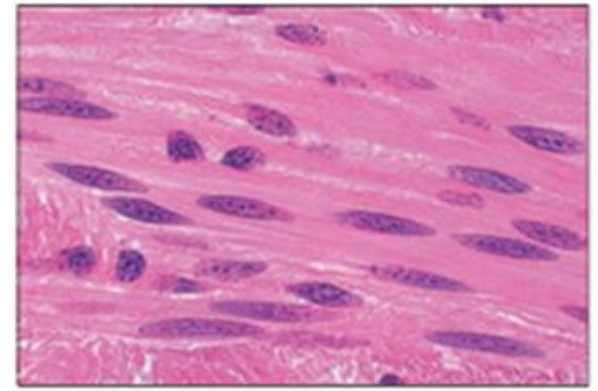
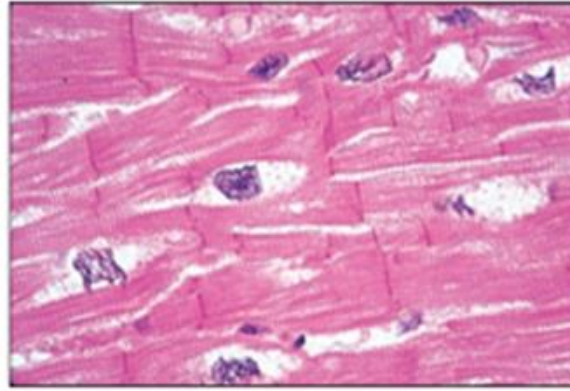
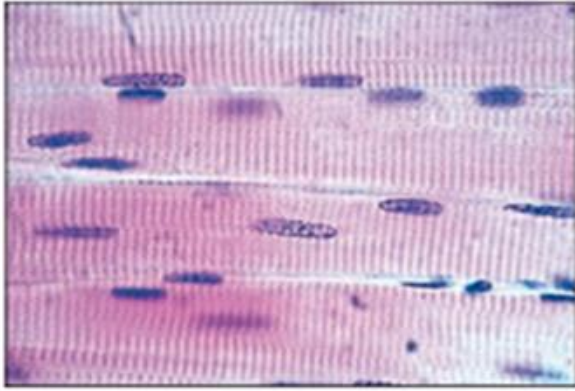


TKANKA MIĘŚNIOWA



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

Muscle types

Skeletal muscle

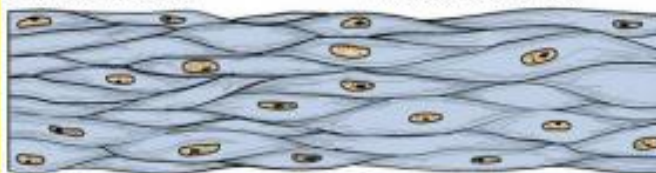


Nuclei

Cardiac muscle



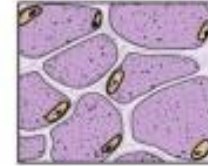
Smooth muscle



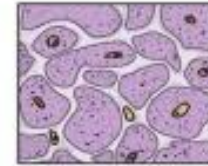
Intercalated disks

Activity

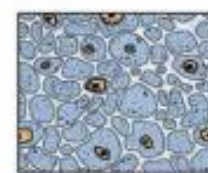
Cross sections



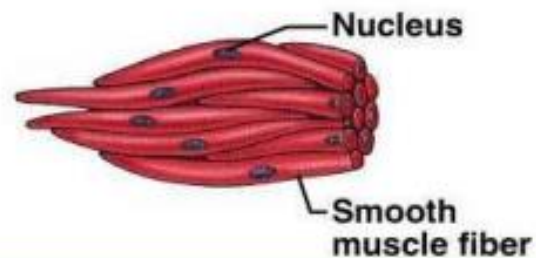
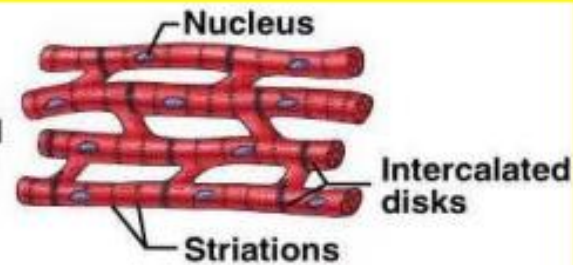
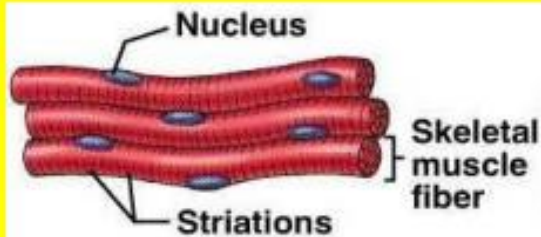
Strong, quick
discontinuous
voluntary
contraction



Strong, quick
continuous
involuntary
contraction

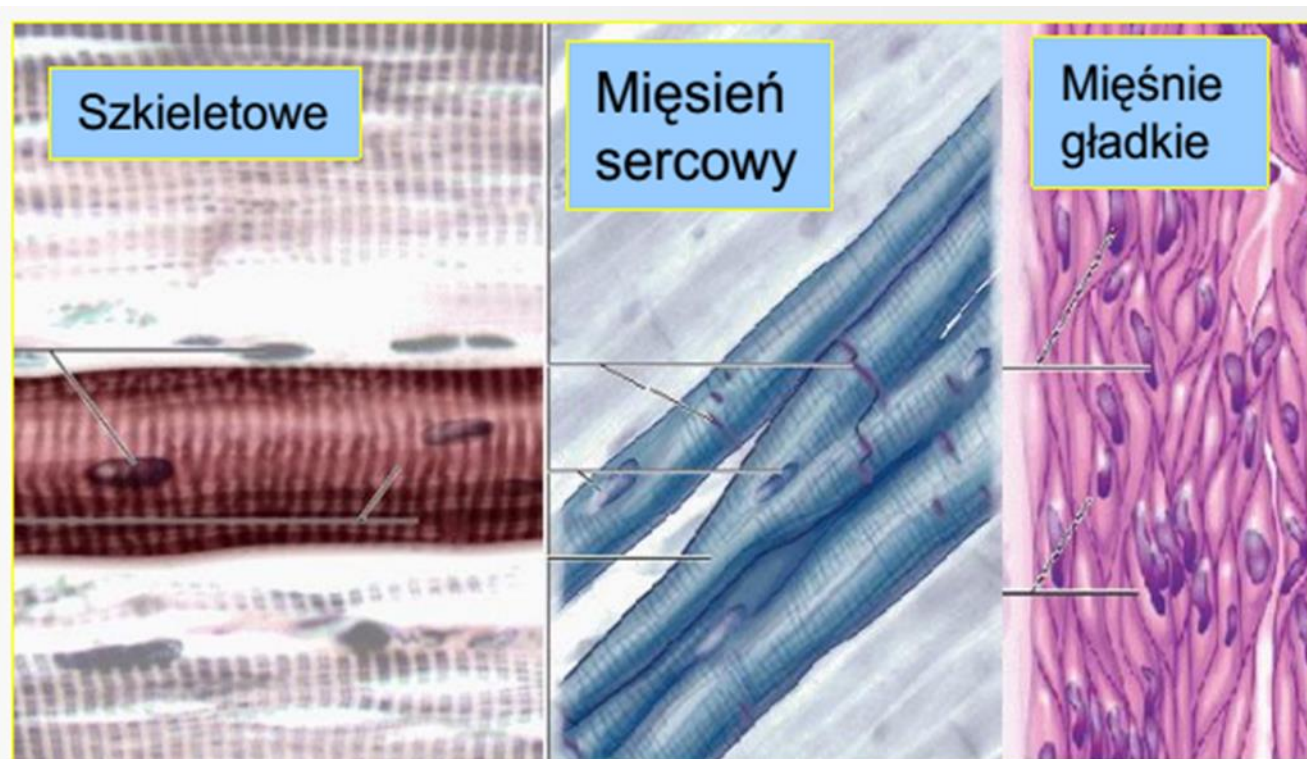


Weak, slow
involuntary
contraction

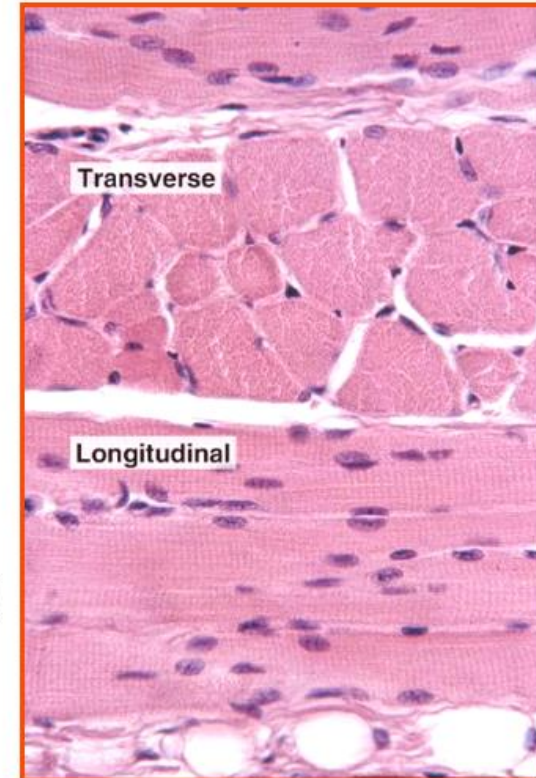
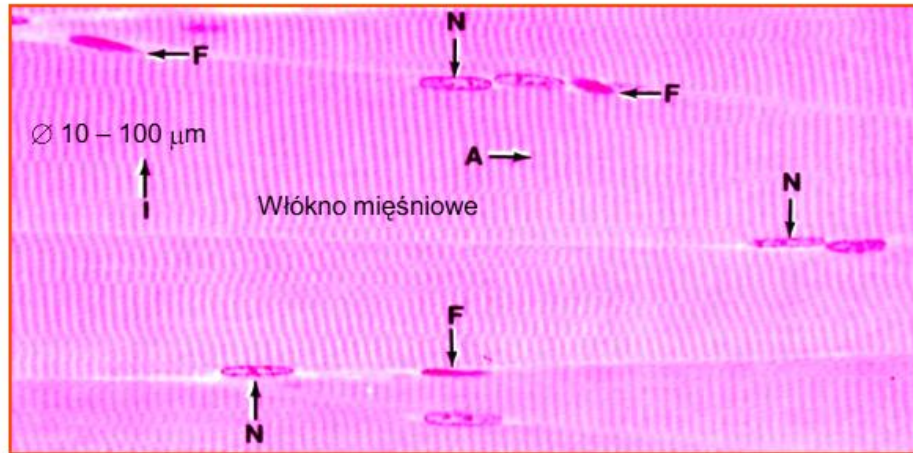


Tkanka mięśniowa (*textus muscularis*) składa się głównie z wydłużonych komórek, które stanowią miąższ (*parenchyma*) narządu, jakim jest **mięsień** (*musculus*, gr. *mys*). Komórki mięśniowe są otoczone **blaszką podstawną**, która razem z tkanką łączną właściwą luźną tworzy jego zrąb (*stroma*). Komórki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

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



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

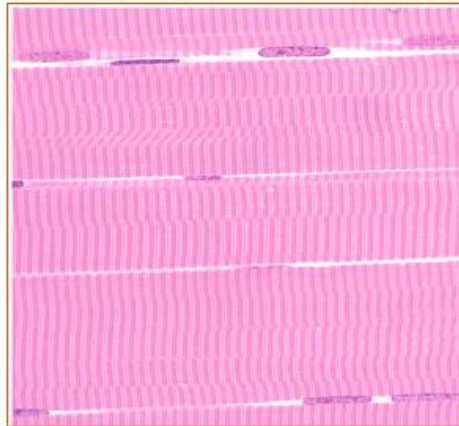
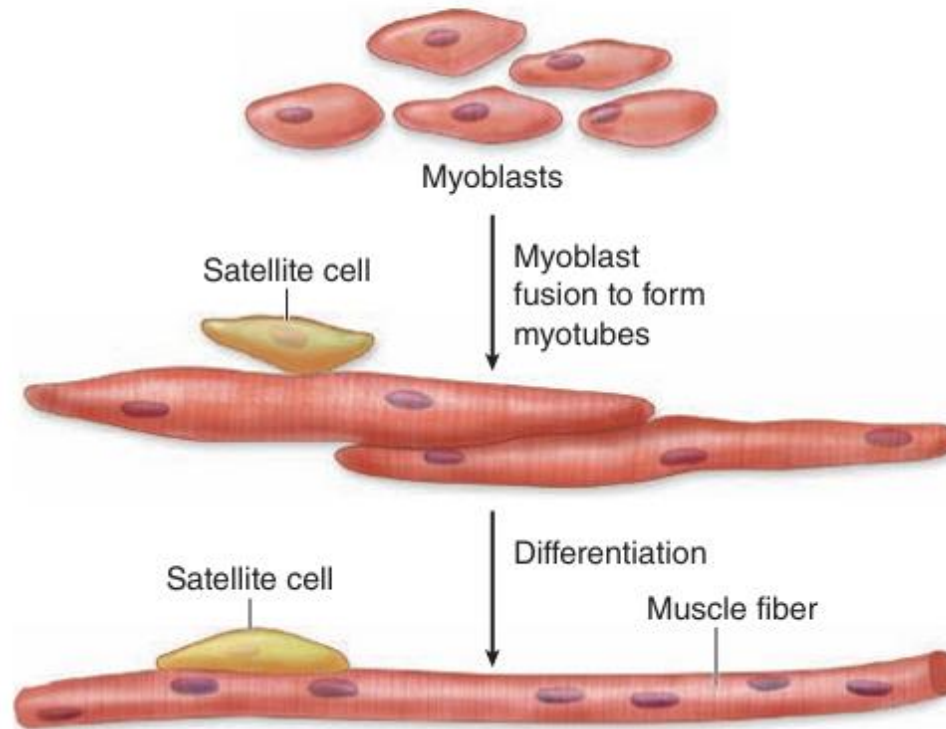


FIGURE 10–2 Development of skeletal muscle.

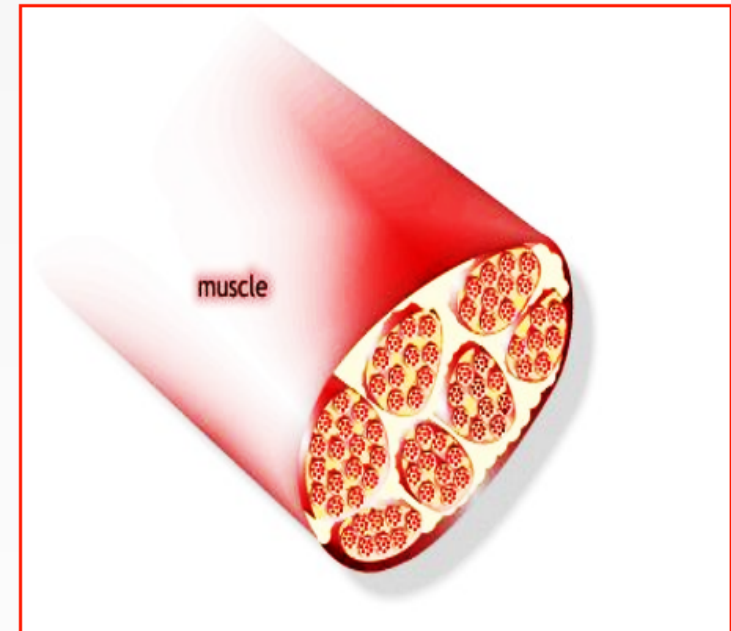
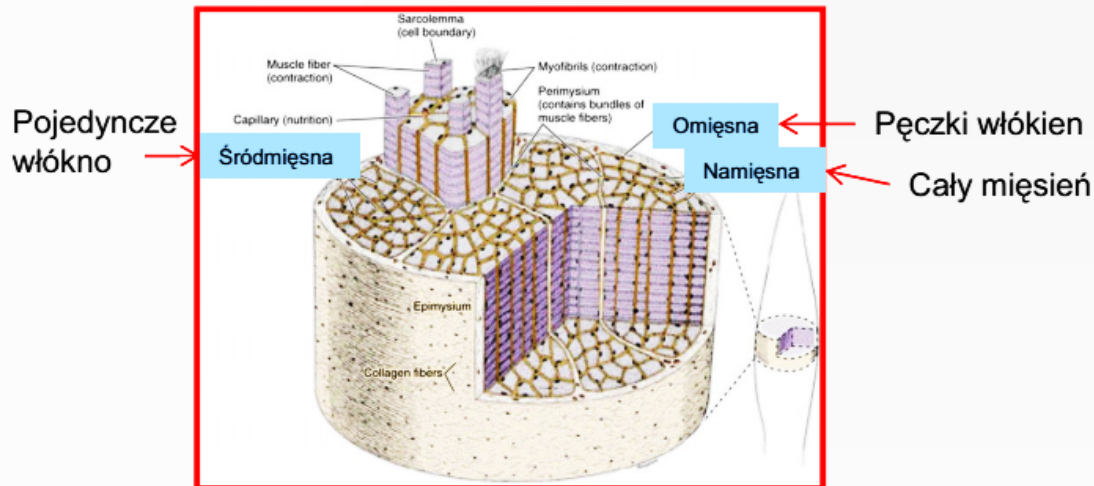


Skeletal muscle begins to differentiate when mesenchymal cells, called **myoblasts**, align and fuse together to make longer, multinucleated tubes called **myotubes**. Myotubes synthesize the proteins to make up myofilaments and gradually begin to show cross-striations by light microscopy. Myotubes continue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

