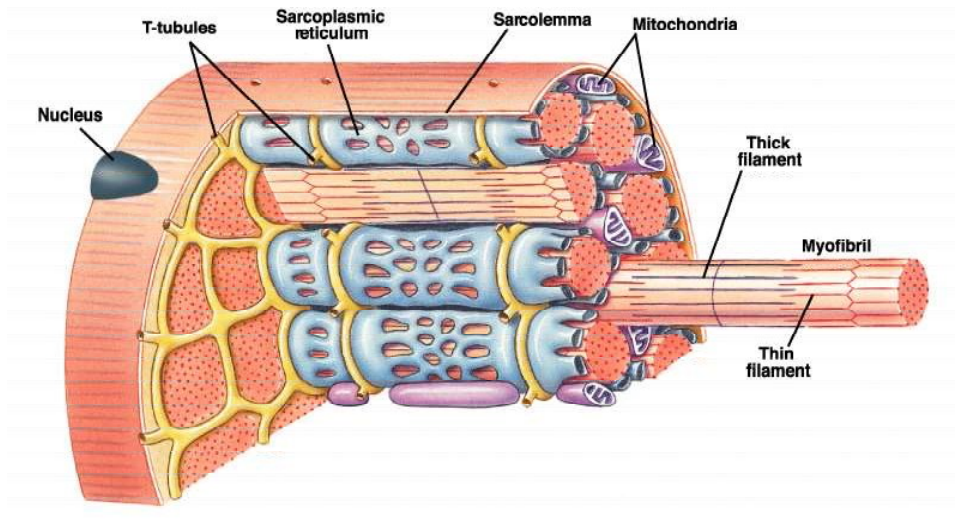


26

Kanaliki T wpuklenia sarkolemmy

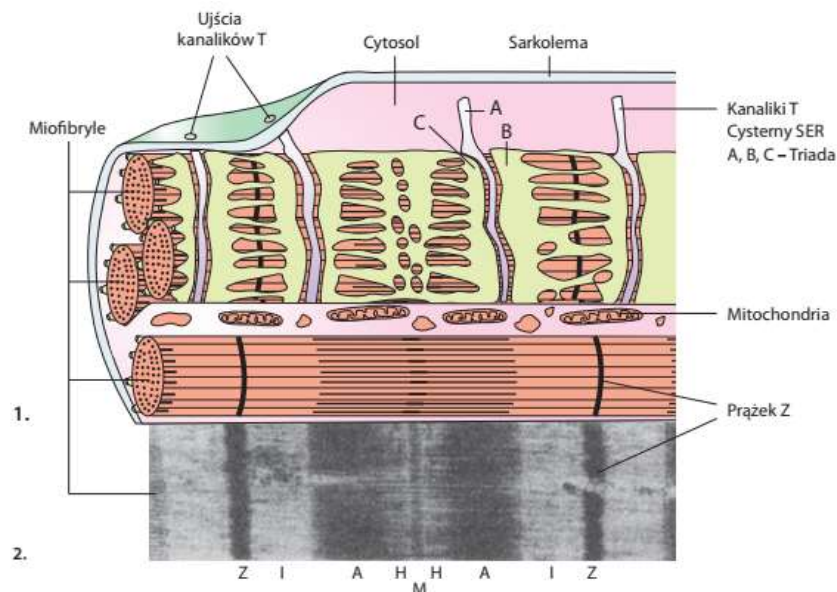
Sarcolemma = cell membrane

Fiber (cell) > myofibril (bundles of actin and myosin) > myofilaments (actin and myosin)

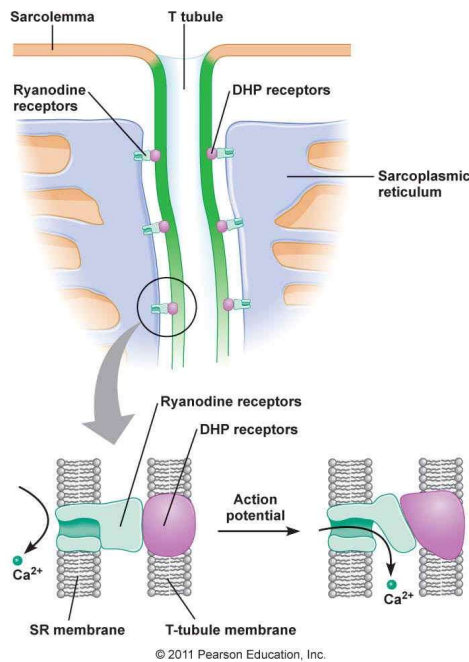


27

Triady. Kanaliki T na granicy A/I



28



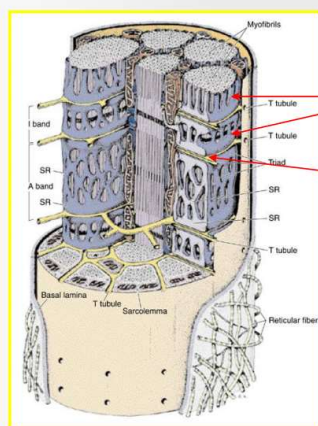
Stopka Łącząca

- DHP Kanalik T
- Ryanidynowy SER

29

Mięśnie szkieletowe

Siateczka sarkoplazmatyczna (SR) i system kanalików poprzecznych (T)



SR otacza każdą miofibrylę dookoła prążka A i I (każda składa się z dwóch płaskich zbiorników połączonych kanalikami).

Kanalik T (wpuklenie błony komórkowej) oddziela układ SR - leży na pograniczu A i I

Triada – układ zawierający kanalik T oraz przylegające do niego dwa zbiorniki SR.

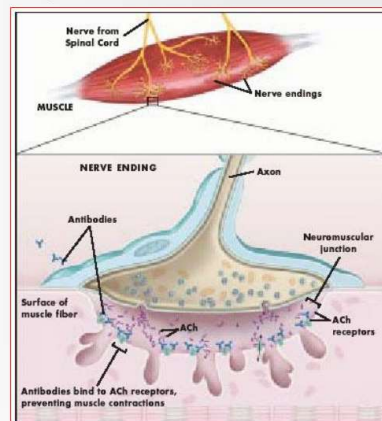
Cysterny siateczki sarkoplazmatycznej – magazyn Ca

Triada – szybkie przekazywanie sygnału do skurczu od błony komórkowej do błony siateczki sarkoplazmatycznej

30

Połączenie nerwowo-mięśniowe

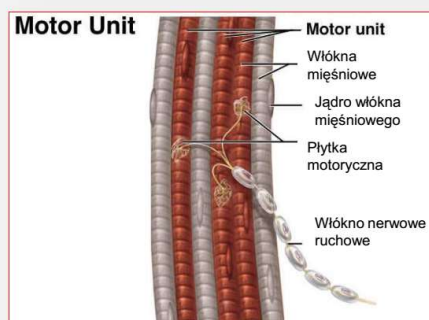
- Nieprawidłowości związane z funkcją – występowanie niektórych chorób np. miastenia (*myasthenia gravis*) – choroba autoimmunologiczna (produkcja przeciwciał przeciwko receptorom acetylocholiny) – utrudnienie (brak) skurczu
- Toksyna botulinowa – blokuje uwalnianie acetylocholiny z zakończeń nerwowych



33

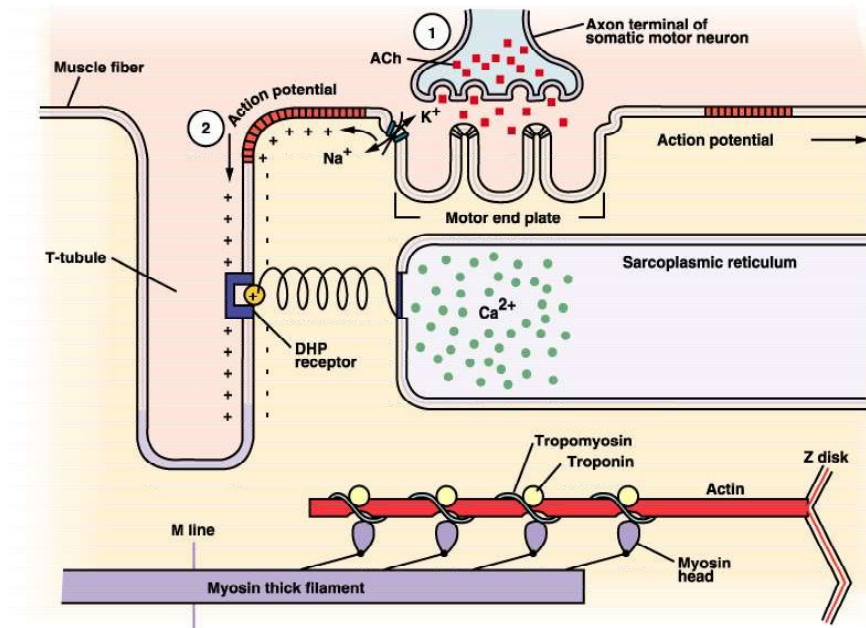
Jednostka motoryczna (*Motor unit*) lub Połączenie nerwowo-mięśniowe

Grupa włókien mięśniowych unerwionych przez jedno włókno nerwowe
Jedno włókno – 1 do ok. 160 włókien mięśniowych

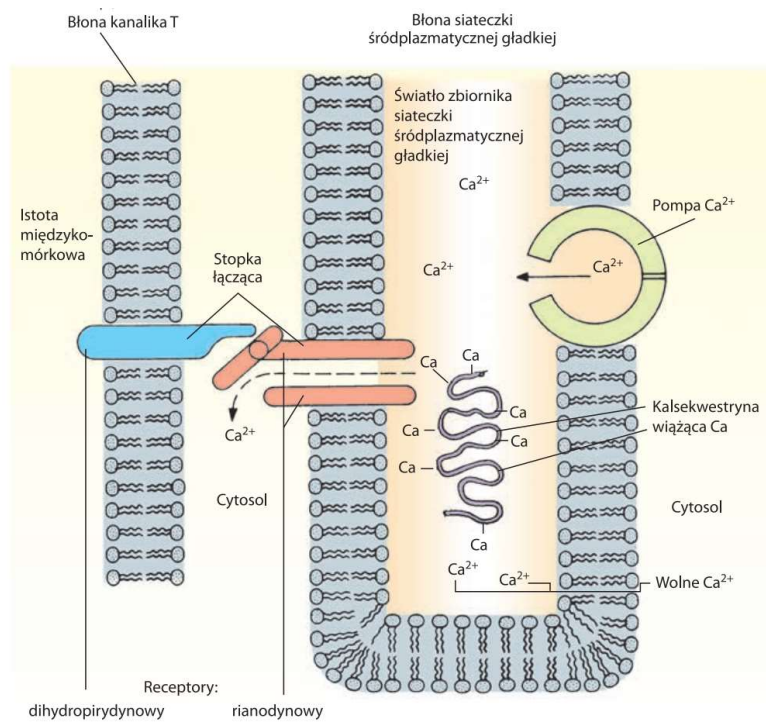


Budowa płytki motorycznej, jak synapsy nerwowej, mediator – acetylocholina

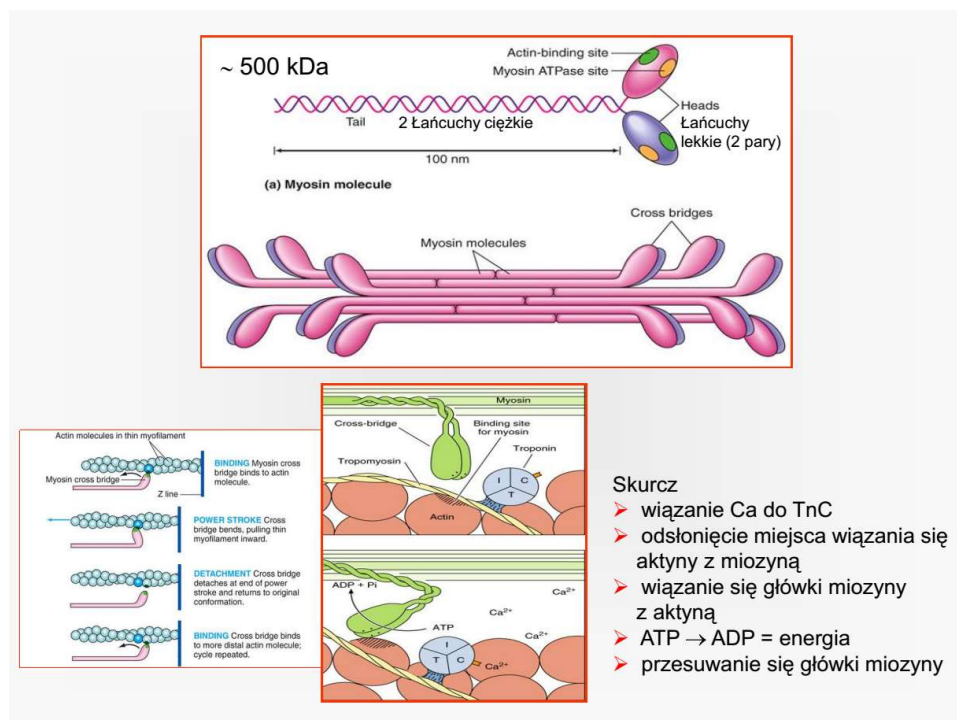
34



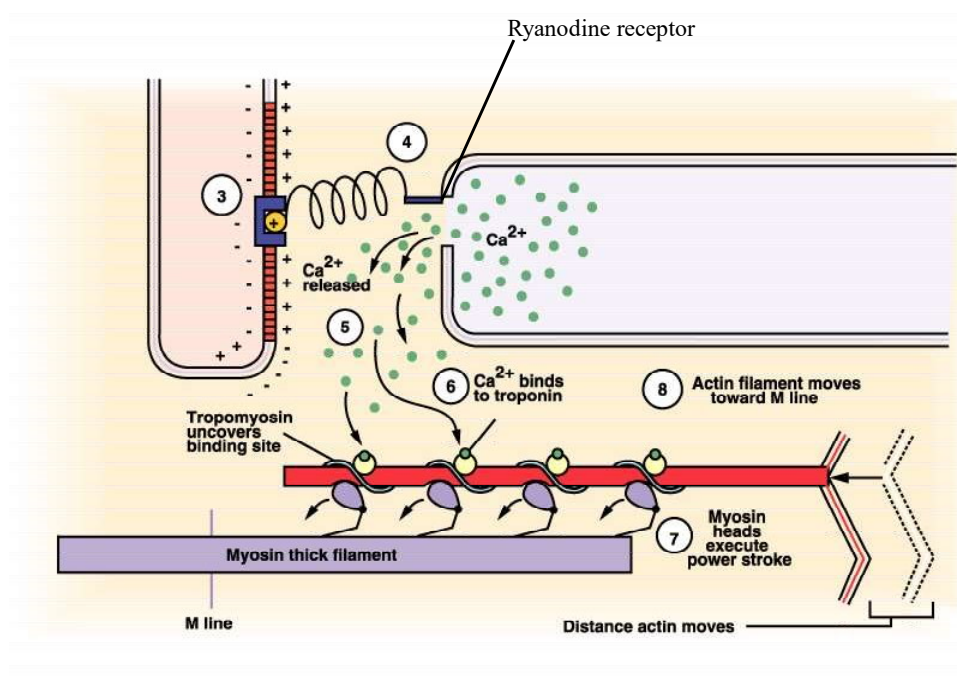
35



36



37



38

Step 1: Rigor state
The crossbridge is at a 45° angle relative to the filaments. The thick filament has a myosin head binding site and a nucleotide-binding site. The thin filament is composed of G-actin and has myosin binding sites numbered 1 to 4.