Mięśnie szkieletowe

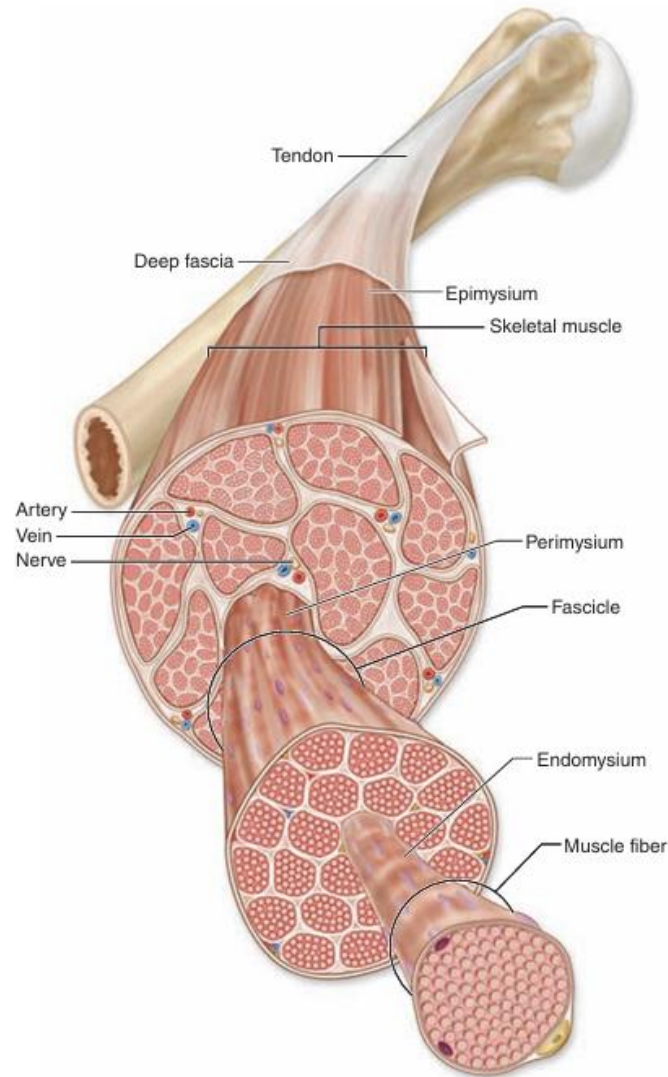
- Namięśna (epimysium) – tkanka łączna zwarta
- Omięśna (perimysium) – otacza pęczki włókien mięśniowych
- Śródmięśna (endomysium) – tkanka łączna luźna (włókna siateczkowe i istota podstawowa)



Funkcja tkanki łącznej

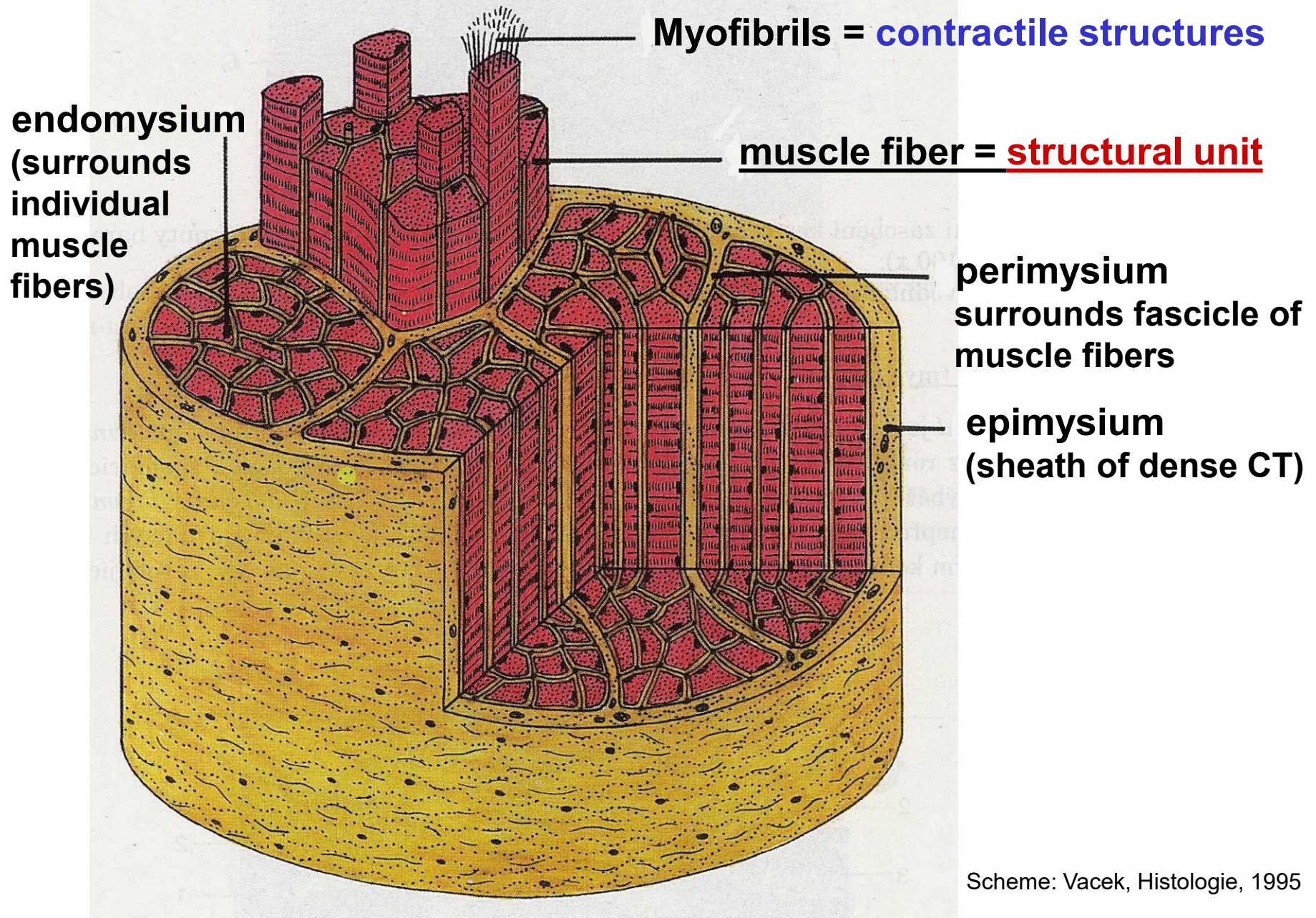
- mechaniczne przenoszenie siły generowanej przez kurczące się włókna mięśniowe
- wprowadzanie naczyń krwionośnych i limfatycznych. Naczynia włosowate (o śródbłonku ciągłym) tworzą gęstą sieć, która biegnie pomiędzy włóknami i równoległe do nich

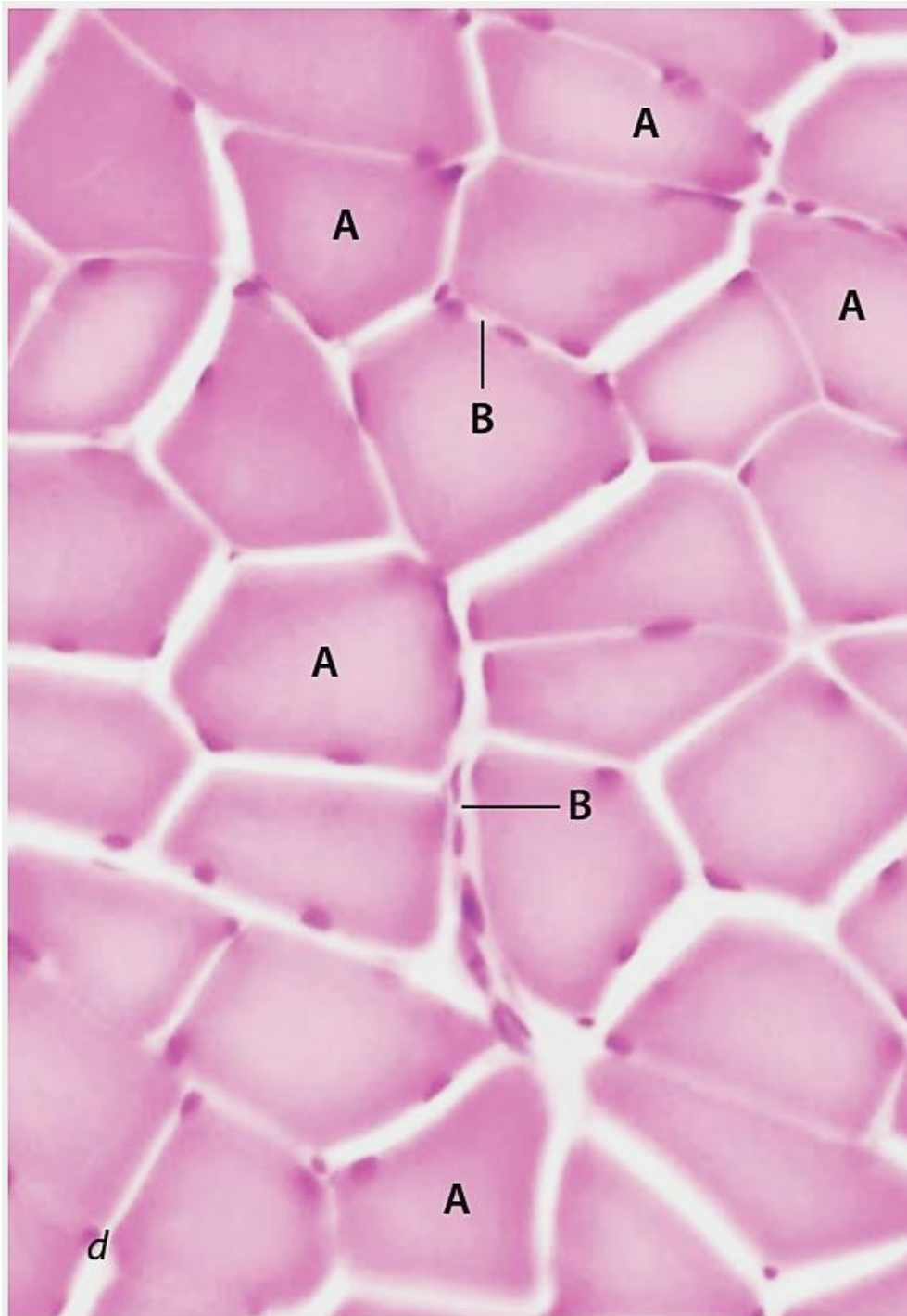
FIGURE 10–3 Organization of skeletal muscle.



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**.

Organization of the skeletal muscle





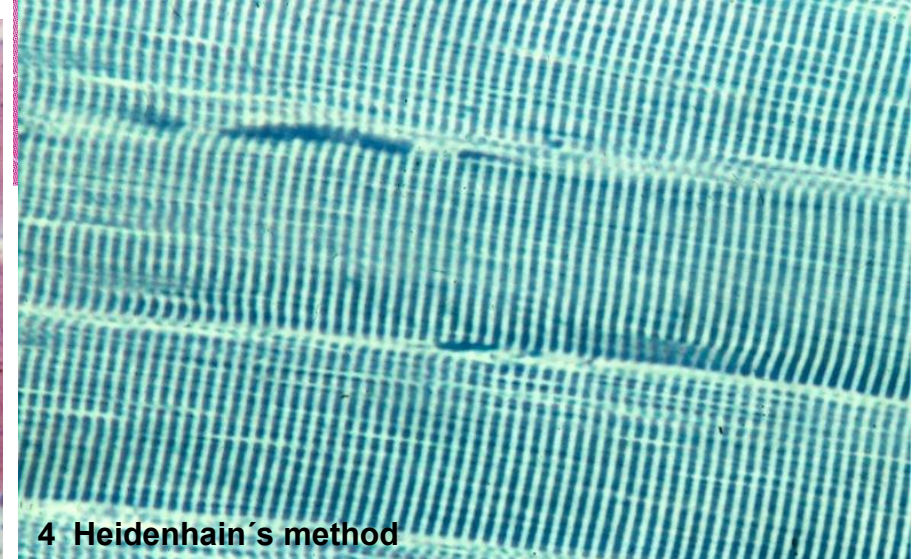
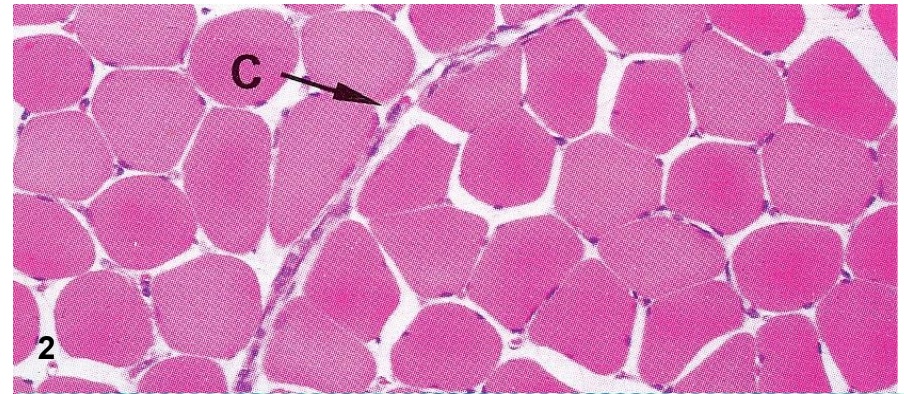
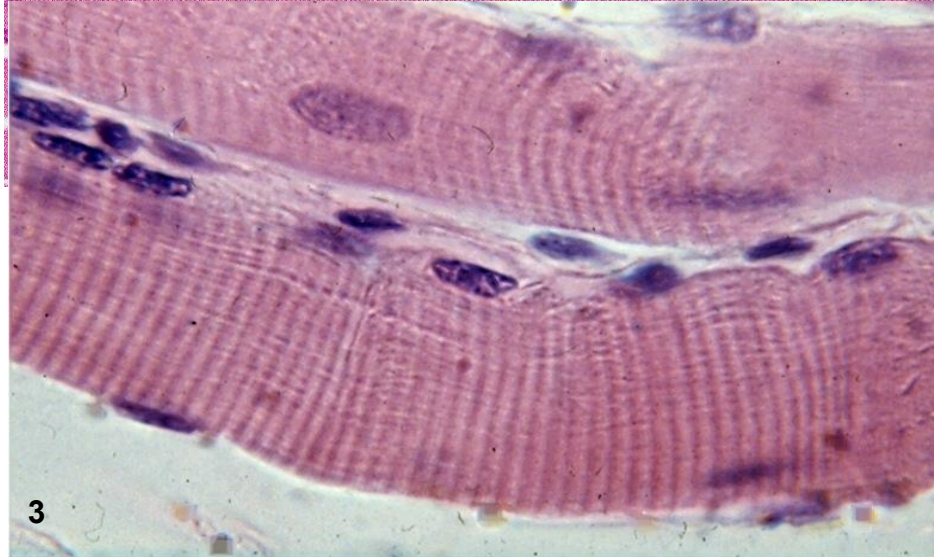
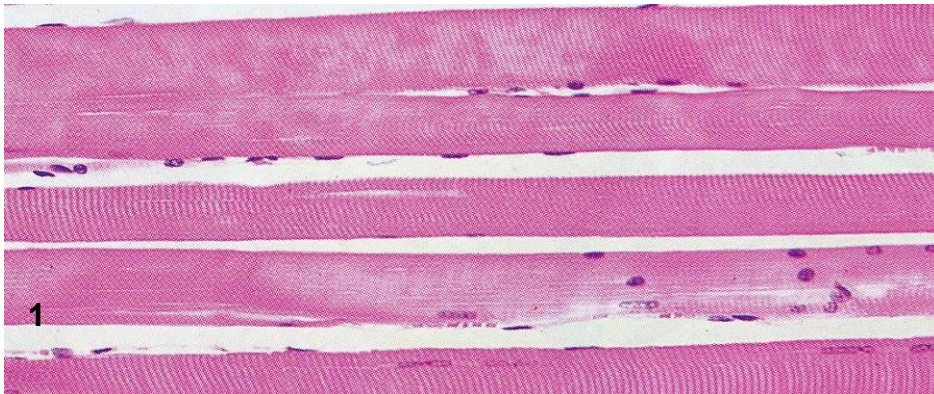
B – śródmieśna.

Włókno mięśniowe (wielojądrowe cylindryczne syncytium, jądra znajdujące się pod sarkolemma).

Prążkowanie jest spowodowane regularnym ułożeniem cienkich i grubych miofilamentów oraz miofibryli.