Step 2: ATP binds to nucleotide-binding site on myosin. Myosin then dissociates from actin.

Step 3: The ATPase activity of myosin hydrolyzes the ATP to ADP and inorganic phosphate. Both products remain bound to myosin.

Step 4: Relaxed state
The myosin head swings over and binds weakly to a new actin molecule. The crossbridge is now at 90° relative to the filaments. ADP and P_i are bound to the nucleotide-binding site.

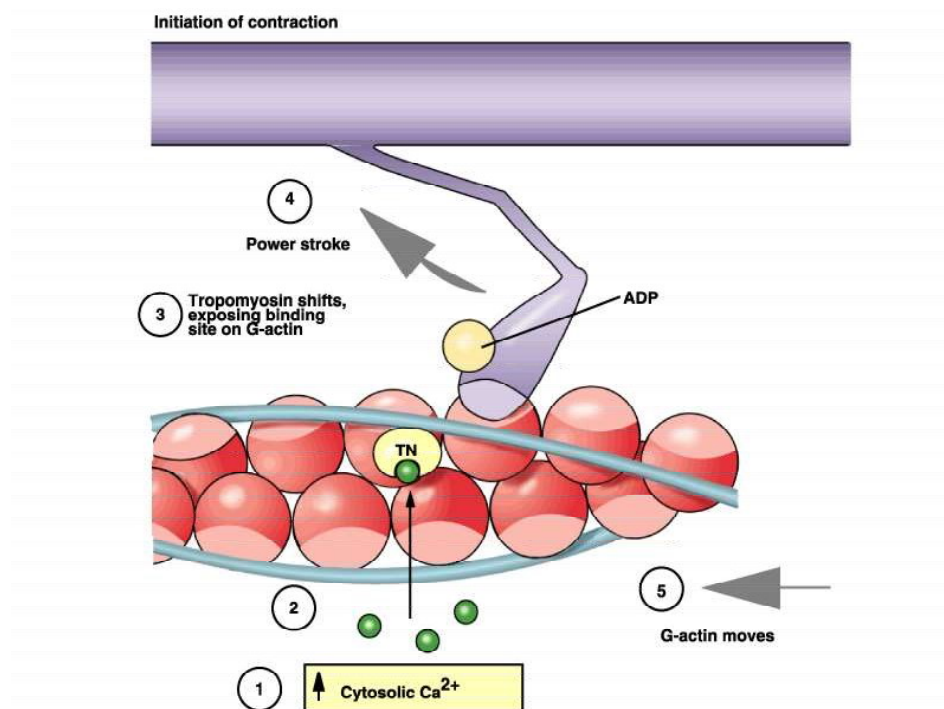
Step 5: Power stroke
Release of P_i initiates the power stroke. In the power stroke, the myosin head rotates on its hinge, pushing the associated actin filament past it. ADP remains bound.

Step 6: At the end of the power stroke, the myosin head releases the ADP and resumes the tightly bound rigor state.

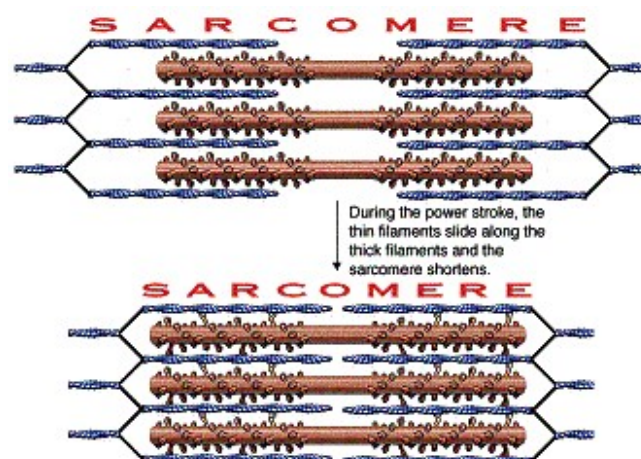
Relaxed state

The diagram illustrates the relaxed state of a myofibril. A thick purple myosin filament is at the top, with a myosin head extending downwards. The myosin head is purple and has a yellow oval labeled P_i and a yellow circle labeled ADP attached to its base. A blue line representing tropomyosin runs horizontally across the middle, with a yellow oval labeled TN (troponin) attached to it. The tropomyosin is labeled "Tropomyosin blocks binding site on G-actin". Below the tropomyosin is a row of red spheres representing G-actin. Labels with leader lines point to the Myosin head, ADP, P_i , Troponin, Tropomyosin, and G-Actin.

20



41

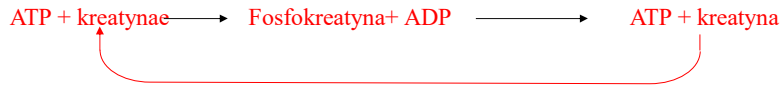


42

Czynniki wpływające na siłę skurczu mięśni

- *Energy supply*

- Glikoliza beztlenowa; glikoliza tlenowa; metabolizm FA; metabolizm fosfokreatyny



- *Długość mięśni*

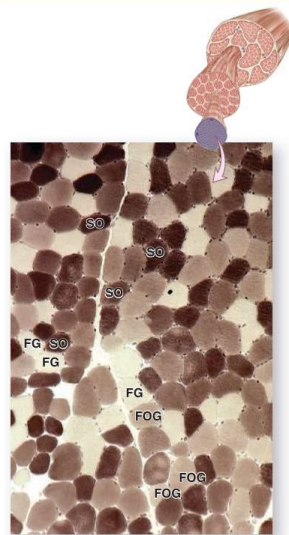
- **Komórki mięśniowe typu I** są komórkami wąskimi, czerwonymi, bogatymi w mioglobinę i mitochondria. Jako źródła energii używają fosforylacji tlenowej. Charakteryzują się wolnym skurczem i dużą wytrzymałością na zmęczenie. Szczególnie licznie występują w mięśniu trójęglowym ramienia.

- **Komórki mięśniowe typu IIa** są komórkami czerwonymi o średniej szerokości i mają cechy komórek typu I i IIb. Zawierają mioglobinę i mitochondria, ale w umiarkowanej ilości. Charakteryzują się szybkimi skurczami, a jako źródła energii używają fosforylacji tlenowej i glikolizy. Charakteryzują się stosunkowo szybkim zmęczeniem.

- **Komórki mięśniowe typu IIb** są komórkami szerokimi, białymi. Zawierają niewiele mioglobiny i mitochondriów. Szybko ulegają zmęczeniu. Jako źródła energii wykorzystują glikolizę beztlenową, spalając glukozę. Są liczne w mięśniach wykonujących szybkie i krótkotrwałe ruchy, np. w mięśniach okoruchowych.

43

FIGURE 10-15 Skeletal muscle fiber types.



Cross section of a skeletal muscle stained histochemically for myosin ATPase at acidic pH, which reveals activity of the "slow" ATPase and shows the distribution of the three main fiber types. Slow oxidative (SO) or type I fibers have high levels of acidic ATPase activity and stain the darkest. Fast glycolytic (FG) or type IIb fibers stain the lightest. Fast oxidative-glycolytic (FOG) or type IIa fibers are intermediate between the other two types (X40). ATPase histochemistry of unfixed, cryostat section, pH 4.2.

44

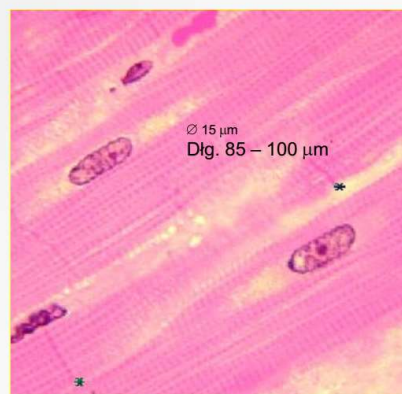
Mięsień sercowy

45

Mięsień sercowy (mezoderma)

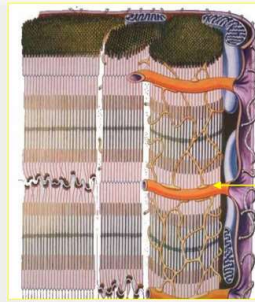
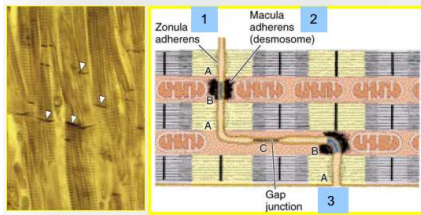
Komórki mięśnia sercowego, kardiocyty, kardomiocyty

- Kształt rozgałęzionych cylindrów
- 1 lub 2 jądra położone centralnie
- Otoczone cienką warstwą tkanki łącznej (endomysium) – bogata sieć naczyń
- Układ miofibrilli, jak w mięśniu szkieletowym (poprzeczne prążkowanie)
- Słabo rozwinięta SER
- Bardzo liczne mitochondria (40% objętości cytoplazmy)
- Połączone wstawkami



46

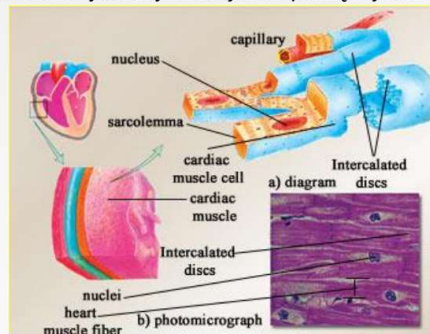
Mięsień sercowy



Kanalik T umiejscowiony w pobliżu linii Z, przylega do jednej cysterny SR → diada.

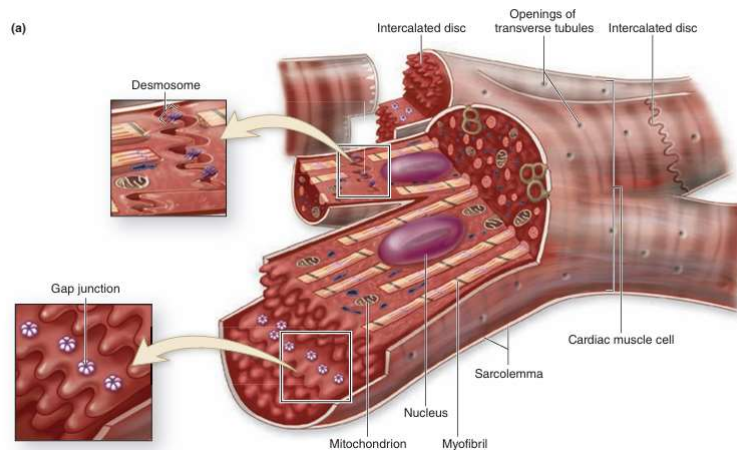
Kanalik T

1. Obwódka zamykająca - miejsce przyczepu filamentów aktynowych
2. Desmosom - połączenie komórek między sobą
3. Połączenia typu neksus - szybka wymiana jonów pomiędzy komórkami



47

FIGURE 10-16 Cardiac muscle.



48

INTERCALATED DISC

junction between cardiomyocytes

fascia adherens
desmosome
nexus

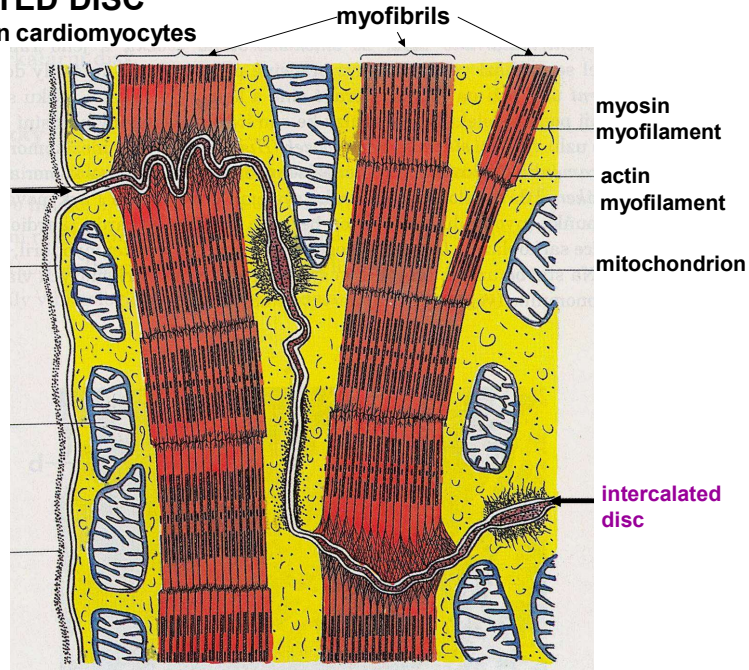
intercalated disc

sarcolemma

mitochondrion

external lamina

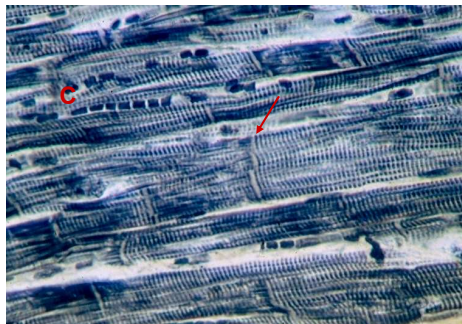
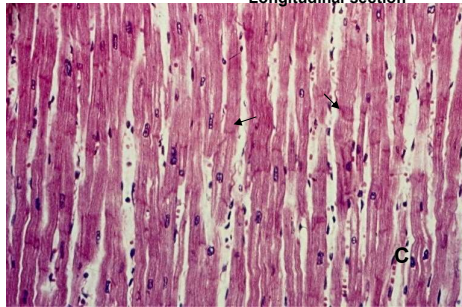
Scheme: Vacek
Histologie, 1995



49

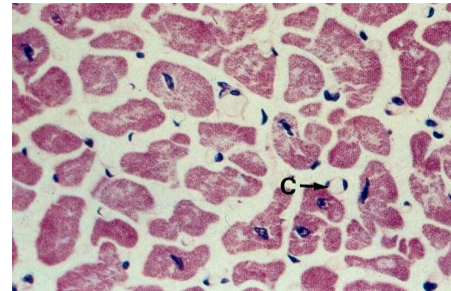
Cardiac muscle, myocardium

Longitudinal section



Heidenhain's method shows cross-striation (Collection ÚHIEM)