Photomicrographs: 1,2 – Wheater's Funct. Histology, 2000; 3,4 – Collection ÚHIEM

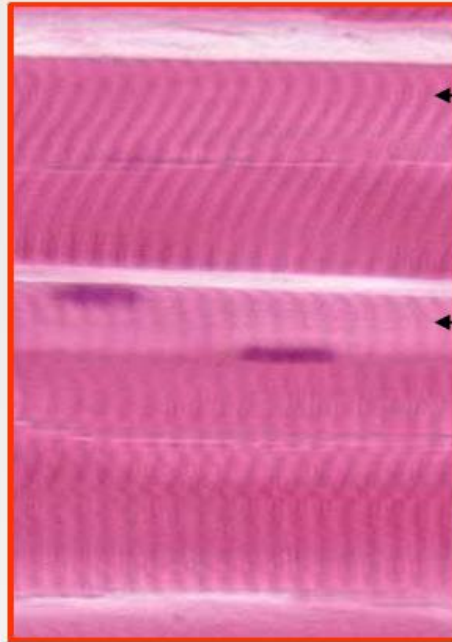
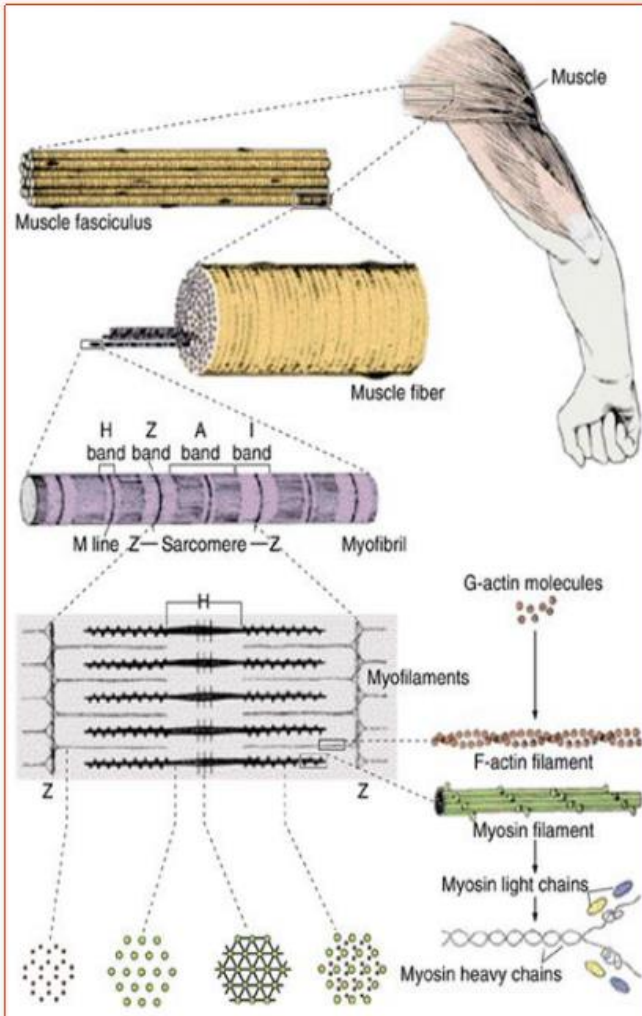
Longitudinal section



Organizacja włókien mięśni szkieletowych

Miofibryle

- filamenty cienkie – aktynowe
- filamenty grube - miozynowe



Prążek ciemny
A – anizotropowy

Prążek jasny
I – izotropowy

Każdy prążek I przedzielony linią Z
(TEM)

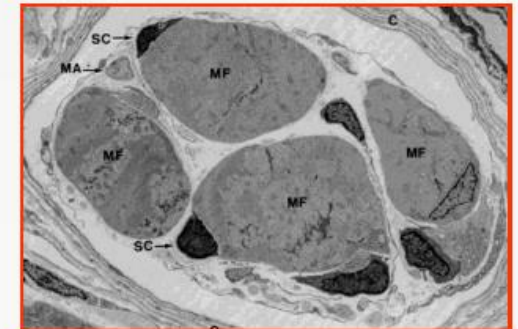
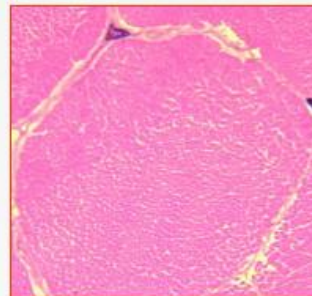
Sarkomer

Od linii Z do linii Z

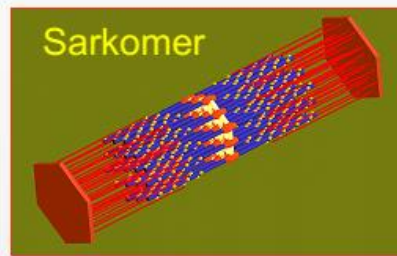
Okolo 2,5 μm w mięśni w spoczynku

Miofibryle

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



Podstawowa jednostka kurczliwa

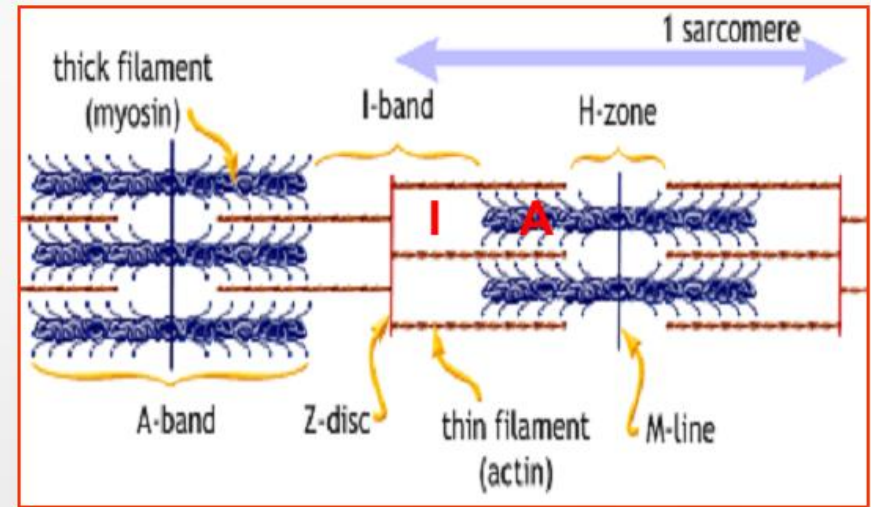
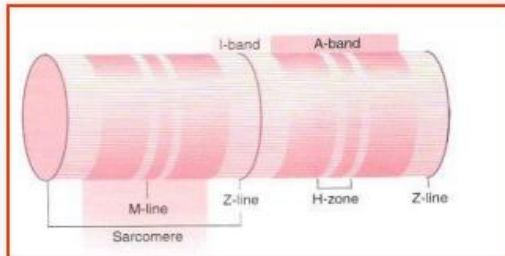


Białka miofibrylli biorące udział w skurczu

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

Białka utrzymujące miofilamenty i strukturę sarkomeru

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



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

Linia Z – α aktynina, desmina

Prążek I – filamente aktynowe

Prążek A – filamente miozynowe i filamente aktynowe

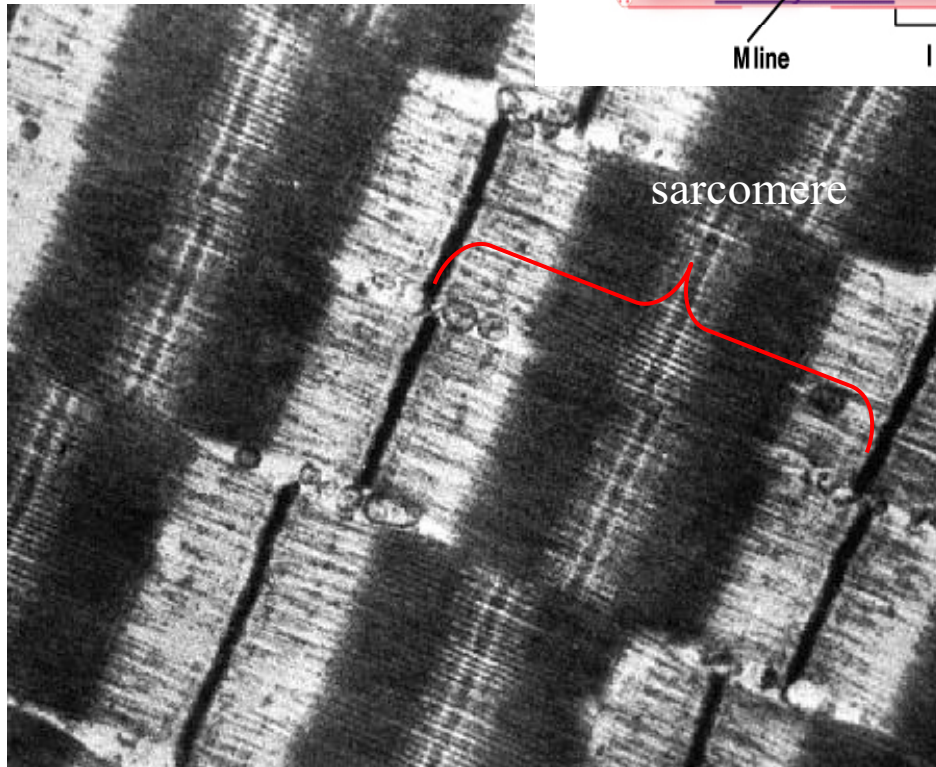
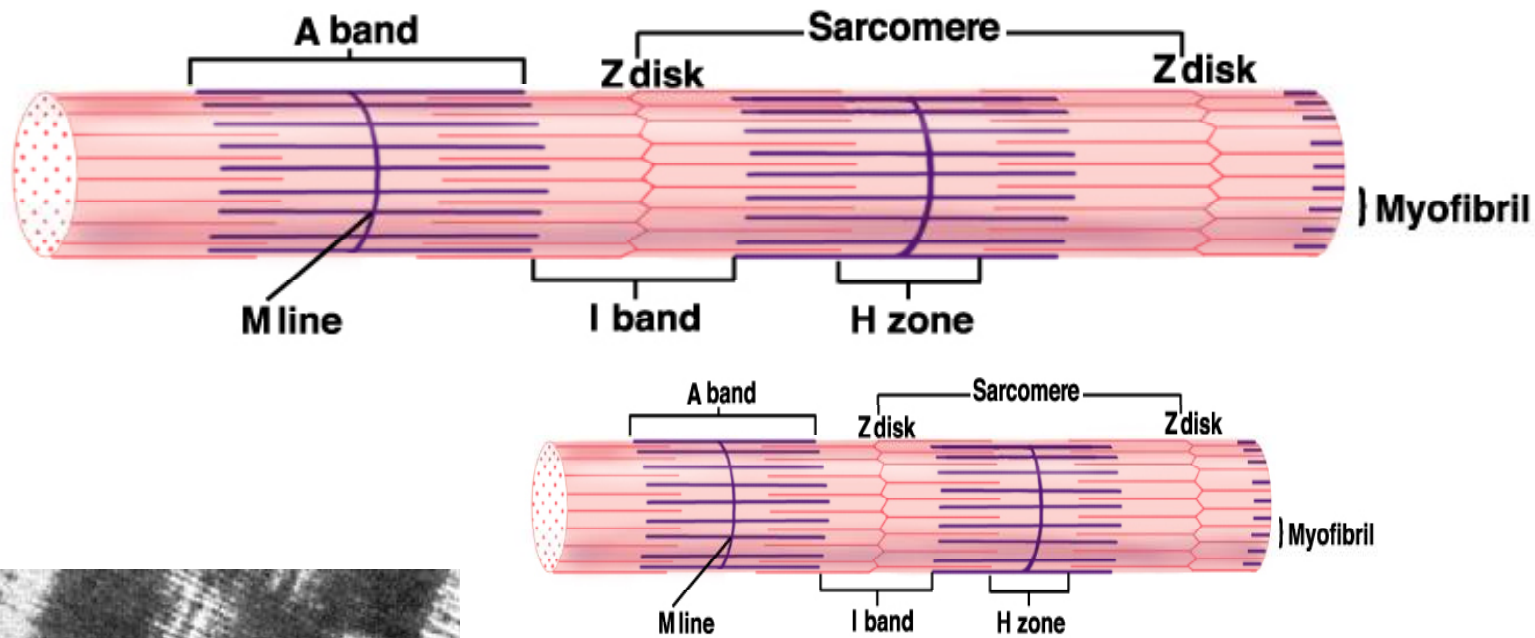
Prążek H – filamente miozynowe

Linia M – białko m (kinaza kreatyninowa)

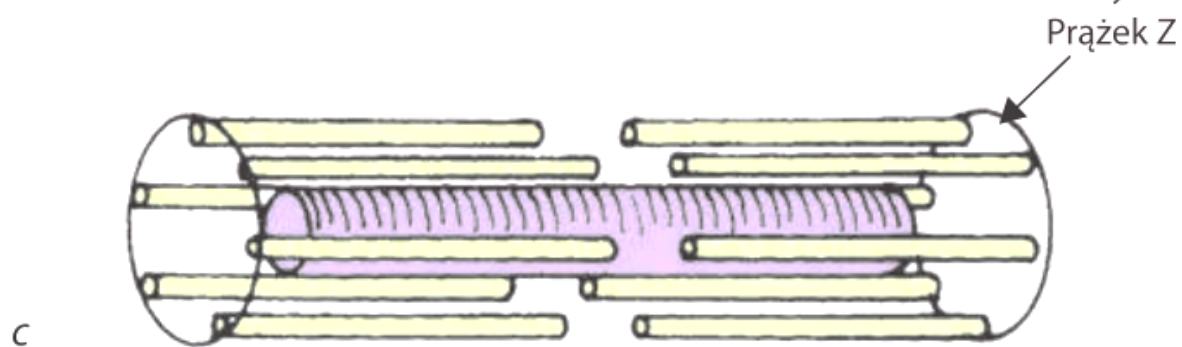
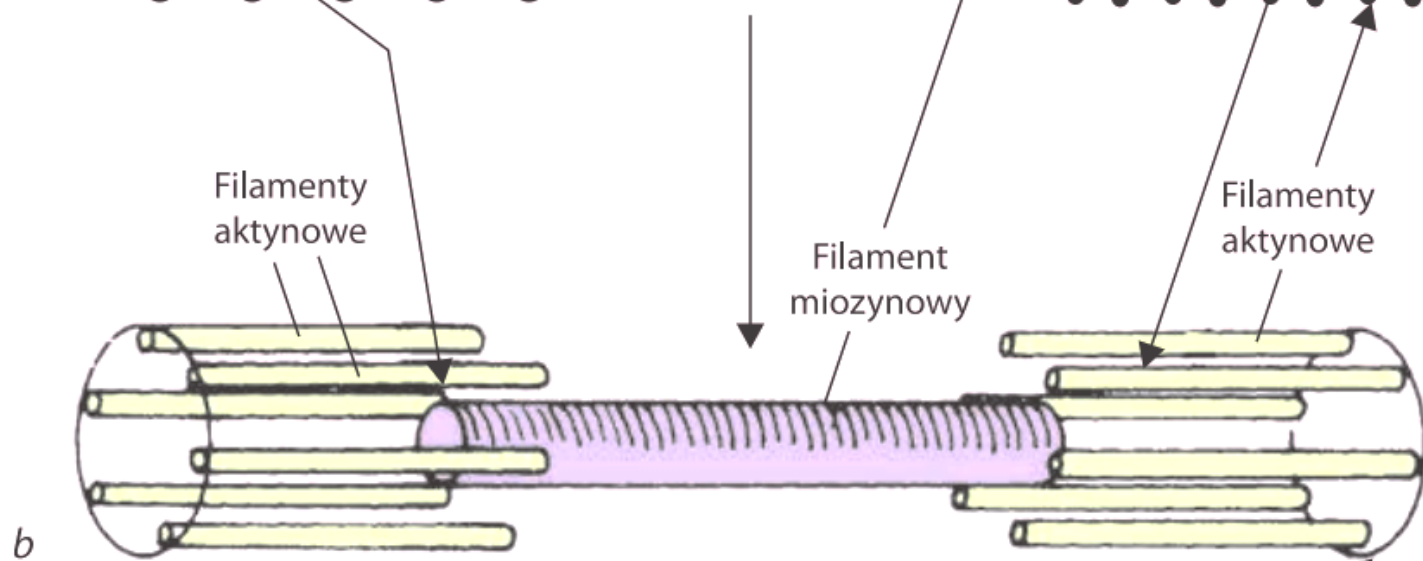
Titina – od linii Z do Linii M od linii M do linii Z

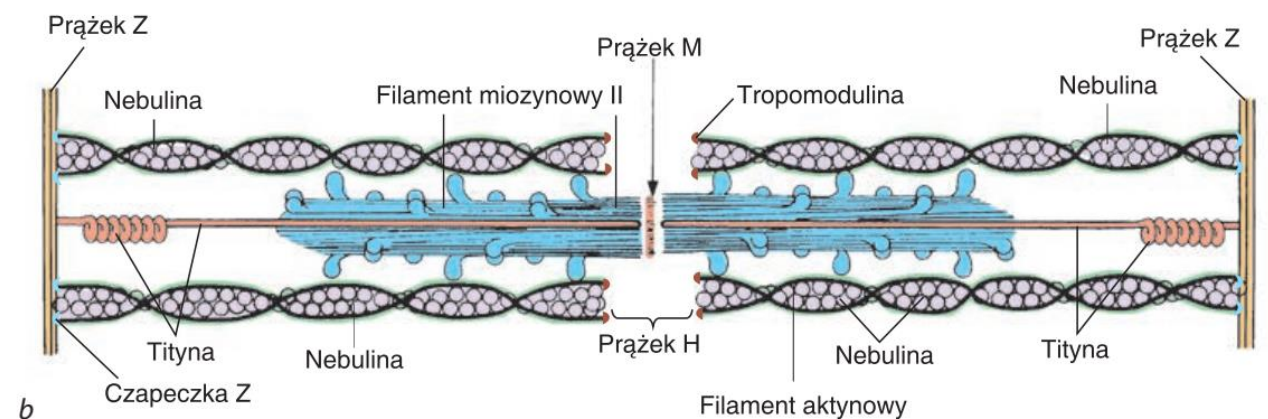
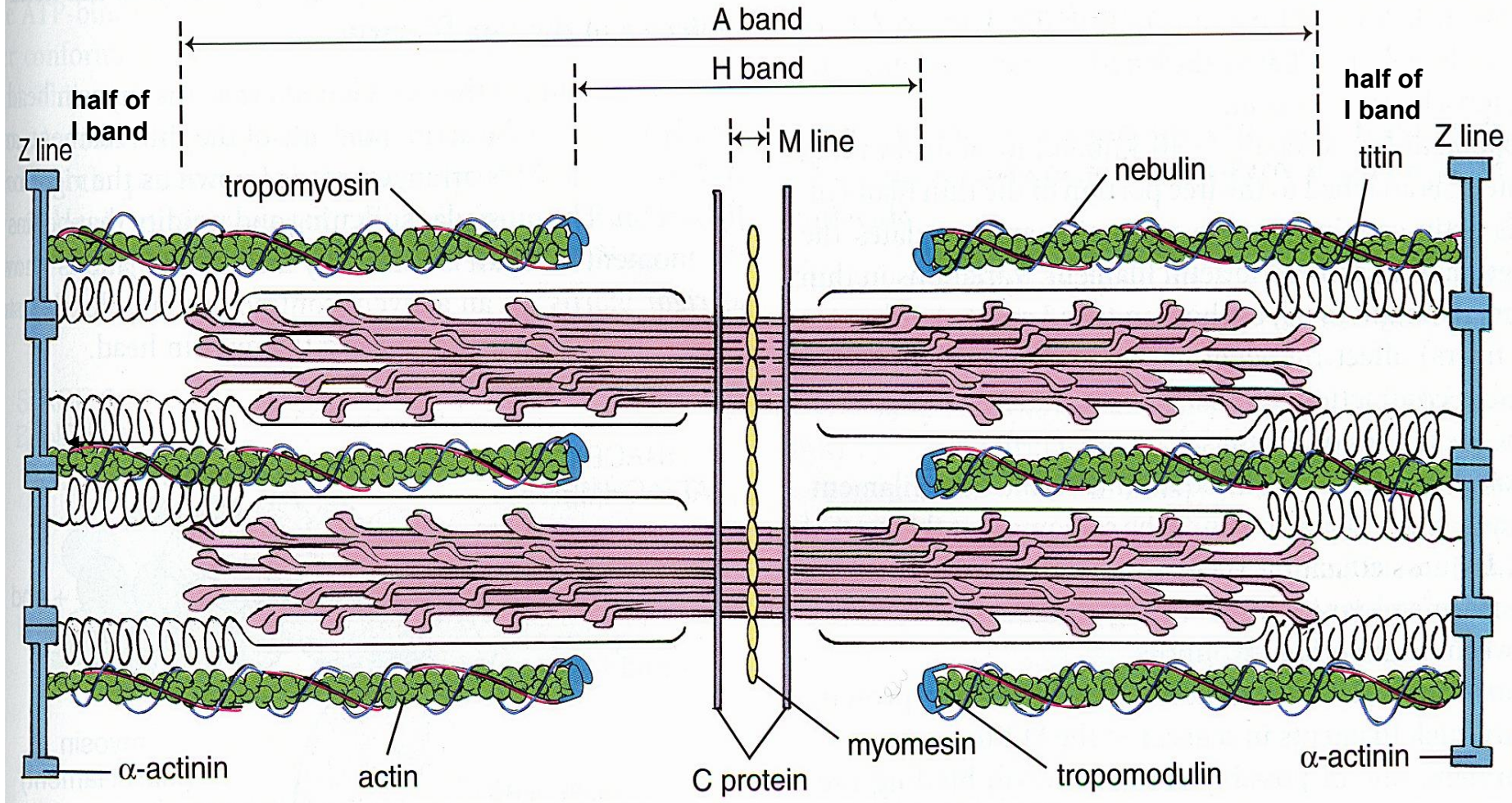
Nebulina – dookoła filamentów aktynowych