Photomicrographs (HE method): Wheater's Functional Histology, 2000



Cardiomyocytes on the cross-section, HE

Elongated branched cardiomyocytes joined by **intercalated discs** (arrows) form trabecular tissue. Between cardiomyocytes is **endomysium** (very vascular loose connective tissue with vessels, C = capillary)

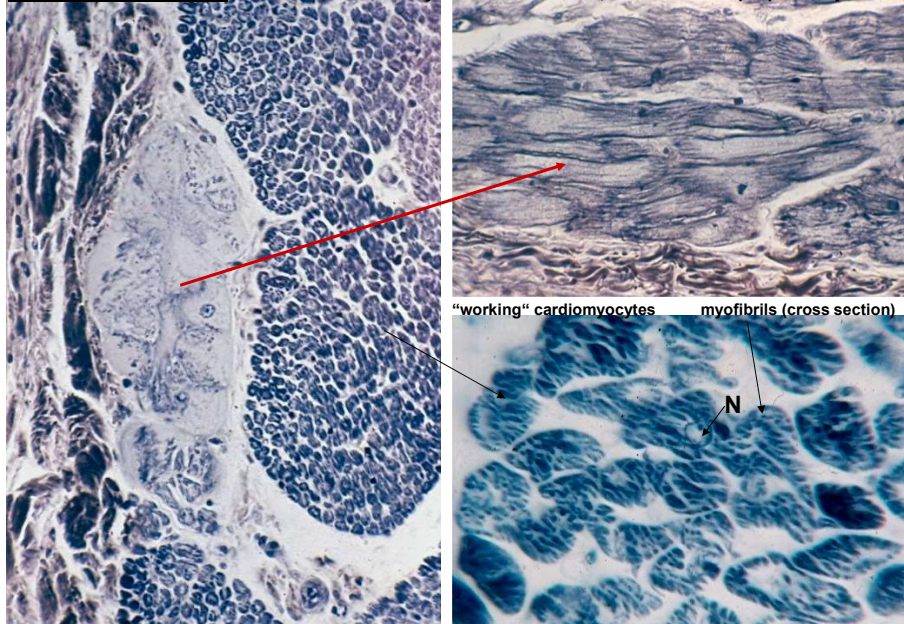
Contractile structures: MYOFIBRILS
T tubules at Z line (form **diads** with one terminal cisterna)

Cardiomyocytes of right atrium produce **atrial natriuretic factor**

50

Impulse generating and conducting system, Heidenhain's methods

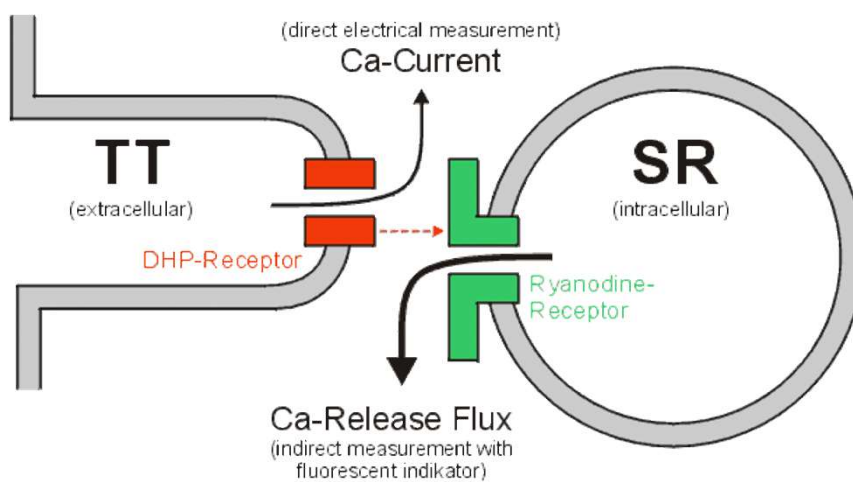
Specialized cardiomyocytes: nodal cells, cells of Purkyně fibers: voluminous, small number of peripheral myofibrils (⚡)



Microphotographs: Collection of ÚHIEM

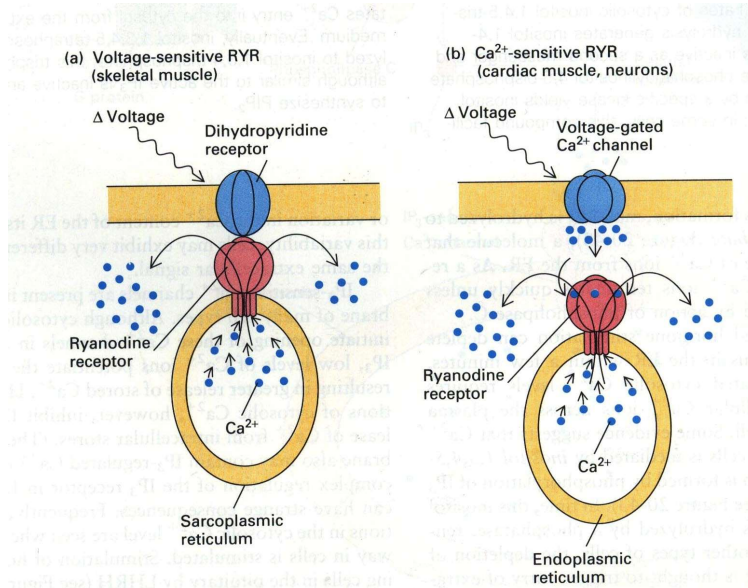
51

Uwalnianie Ca w mięśniu sercowym



52

Skeletal vs. Cardiac



53

Aspekt kliniczny

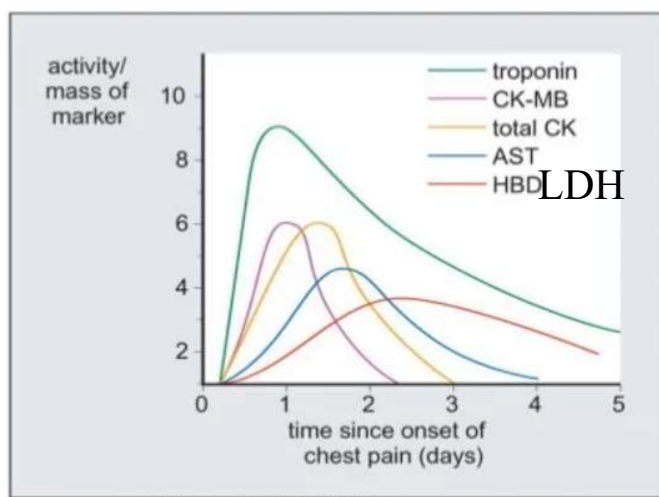
- W błonie cystern SR białko transportujące jony wapnia, regulowane przez białko fosfolamban – rola w zmianach funkcji rozkurczowej serca, jego chorobach .
- Fosfolamban – regulacja przez hormony tarczycy (choroby tarczycy)
- Fosfolamban – wypełnianie się serca krwią

Aspekt lekarski

Fosfolamban odgrywa rolę w zmianach funkcji rozkurczowych serca w jego chorobach oraz w nadczynności tarczycy (chorobie Gravesa–Basedowa, patrz s. 477). Tutaj pod wpływem nadmiaru hormonu T_3 , wpływającego na fosfolamban, dochodzi do przyspieszenia akcji serca (tachykardii). Szczególną cechą kardiomiocytów jest występowanie w ich miofibrylach swoistej troponiny I, niewystępującej w miofibrylach komórek mięśni szkieletowych. Po zawale serca, powodującym śmierć kardiomiocytów fragmentu mięśnia sercowego, we krwi pojawia się **swoista troponina I oraz izoenzym MB kinazy kreatynowej (CK-MB)**. Ich stężenie w surowicy krwi jest cenną wskazówką rokowniczą w zawale serca.

54

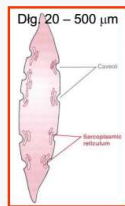
Dynamika zmian markerów w OZW



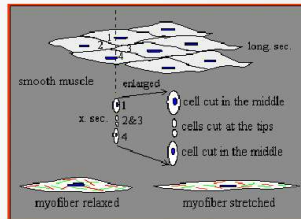
55

Mięśnie gładkie

56



Miocyt gładki



Tkanka mięśniowa gładka (mezenchyma)

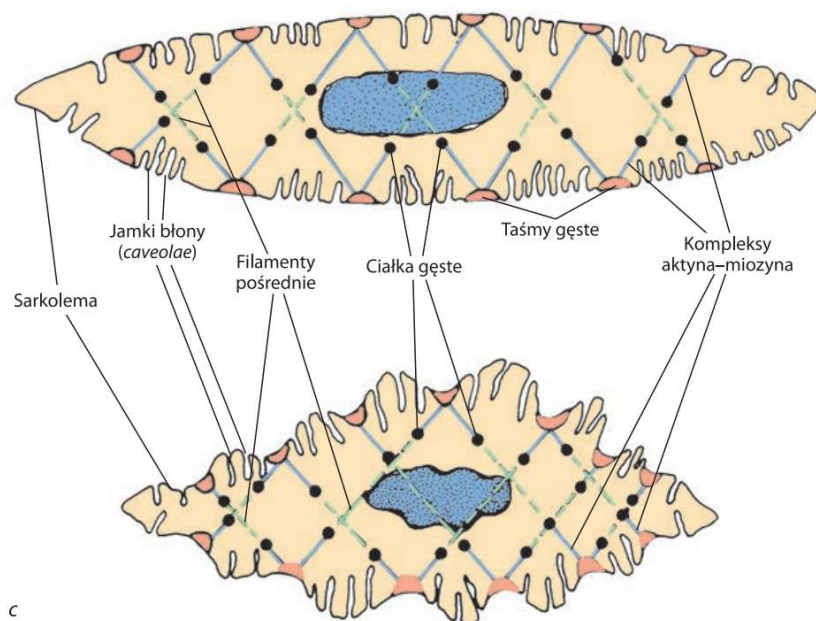
- Kształt wrzecionowaty.
- Jedno jądro położone centralnie.
- Sarkolema tworzy liczne wgłobienia – jamki (caveolae) – odpowiednik kanalików T
- Na wewnętrznej powierzchni sarkolemy liczne taśmy gęste (odpowiednik linii Z sarkomeru), w sarkoplazmie pola gęste (α aktynina).
- Wiązki filamentów aktynowych i miozynowych biegną w poprzek komórki (brak prążkowania).
- Liczne filamenty desminowe – stabilizacja położenia ciałek gęstych.
- Filamenty wimentynowe
- SER bez specyficznego uporządkowania.
- RER – synteza kolagenu i proteoglikanów.
- Połączenia typu neksus (jony Ca).

Powolna aktywność ATPazy

Regulowany przez łańcuchy lekkie miozyny

Aktyna nie zawiera składników troponiny ani tropomiozyny

57

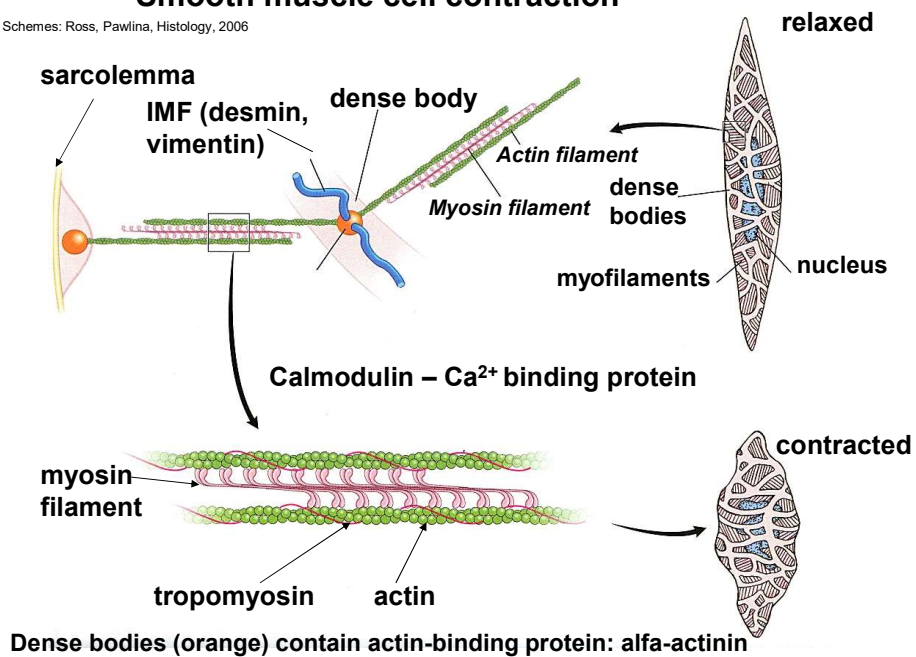


c

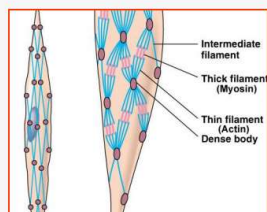
58

Smooth muscle cell contraction

Schemes: Ross, Pawlina, Histology, 2006

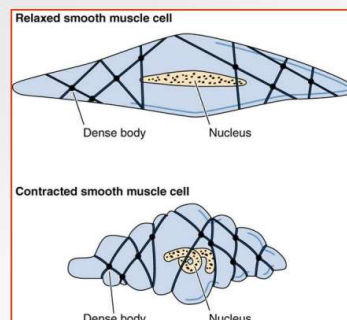
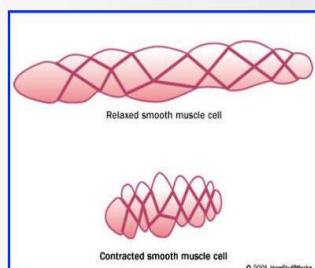