Dystrofina, utrofina – mocowanie miofibrylli do sarkolemmy



- 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

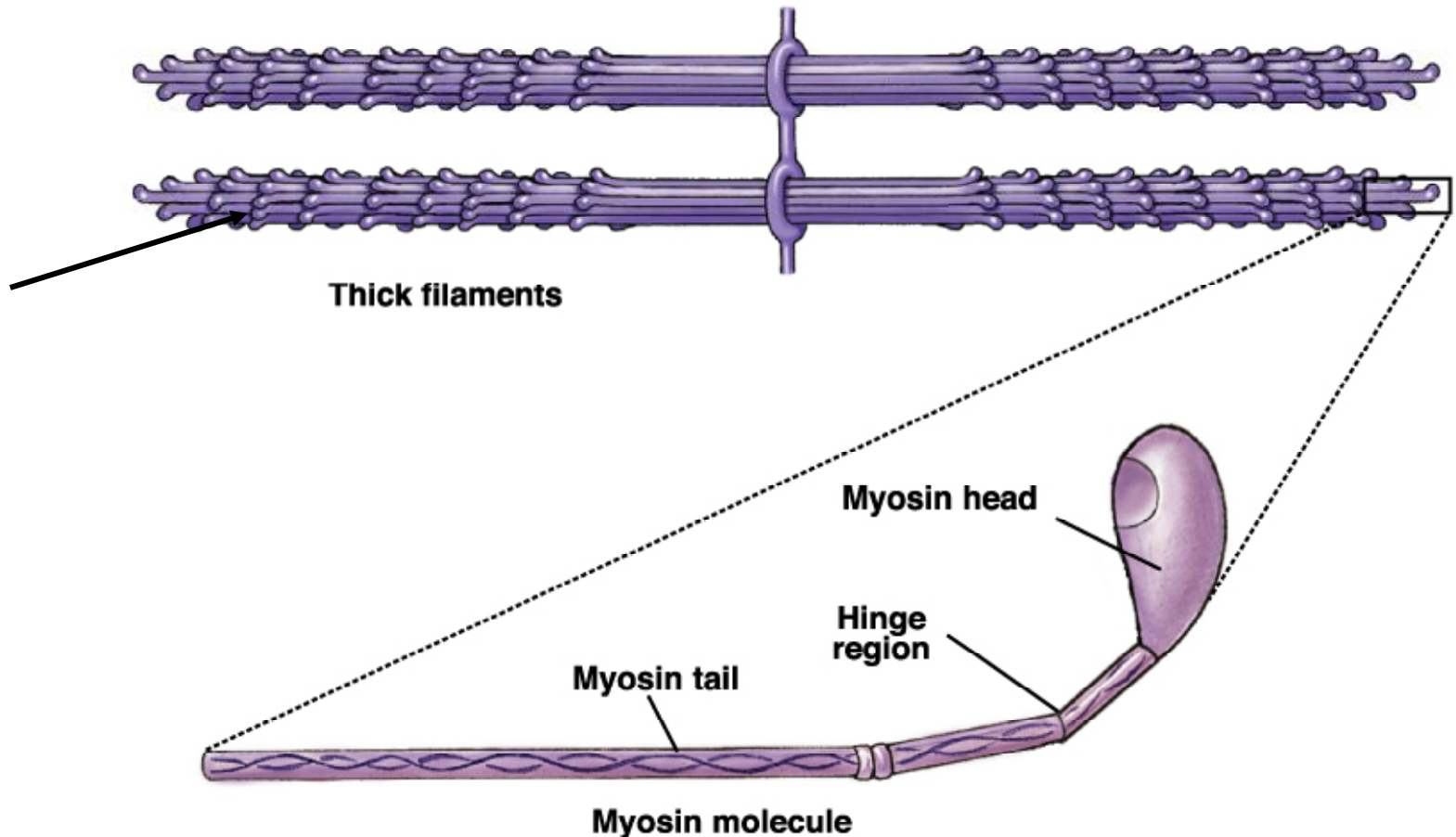




Myosin (thick) filaments

- 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

Myosin heads are in a staggered arrangement along the filament

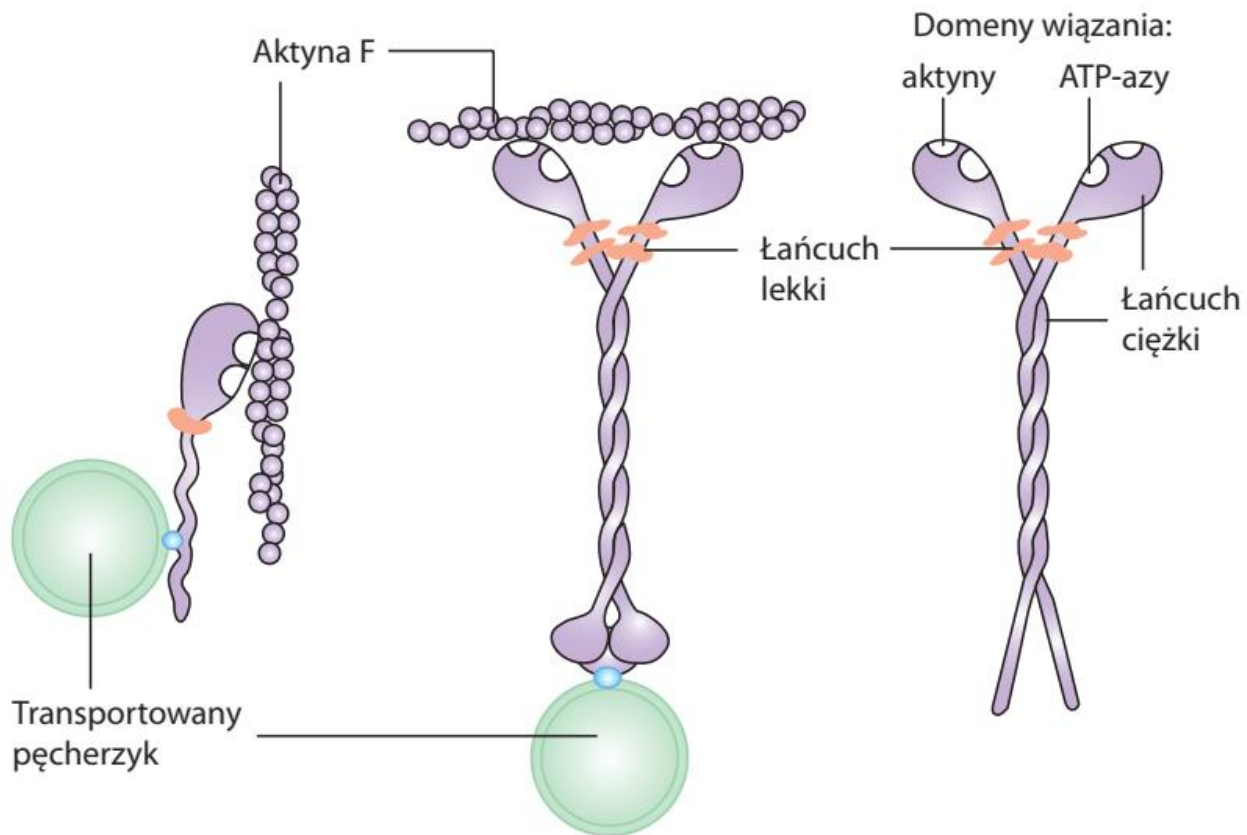


Miozyna I

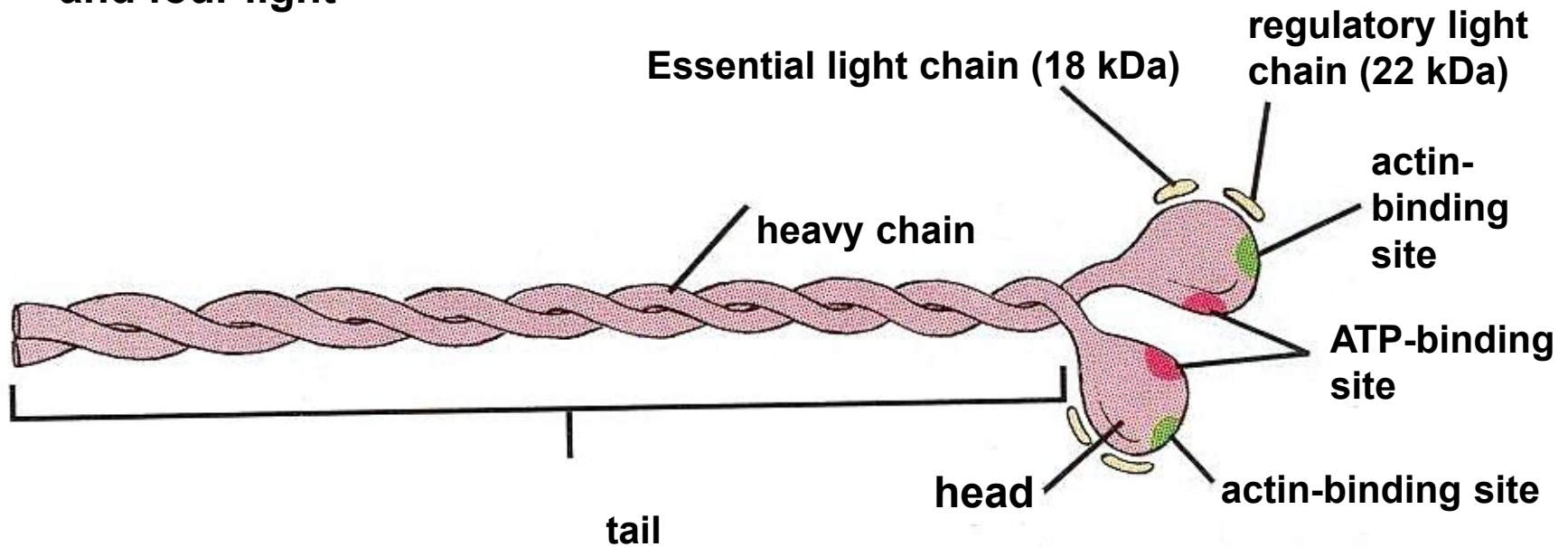
Miozyna V

Miozyna II
aktywna

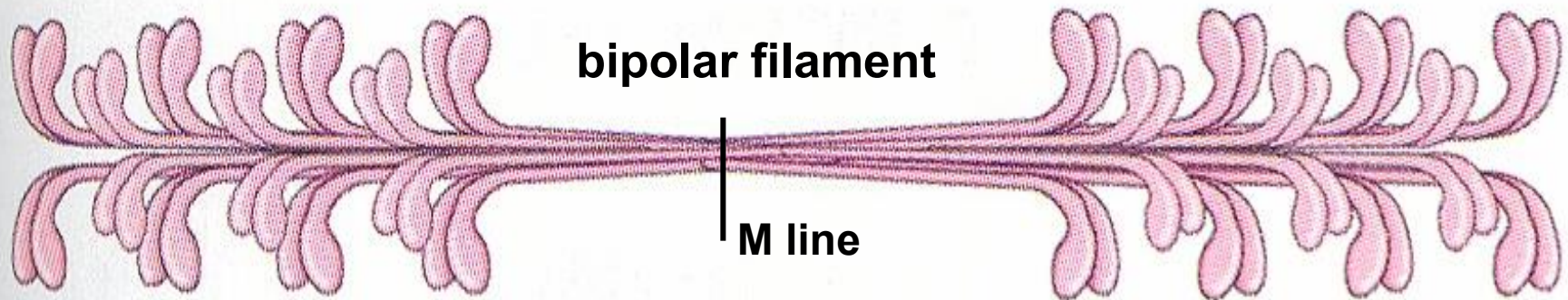
Miozyna II
nieaktywna



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

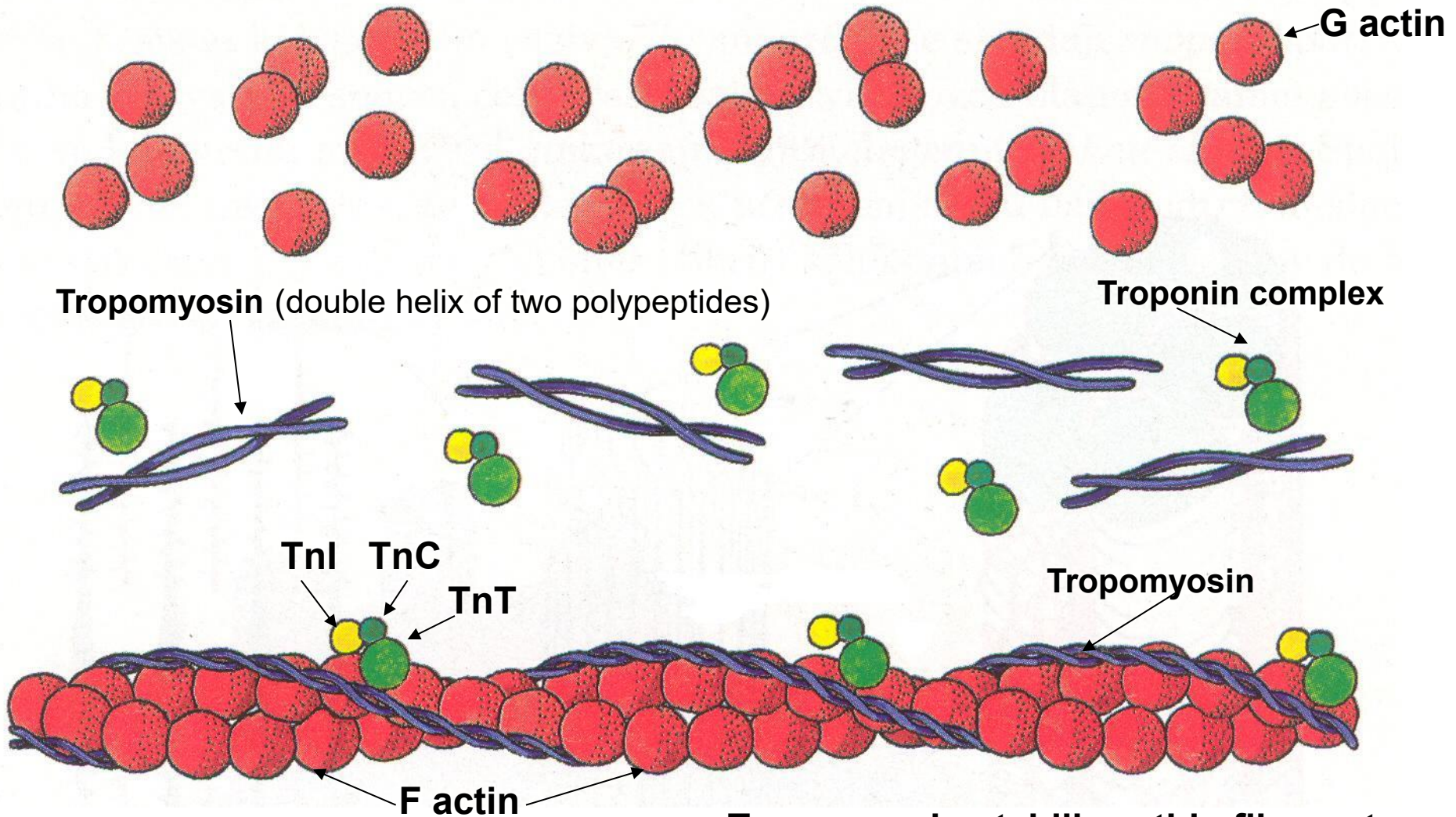


Thick filament, myosin myofilament (in striated muscles)



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

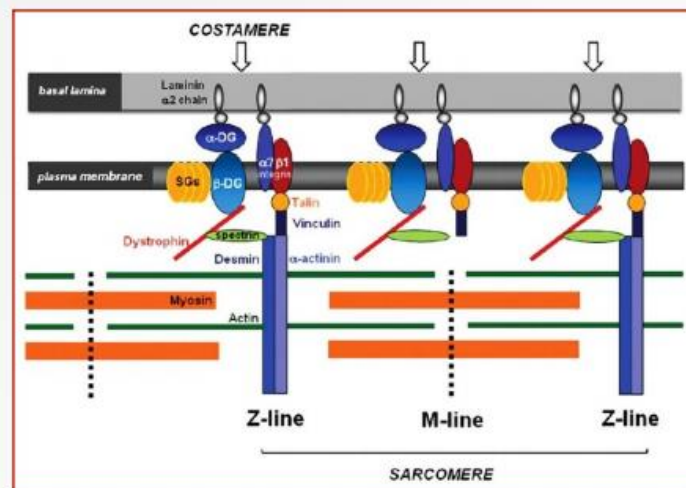
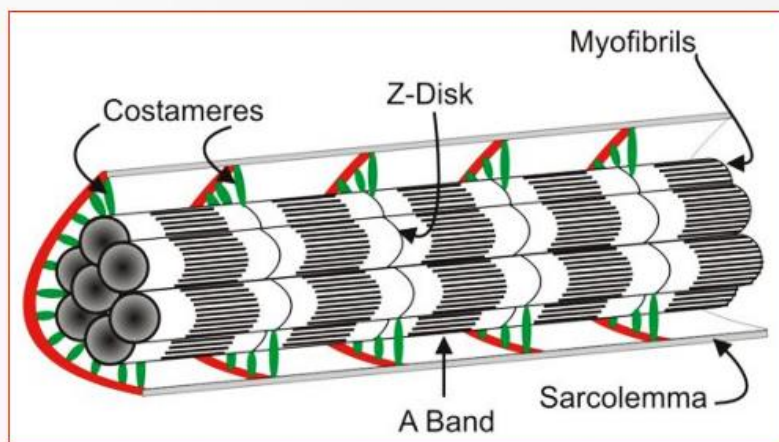
Filament cienki (aktynowy) składa się z dwuniciowej helisy aktyny F, tropomiozyny i troponiny - kompleksu trzech podjednostek globularnych: TnC wiąże Ca^{2+} , TnT wiąże się z tropomiozyną, TnI wiąże się z aktyną, hamując w ten sposób oddziaływanie aktyna-miozyna



Tropomyosin stabilizes thin filament

Sarkolema

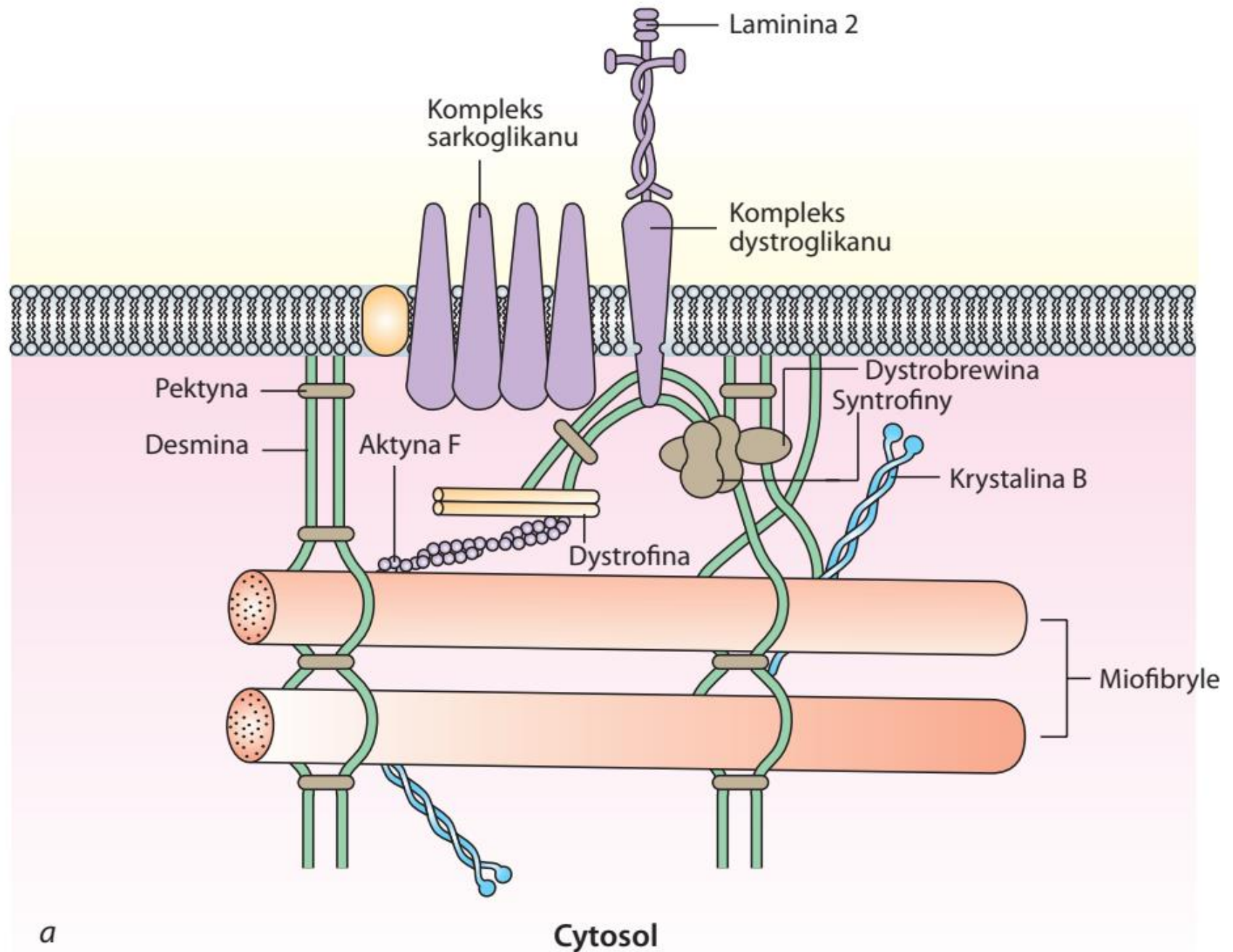
- Może ulegać uszkodzeniu – zapobieganie i reperacja z udziałem (~ 40) białek podbłonowych – kostamery.
- Udział białek sarkolemy: kaweolina 3, kaplaina 3 oraz dysferlina.
- ❑ Kostamery - leżą obwodowo na kształt pierścieni na wysokości linii Z, tworząc sieć kostamerową: aktyna, integryna, desmina, dystrofina,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



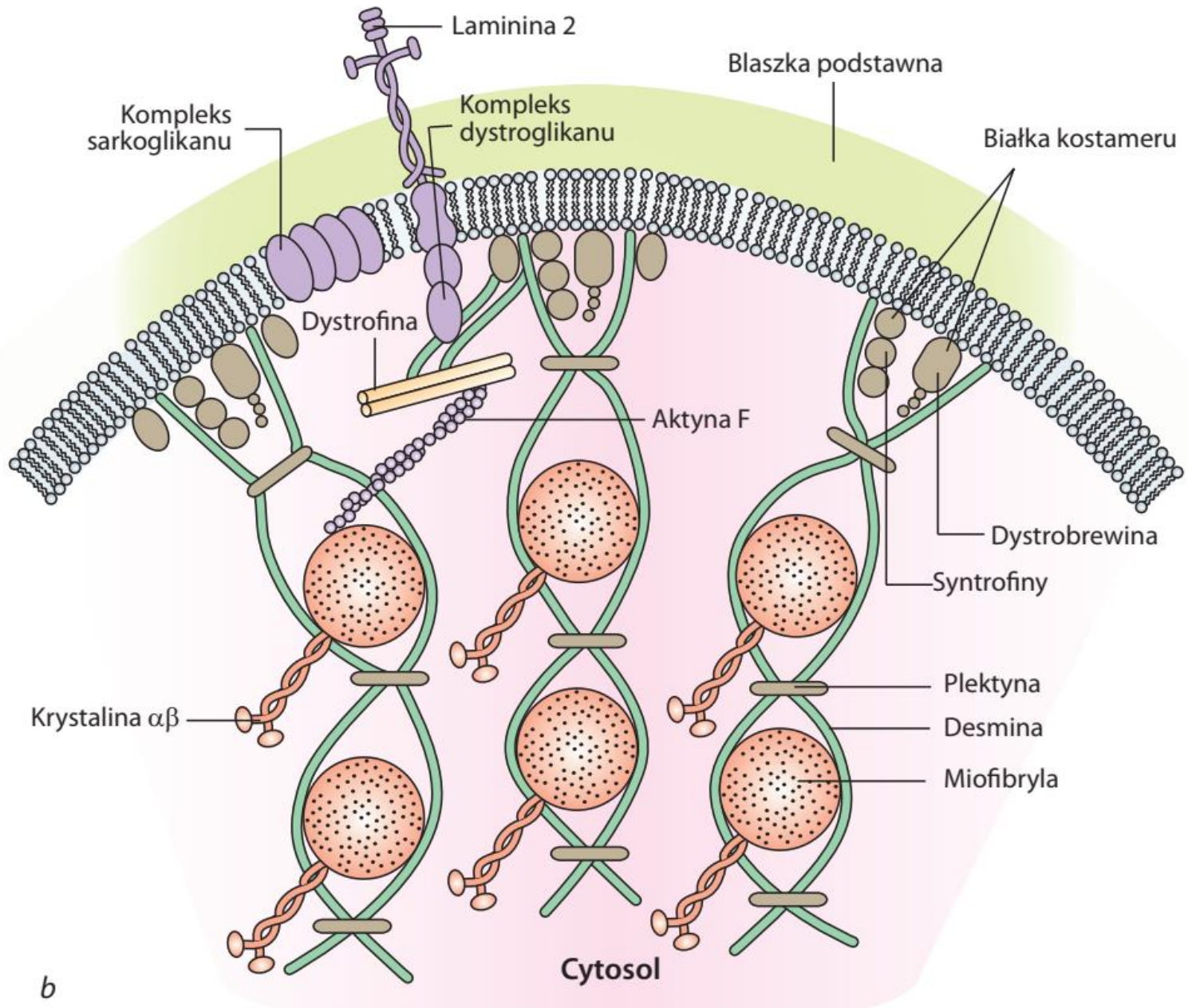
➤ Funkcja kostamerów

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

Istota międzykomórkowa



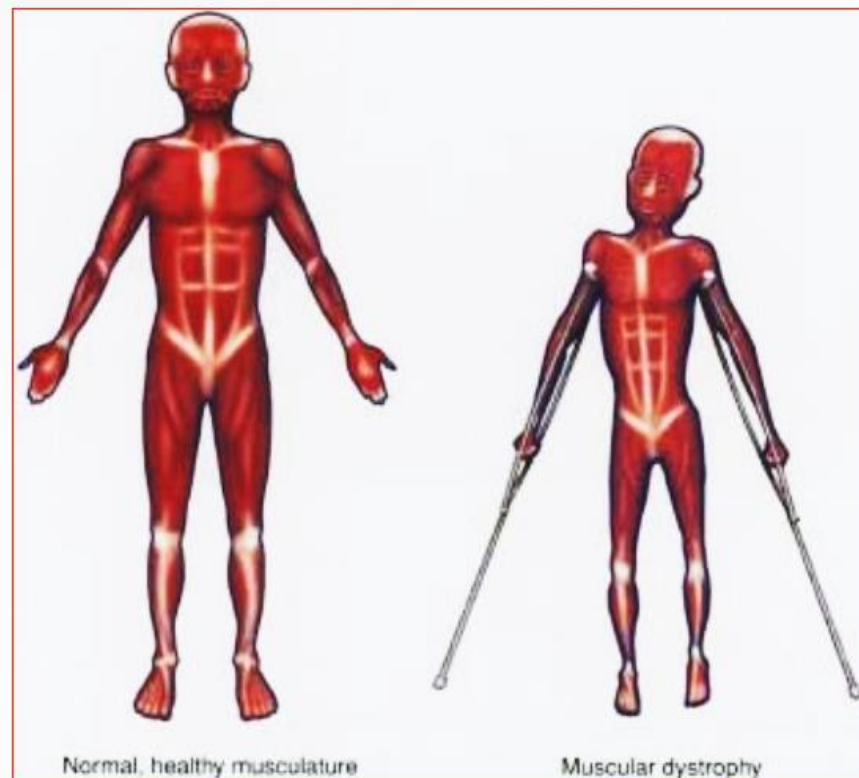
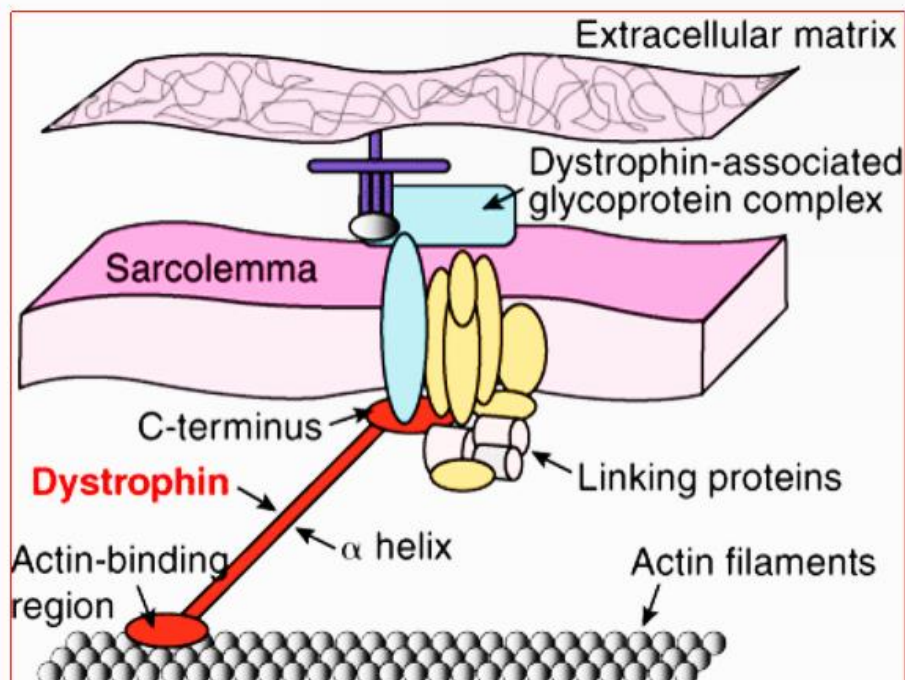
Istota międzykomórkowa



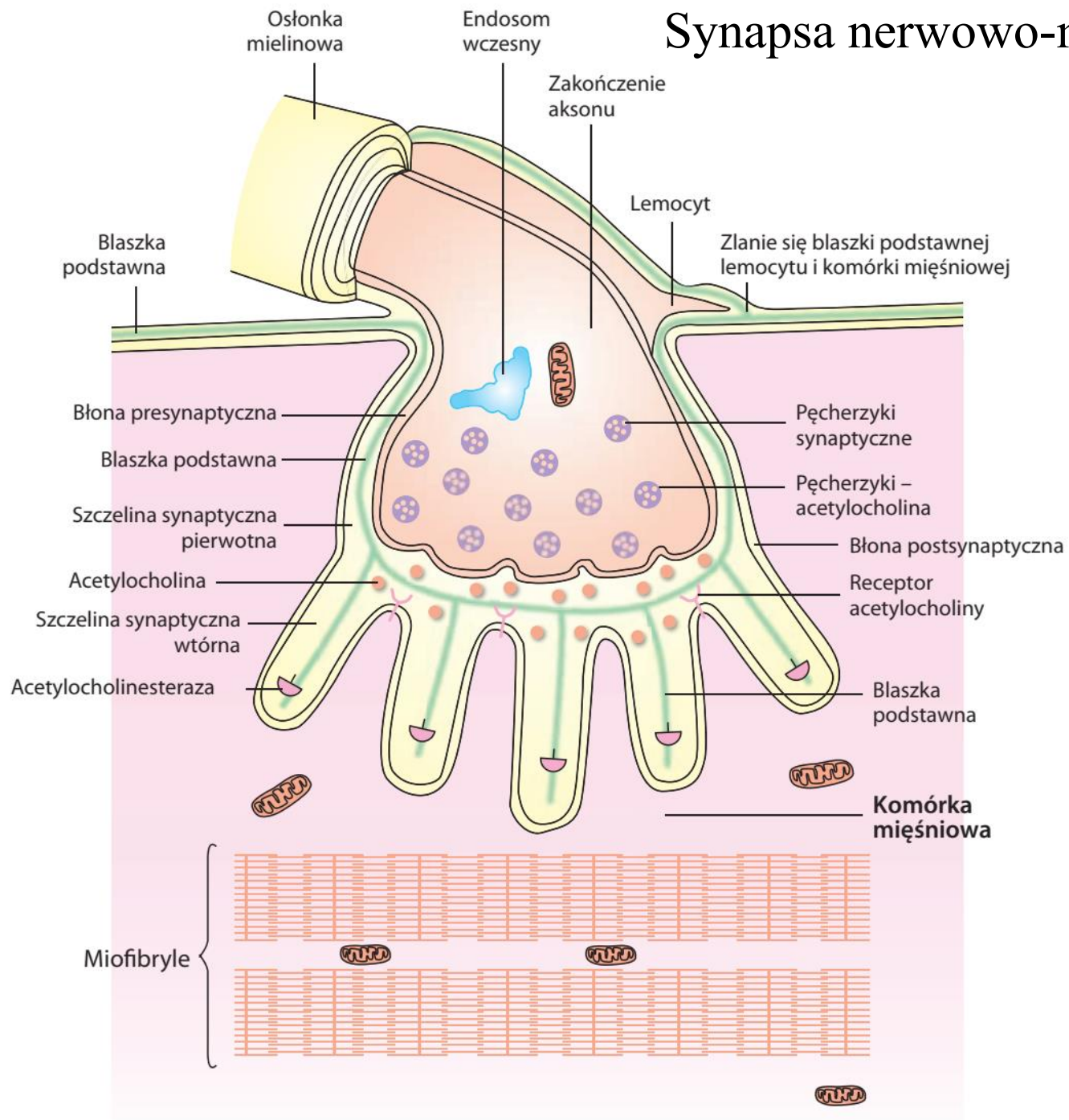
Dystrofie mięśniowe

- 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**)