59

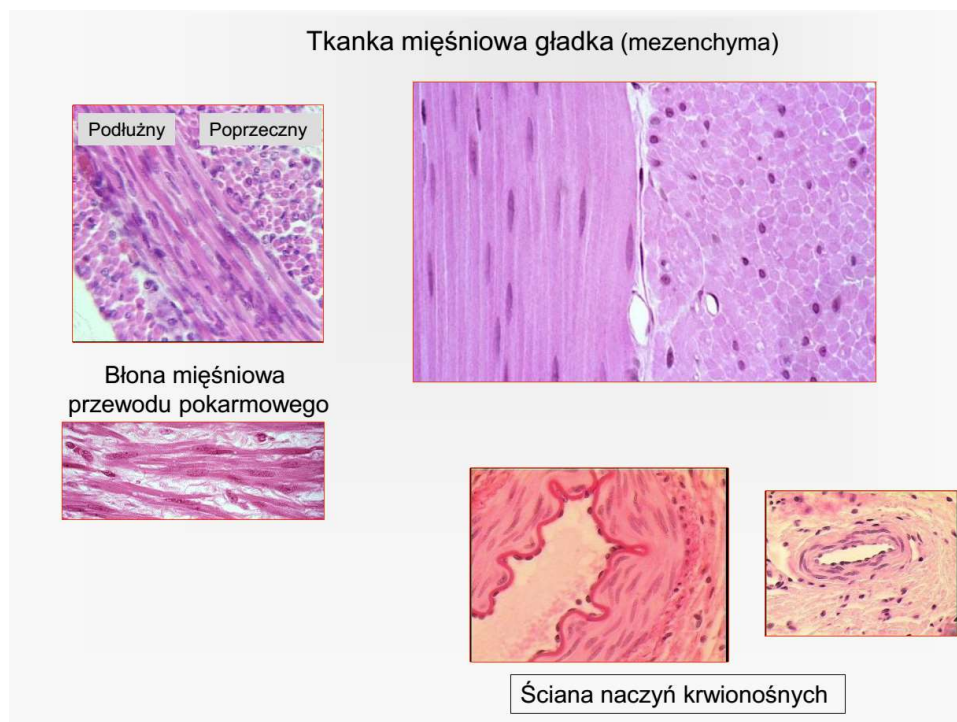


Skurcz miocyta gładkiego uzależniony od struktury i organizacji filamentów aktynowych i miozynowych. Wiązki filamentów ułożone w postaci krat.

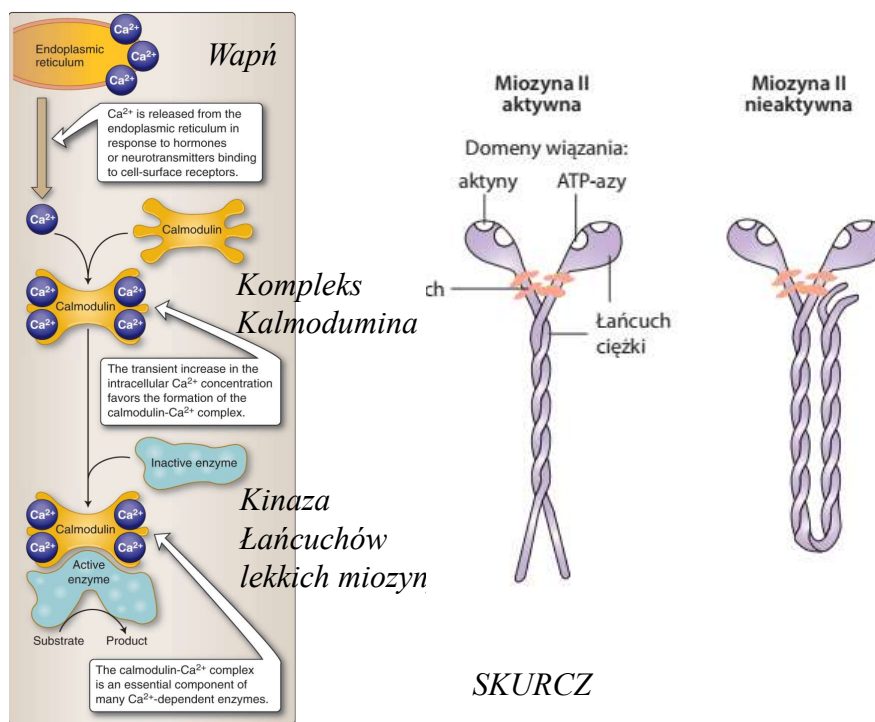
- Skurcz inicjowany napływem Ca
- Miozyna wiąże się z aktyną, z chwilą fosforylacji łańcucha lekkiego miozyny
- Akceptorem Ca – kalmodulina (brak kompleksu troponin)