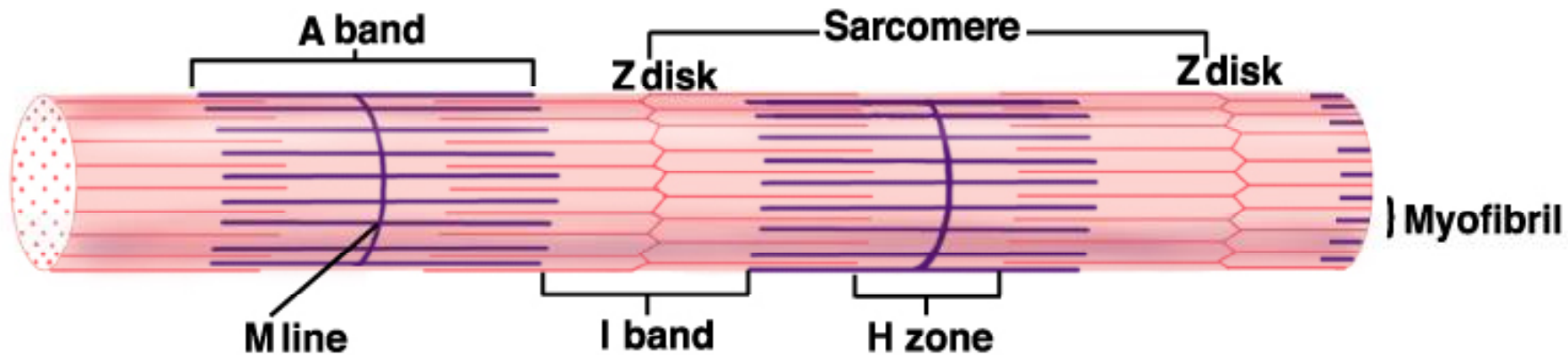
Synapsa nerwowo-mięśniowa



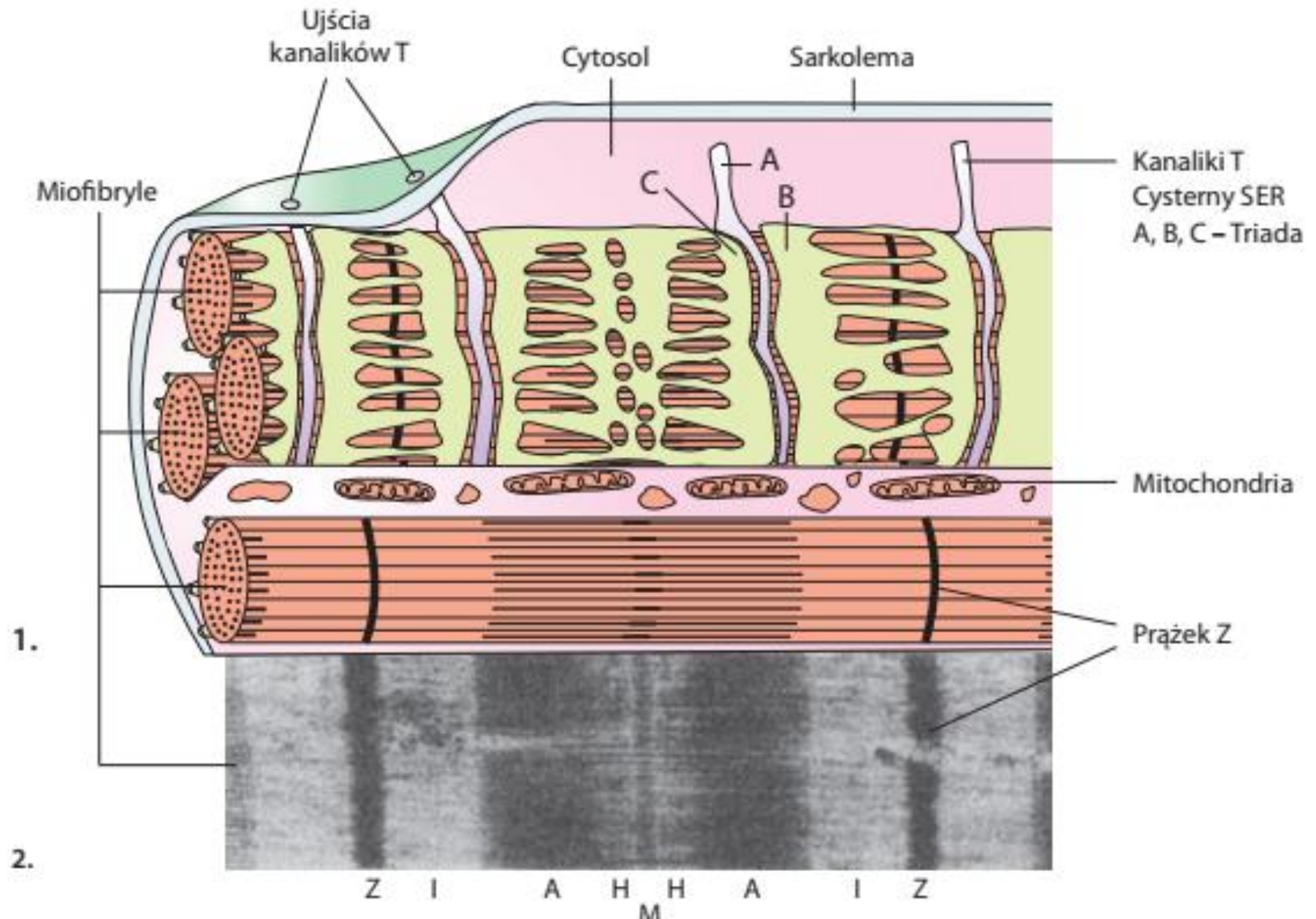
Kanaliki T wpuklenia sarkolemmy

Sarcolemma = cell membrane

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

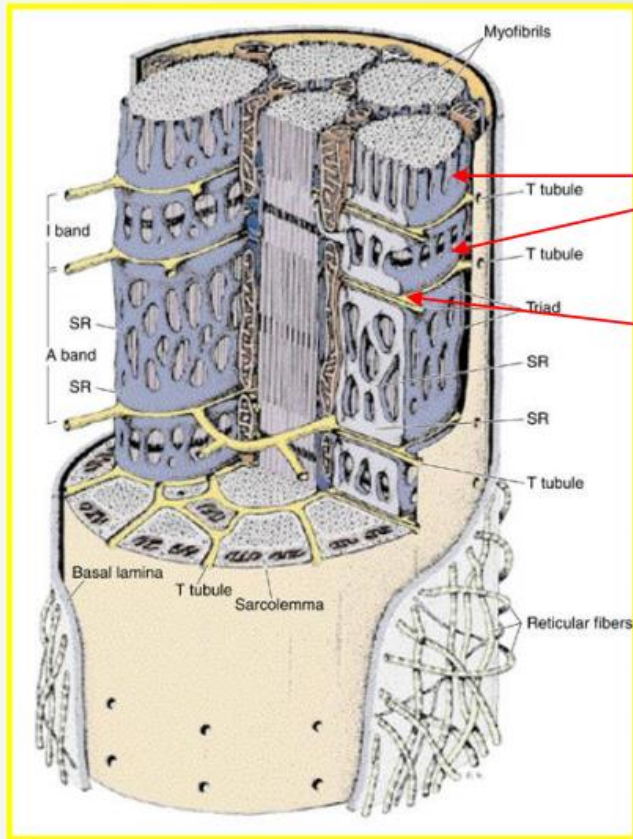


Triady. Kanaliki T na granicy A/I



Mięśnie szkieletowe

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



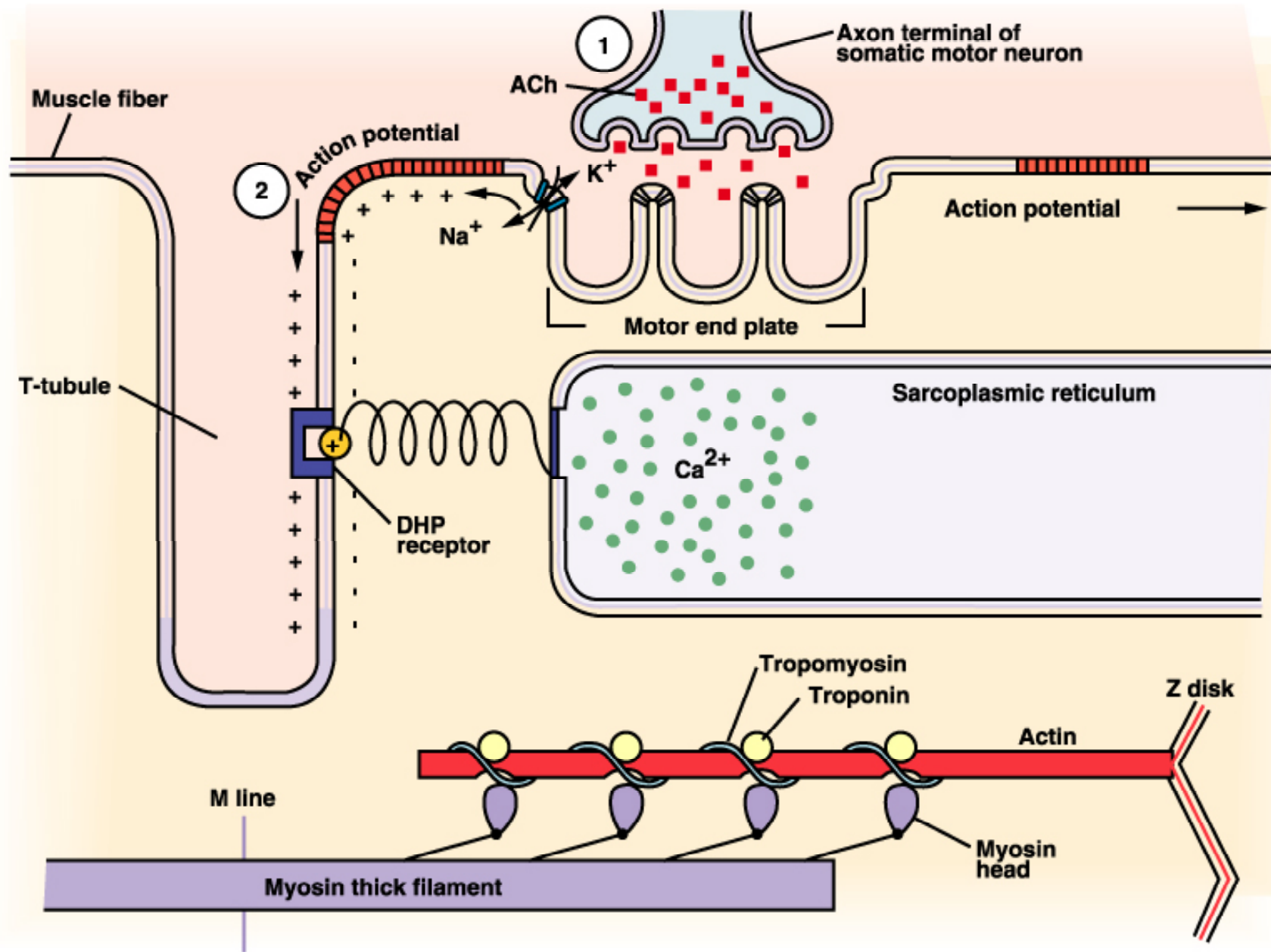
SR otacza każdą miofibryllę dookoła prążka A i I (każda składa się z dwóch płaskich zbiorników połączonych kanalikami).

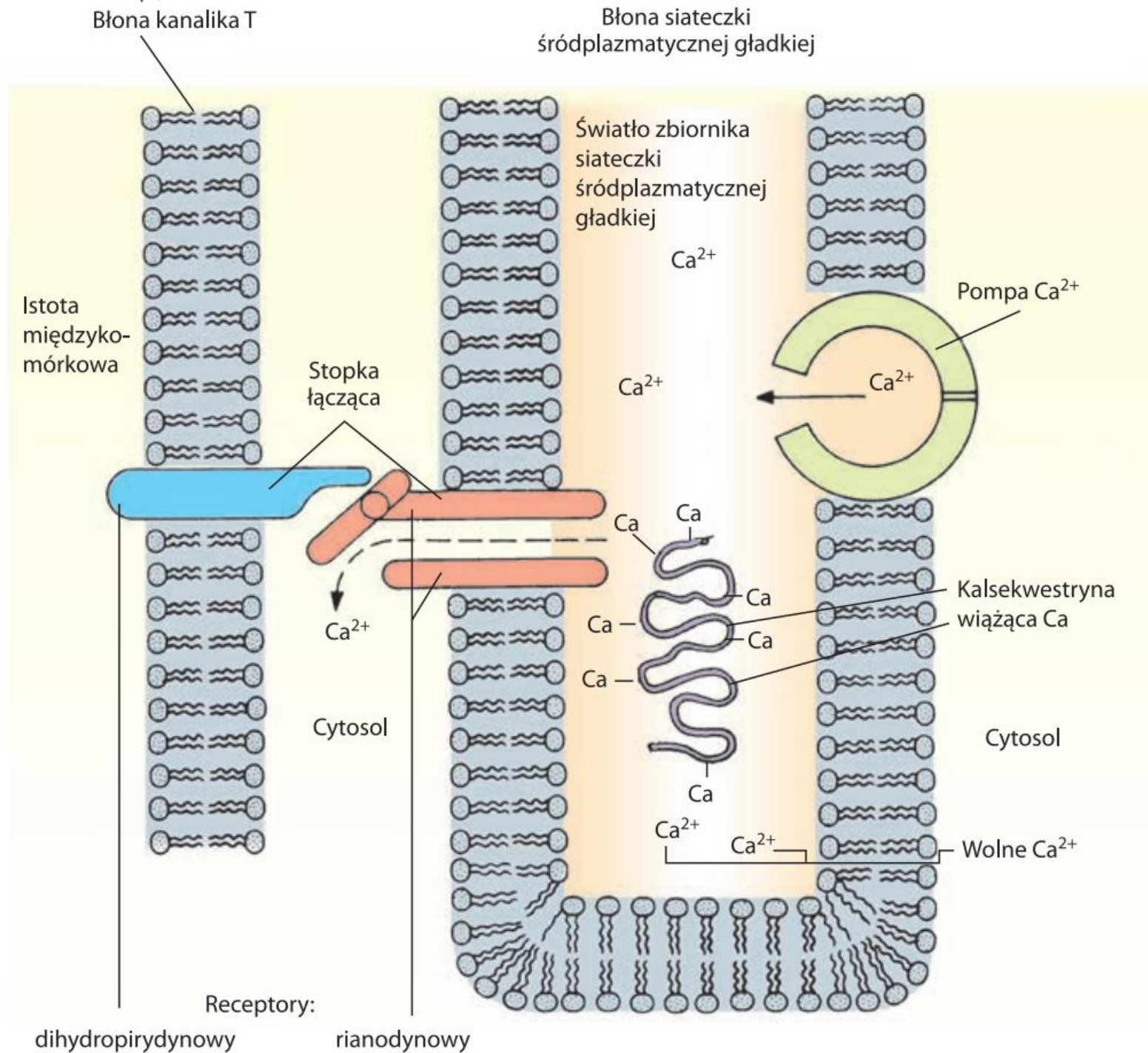
Kanalik T (wpuklenie błony komórkowej) oddziela układ SR - leży na pograniczu A i I

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

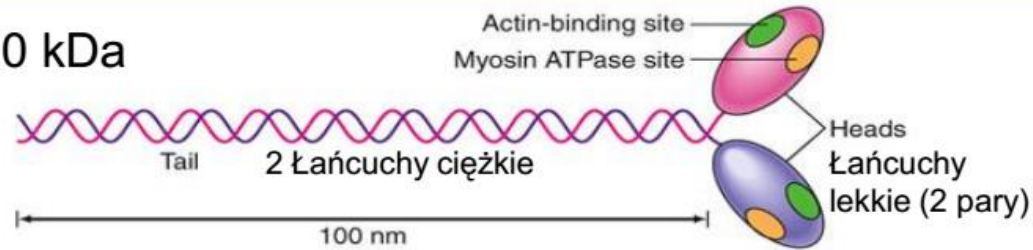
Cysterny siateczki sarkoplazmatycznej – magazyn Ca

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

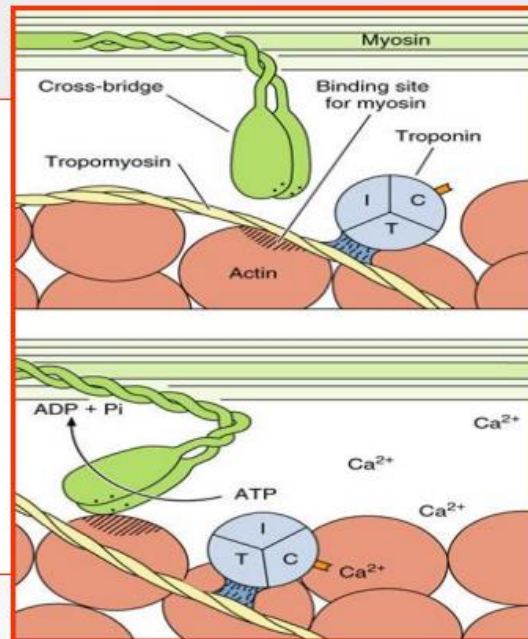
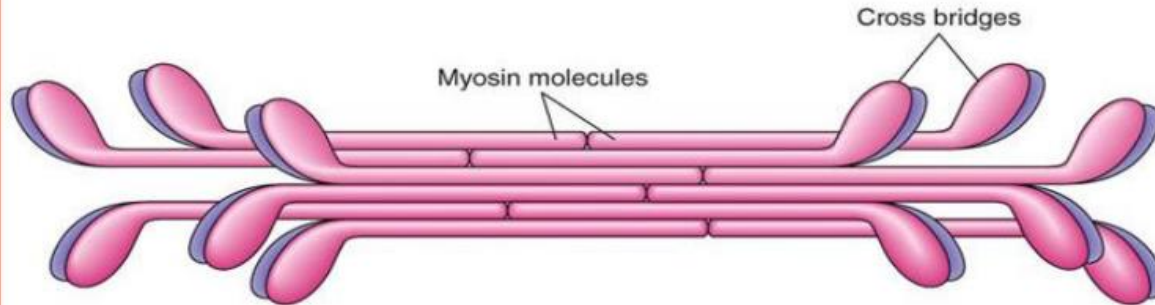




~ 500 kDa

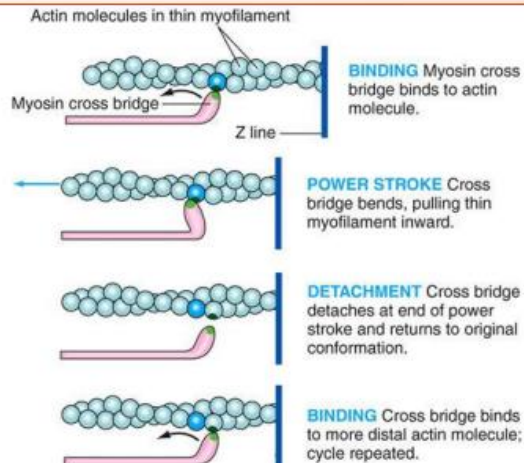


(a) Myosin molecule



Skurcz

- wiązanie Ca do TnC
- odsłonięcie miejsca wiązania się aktyny z miozyną
- wiązanie się główki miozyny z aktyną
- $\text{ATP} \rightarrow \text{ADP} = \text{energia}$
- przesuwanie się główki miozyny



Key:

● = Ca^{2+}

Główka miozyny
hydrolizuje ATP do
ADP i Pi.

ADP i Pi pozostają związane z
główką miozyny.

Główki miozyny
wiążą się do aktyny
i tworzą mostki
poprzeczne.
Uwolnienie Pi
wzmacnia wiązanie

Jony wapnia, ATP, kinaza łańcuchów
lekkich miozyny

Wiązanie ATP z główką
miozyny. Główka nie
jest związana z aktyną

Uwolnienie ADP. Wiązanie aktyny
i miozyny silniejsze, co powoduje
zmianę pozycji główki i
przesunięcie filamentu aktynowego
względem miozynowego o 5nm
(mikroskurcz)

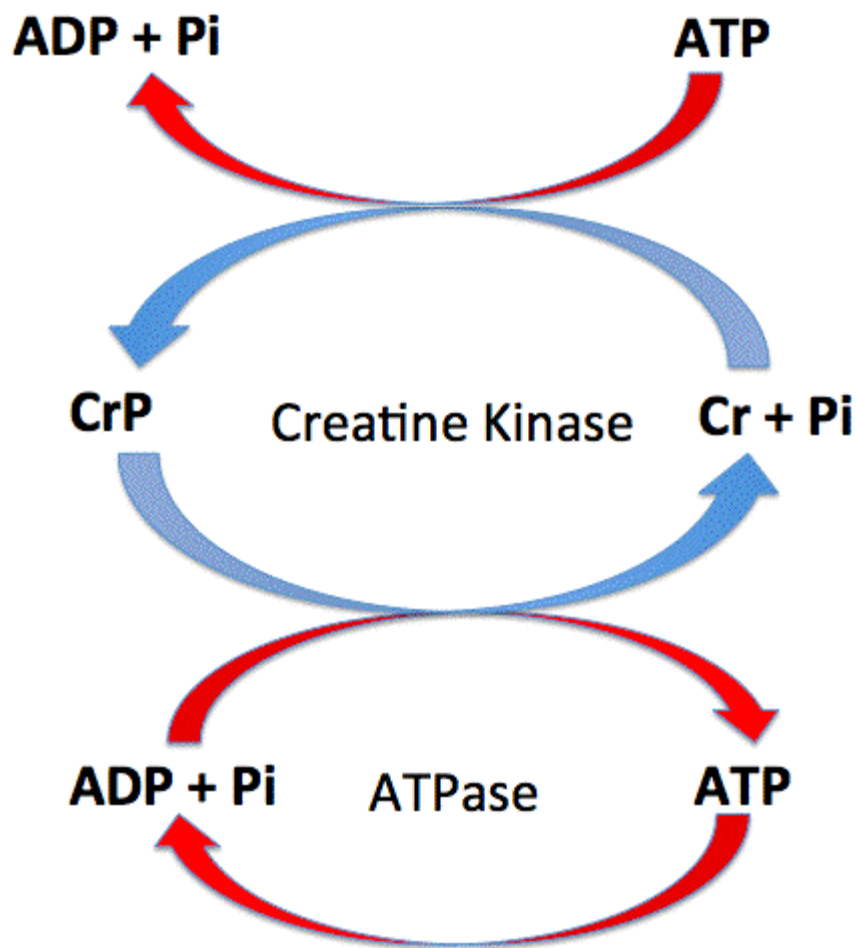
Główki miozyny bez ATP (mostek
poprzeczny)
rigor mortis



During the power stroke, the thin filaments slide along the thick filaments and the sarcomere shortens.

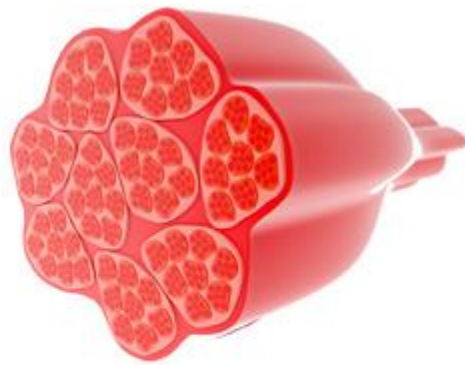


Układ fosfagenowy (układ CrP-ATP) najszybszy sposób resyntezy ATP



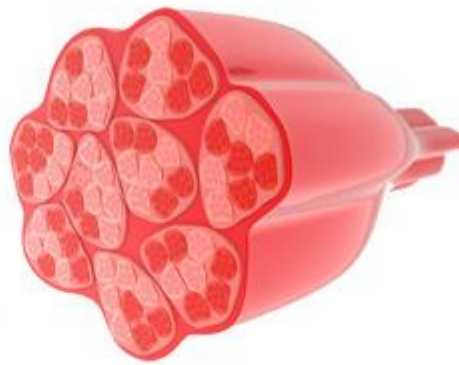
Podczas krótkotrwałej, intensywnej pracy kinaza kreatyny przekazuje fosforan z fosfokreatyny – (CrP), przechowywanej w mięśniach szkieletowych, na ADP, w wyniku czego powstaje ATP.

Podczas odpoczynku kinaza kreatyny przenosi fosforan z ATP na kreatynę. Powstaje fosfokreatyna – magazyn energii. ADP służy do syntezy nowych ATP



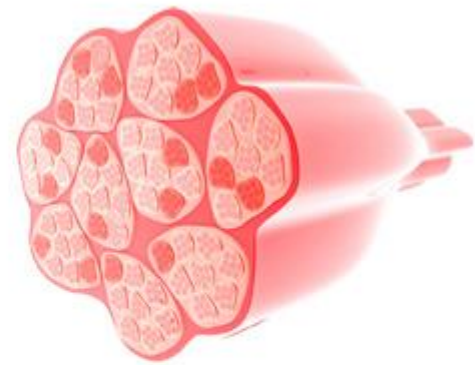
RED MUSCLE

high mitochondrial content



MIXED MUSCLE

medium mitochondrial content



WHITE MUSCLE

low mitochondrial content

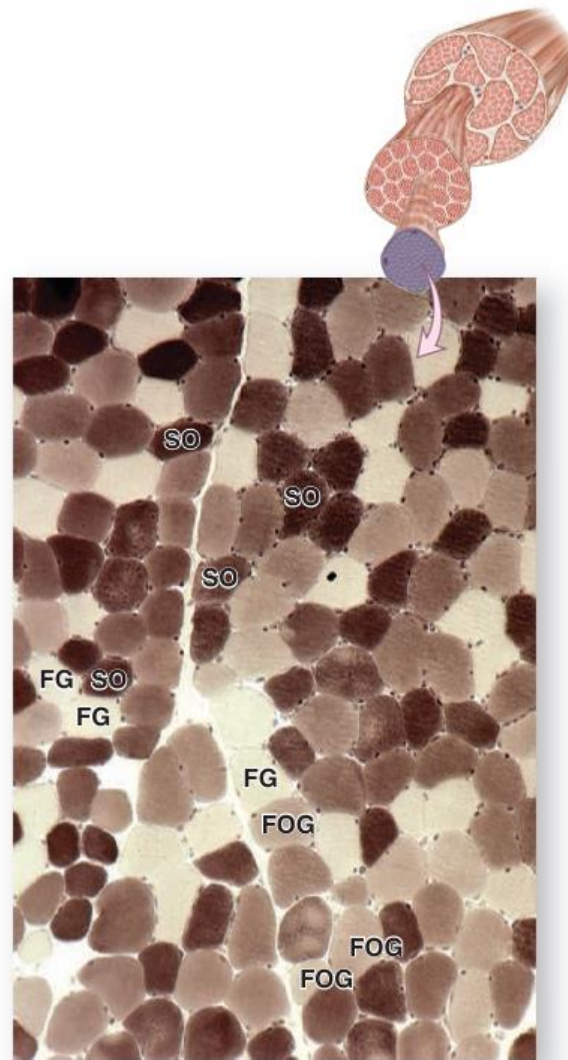
MIOGLOBINA - HEMOPROTEINA WIĄŻĄCA TLEN - PODSTAWOWY BARWNIK TKANKI MIĘŚNIOWEJ MAGAZYNUJĄCYM TLEN. DOSTARCZA TLEN DO MITOCHONDRIÓW.

Czerwone włókna mięśniowe typ I- liczne mitochondria i mioglobina. Długotrwałe skurcz o niskiej intensywności. Kurczą się i męczą się powoli, wytwarzają ATP poprzez fosforylację tlenową, (liczne w mięśniu trójgłowym ramienia)

Białe włókna mięśniowe – Typ IIb, zawierają mniej mitochondriów i mioglobiny. Wykonują szybkie skurcze przez krótki czas (szybko się męczą). Generują ATP w procesie beztlenowym - glikolizie. (mięsień gałki ocznej). Typ IIa – pośredni.

Zwykle mięśnie zawierają wszystkie 3 rodzaje włókien mięśniowych

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.

Mięśnie szkieletowe języka

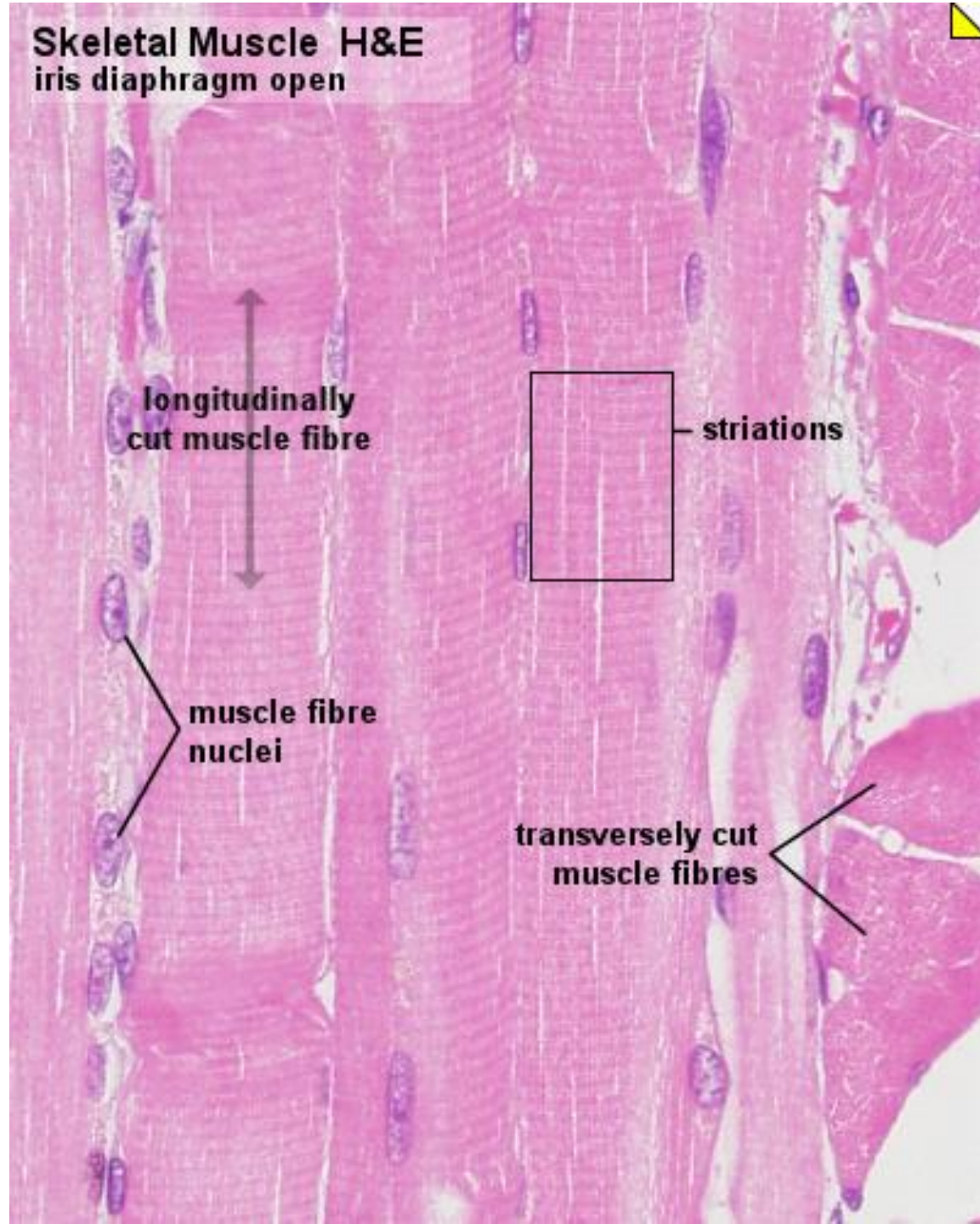
*wiązki włókien
mięśniowych biegnących w
różnych kierunkach*