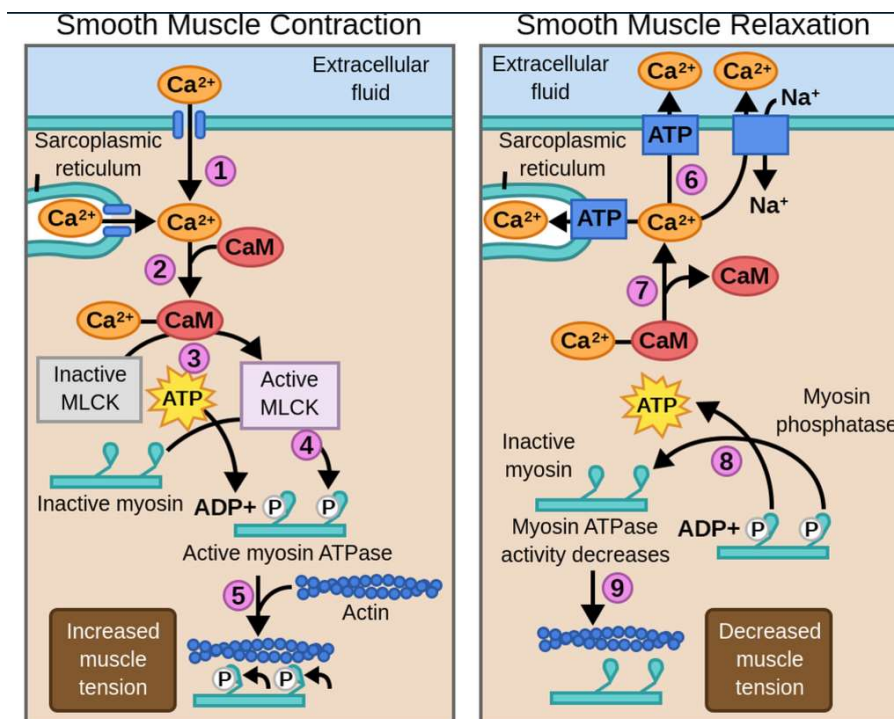
60



61



62

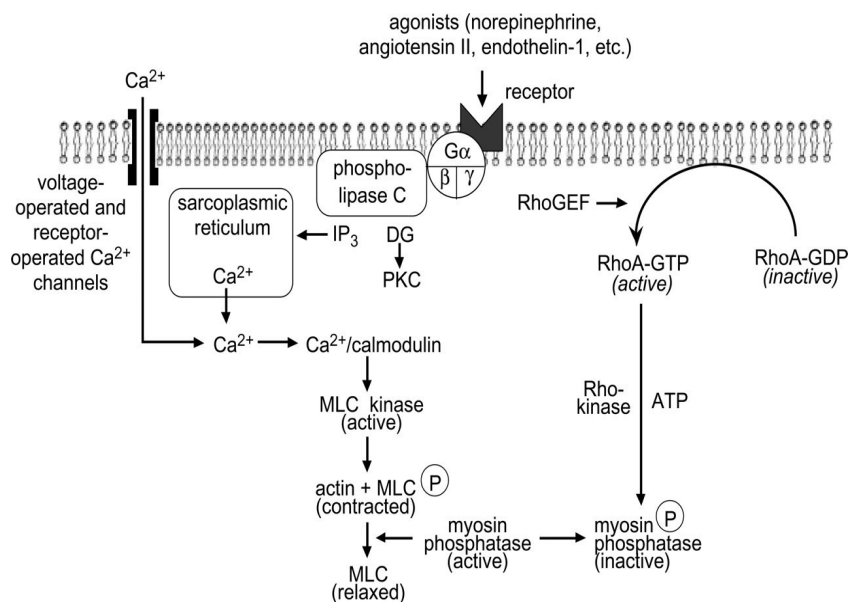


63

Indukcja skurczu mięśni gładkich i napięcia tonicznego

- **Śpontaniczne wytwarzanie potencjału czynnościowego sarkolemy** w jednej komórce, np. w rozrusznikowej komórce śródmięśniowej (Cajala), i rozprzestrzenianie się tego potencjału w tkance mięśniowej gładkiej. Komórka wytwarzająca cyklicznie takie potencjały nosi nazwę rozrusznika. Przykładem takich rozruszników są komórki ściany jelita lub kielichów małych nerek. Komórki rozrusznikowe uwalniają cyklicznie do cytosolu Ca^{2+} , które w postaci prądu rozprzestrzeniają się przez synapsy elektryczne do innych miocytów. Wywołuje to powtarzające się fale depolaryzacji błony tych komórek i skurcze kielichów
- **Impulsy nerwowe** z układu autonomicznego współczulnego lub przywspółczulnego.
- **Hormony**, a przede wszystkim przez prostaglandyny, leukotrieny, lipoksyny, noradrenalinę i adrenalinę, angiotensynę 2 i inne.
- **Kininy**, tj. krótkie peptydy odcinane przez proteazy od białek surowicy.
- **Tlenek azotu (NO)**, który wytwarzany jest przez wiele rodzajów komórek i może rozprzestrzeniać się parakrynowo jako gaz lub do odległych komórek po związaniu z metalami i grupami SH. Tlenek azotu wytwarzany jest w komórkach z aminokwasu – argininy. Aktywuje enzym – cyklazę guanylanową, która katalizuje wtedy syntezę informatora II rzędu – cGMP. Ten ostatni prowadzi do zmniejszenia stężenia Ca^{2+} w cytosolu, powodując rozkurcz komórek mięśniowych.

64

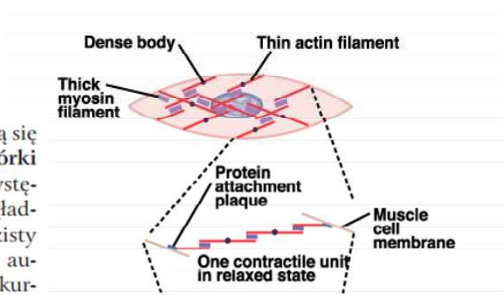


DOI: (10.1152/advan.00025.2003)

65

Mięśnie gładkie

W wielu mięśniach gładkich znajdują się komórki rozrusznikowe, czyli komórki śródmiaższowe (Cajala). Na ogół występują one między warstwami mięśni gładkich. Mają kształt owalny lub gwiaździsty i pełnią funkcje rozruszników, które automatycznie wytwarzają impulsy do skurczów mięśni gładkich.

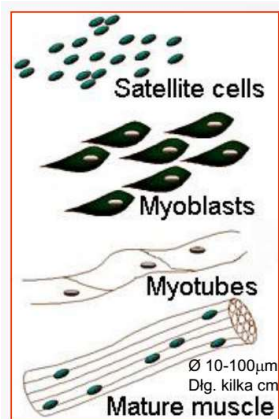


Unerwienie mięśni gładkich. Miocyty gładkie w zależności od miejsca występowania są unerwione przez nerwy współczulne lub przywspółczulne. Zakończenia aksonów (włókna nerwowe zazwojowe) tych nerwów mają liczne rozszerzenia i wytwarzają synapsy z komórkami mięśniowymi. Depolaryzacja błony aksonu powoduje uwalnianie w synapsach acetylocholino (układ przywspółczulny) lub noradrenaliny (układ współczulny). Neurotransmitery są wiązane przez receptory sarkolemy, co prowadzi do skurczu.

66

Miogeneza i regeeneracja

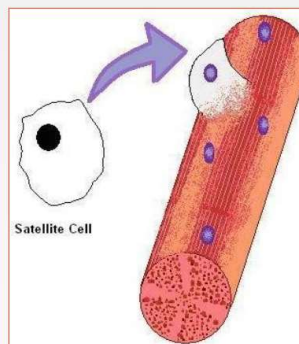
67



Mięśnie szkieletowe (poprzecznie prążkowane)

Mezoderma somitów – miotomy

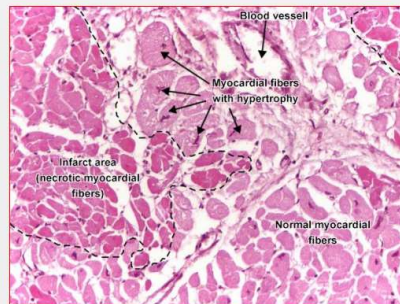
- ❖ Mioblasty
- Specyficzne dla mioblasta Miogenne Czynniki Regulacyjne - MRFs (*Myogenic Regulatory Factors*)
 - MyoD
 - Myf5
- ❖ Postmitotyczne, wielojądrowe miotuby
- ❖ Dojrzałe włókno mięśniowe



68

Regeneracja tkanki mięśniowej

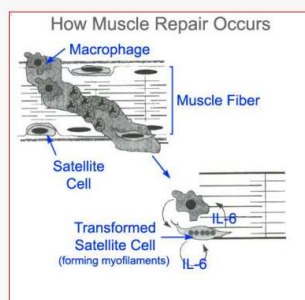
- Mięsień sercowy nie ma właściwości regeneracyjnych (tylko wczesne dzieciństwo)



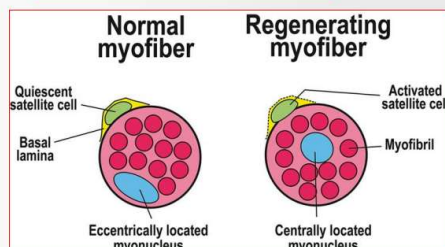
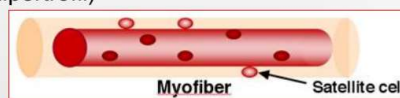
- Mięśnie gładkie
Zdolne do aktywnej regeneracji. Po uszkodzeniu miocyty przechodzą podział mitotyczny

69

Regeneracja tkanki mięśniowej



- **Mięsień szkieletowy**
właściwości proliferacyjne komórek satelitarnych (udział w naprawie, utrzymaniu struktury mięśnia i hipertrofii)

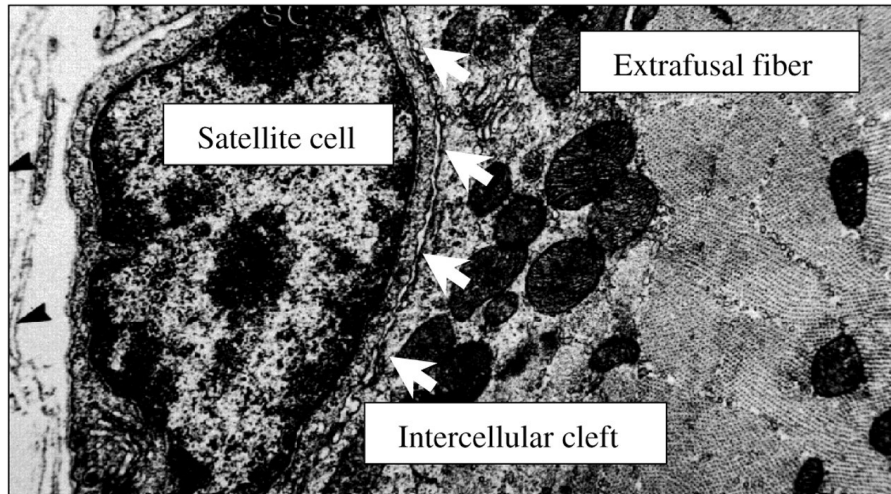


Jądra położone centralnie

Komórki satelitarne

- spoczywają na sarkolemie, otoczone blaszką podstawną
- u dorosłych w odpowiedzi na stres lub uszkodzenie mogą proliferować
- ekspresja MyoD indukuje proliferację

70



71

Koniec

72