Mięśnie szkieletowe – przekrój podłużny

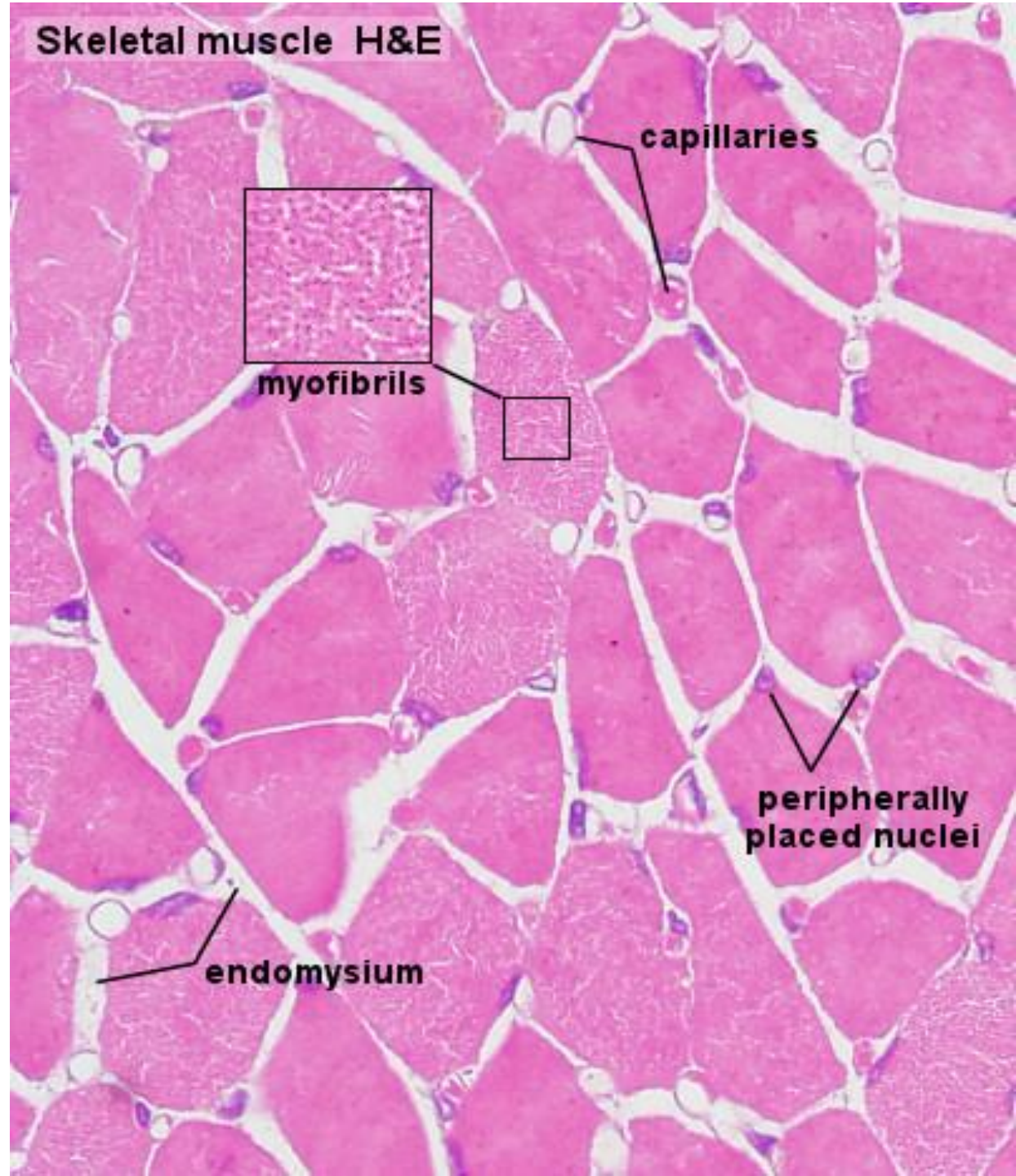
*jądra zlokalizowane pod
sarkolemą*

Skeletal Muscle H&E
iris diaphragm open



Mięśnie szkieletowe- przekrój poprzeczny

*W tkance łącznej
(śródmięsnej) liczne
naczynia włosowate.*



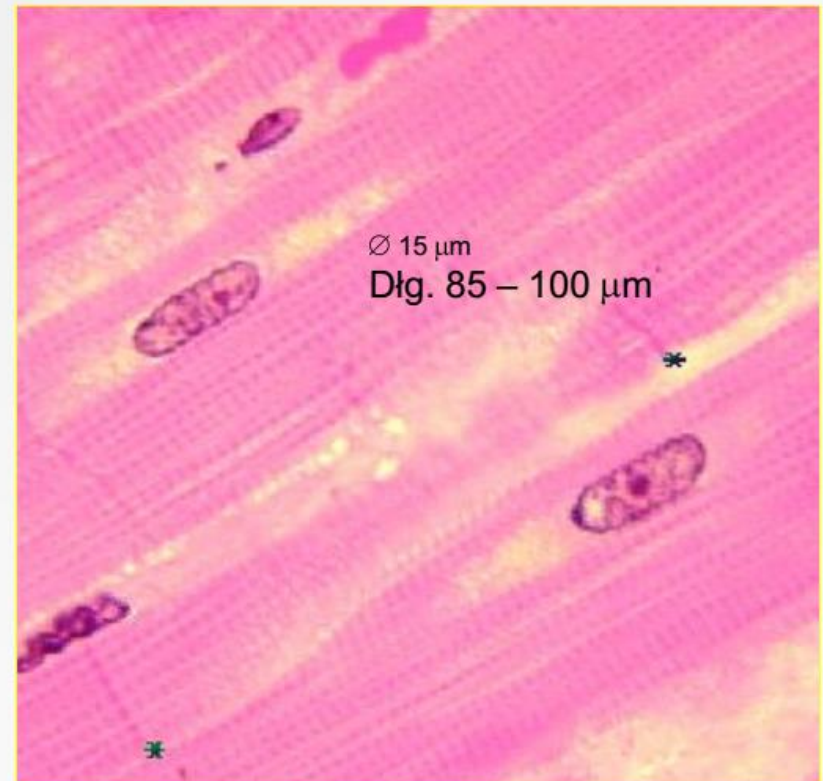
Mięsień sercowy

Mięsień sercowy (mezoderma)

Komórki mięśnia sercowego, kardiocyty, kardomiocyty

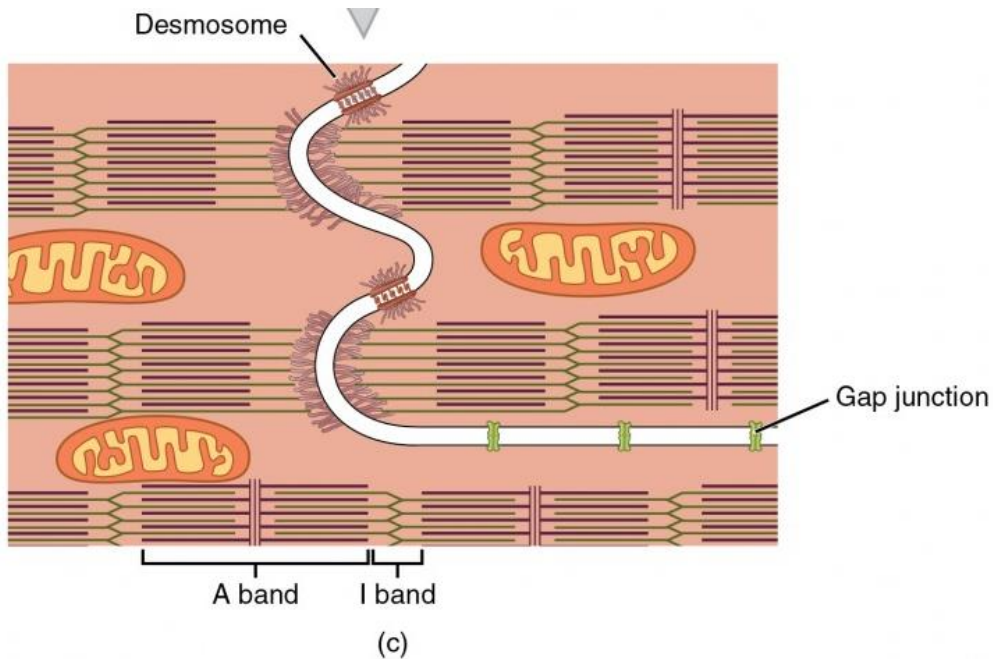
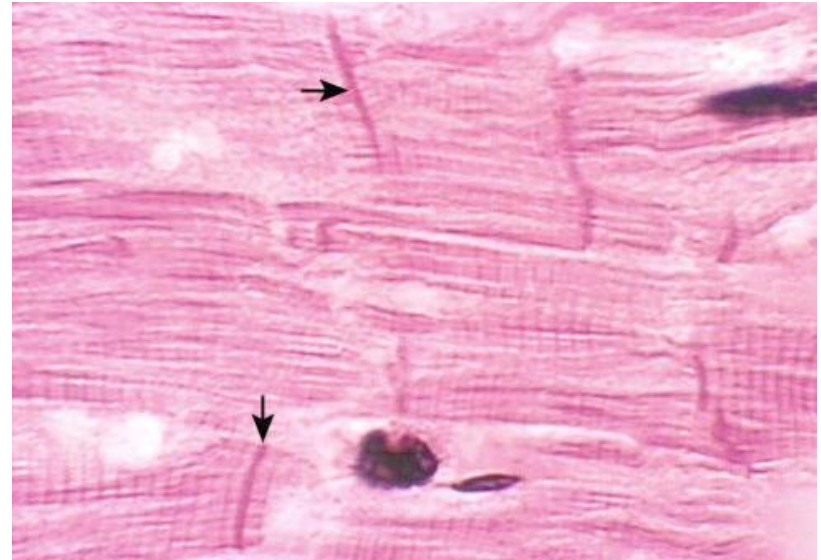
- Kształt rozgałęzionych cylindrów
- 1 lub 2 jądra położone centralnie
- Otoczone cienką warstwą tkanki łącznej (endomysium) – bogata sieć naczyń
- Układ miofibryli, jak w mięśniu szkieletowym (poprzeczne prążkowanie)
- Słabo rozwinięta SER
- Bardzo liczne mitochondria (40% objętości cytoplazmy)
- Połączone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

Hematoksylina żelazista



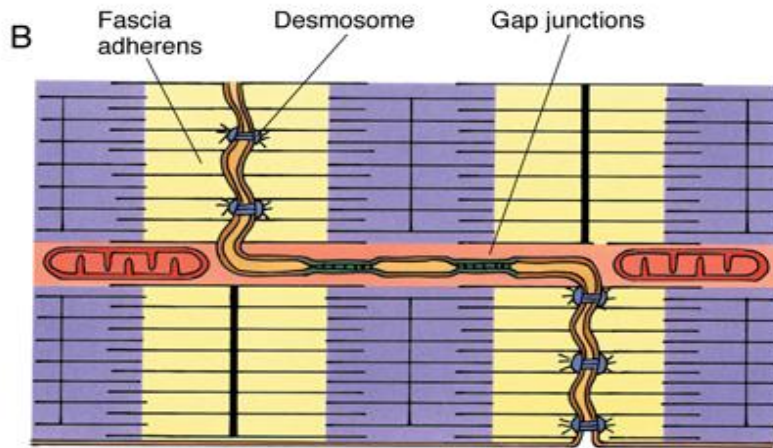
WSTAWKI

WYSOKO WYSPECJALIZOWANE POŁĄCZENIA MIĘDZY KARDIOMIOCYTAMI



*Umożliwiają
synchronizację
skurczów*

WSTAWKI

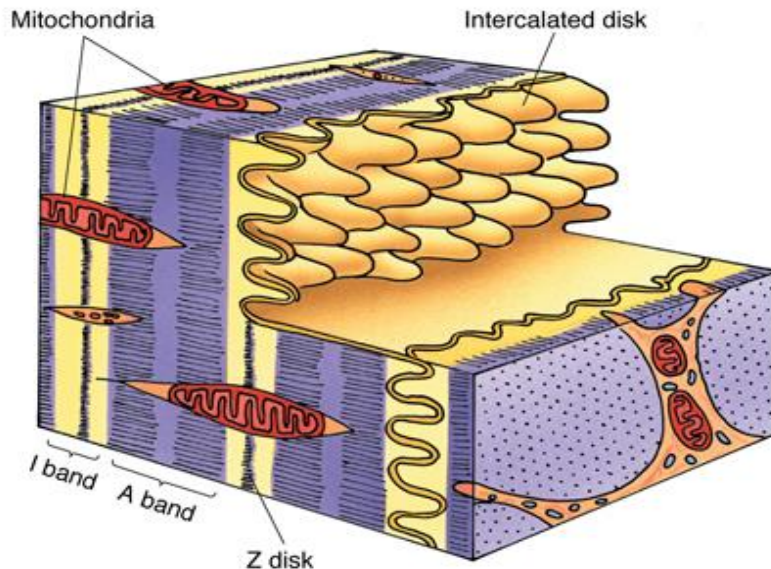


CZĘŚĆ RÓWNOLEGLA

Połączenia komunikacyjne typu nexus – umożliwiają szybki przepływ jonów z komórki do komórki.

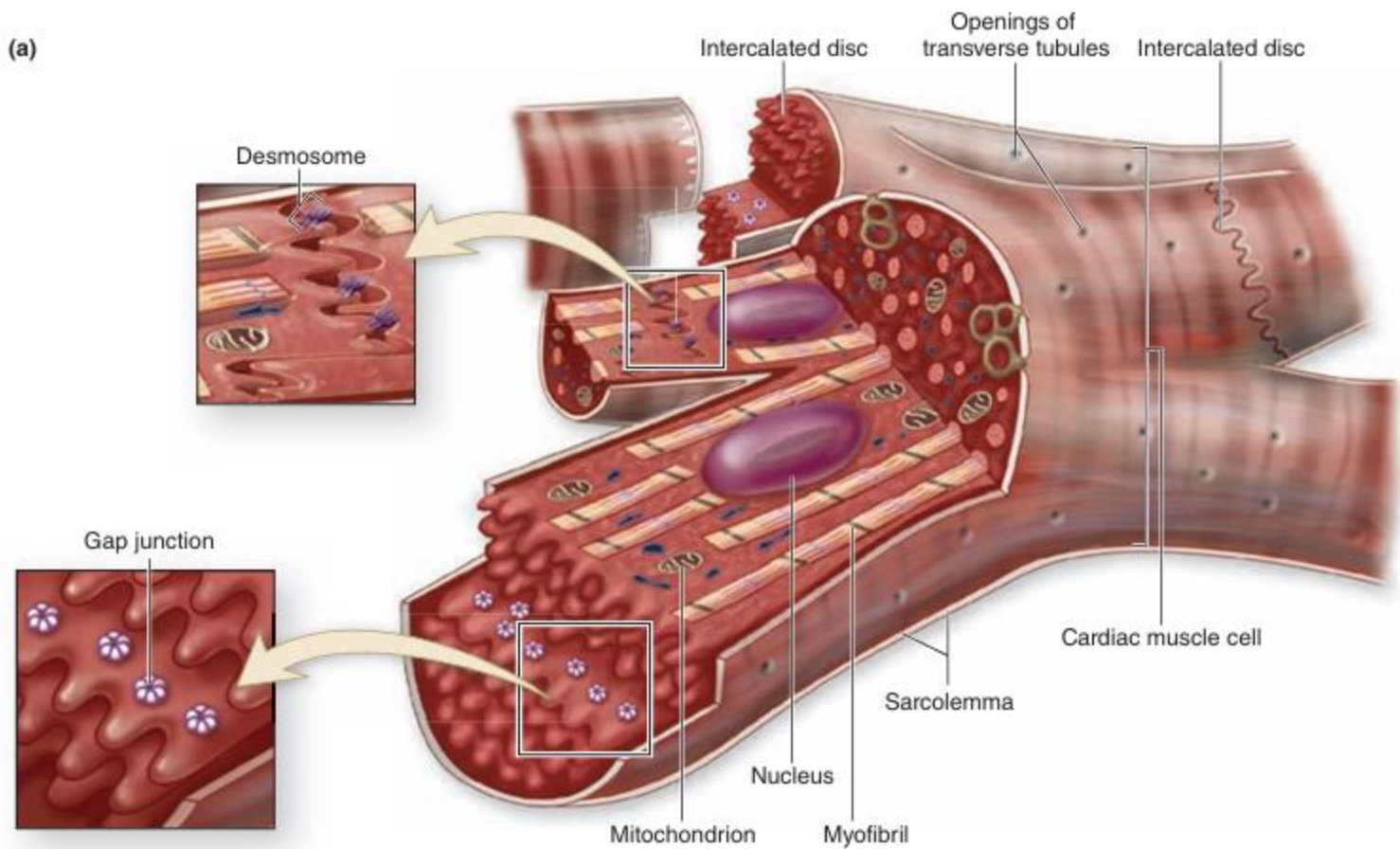
CZĘŚĆ POPRZECZNA

(obwódki zwierające, desmosomy)



Poprzeczne części pełnią rolę granicznych prążków Z, w obwódkach zwierających zakotwiczone są filamenty aktynowe.

FIGURE 10-16 Cardiac muscle.

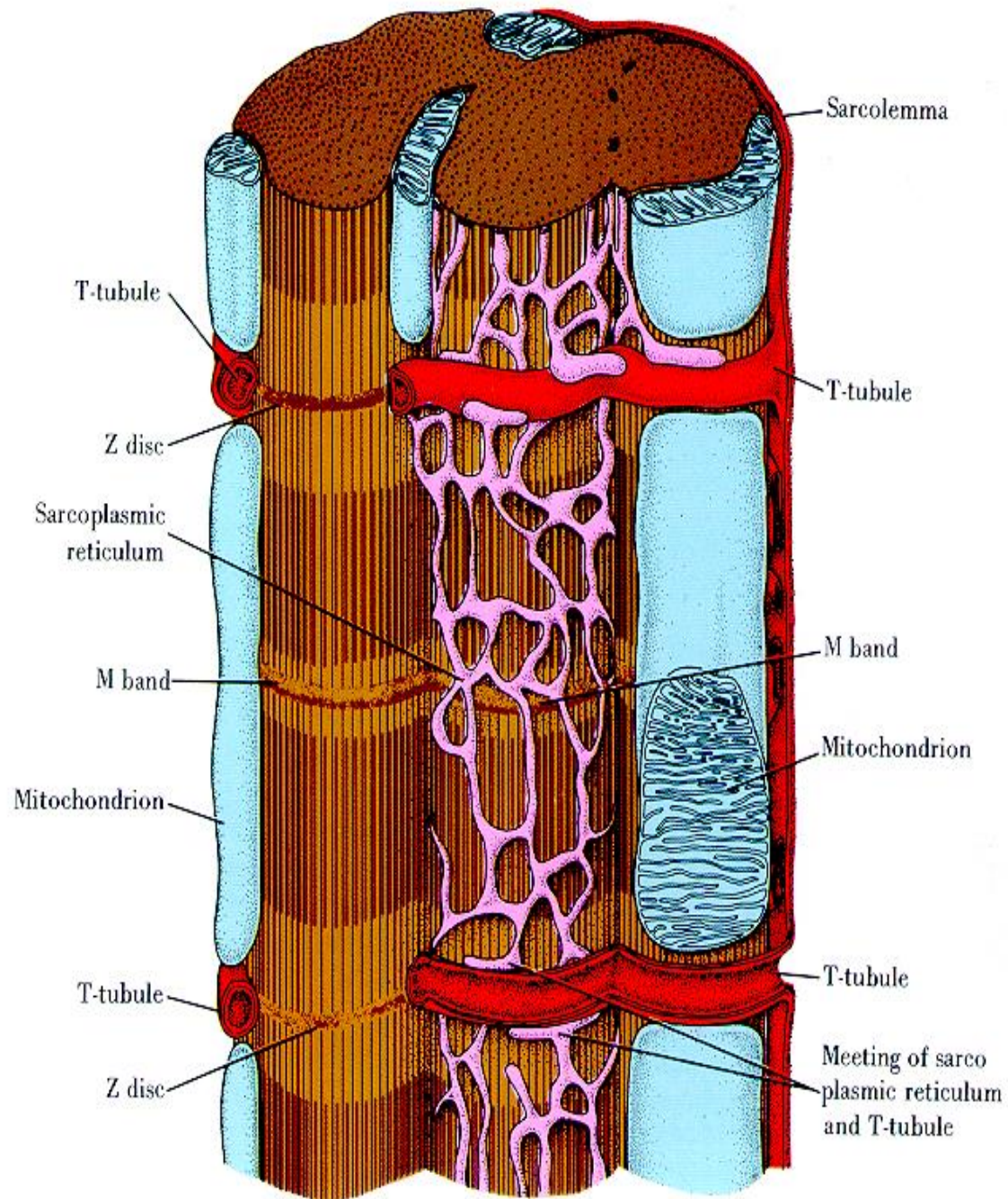


Siateczka sarkoplazmatyczna mniej rozwinięta niż w mięśniach szkieletowych.

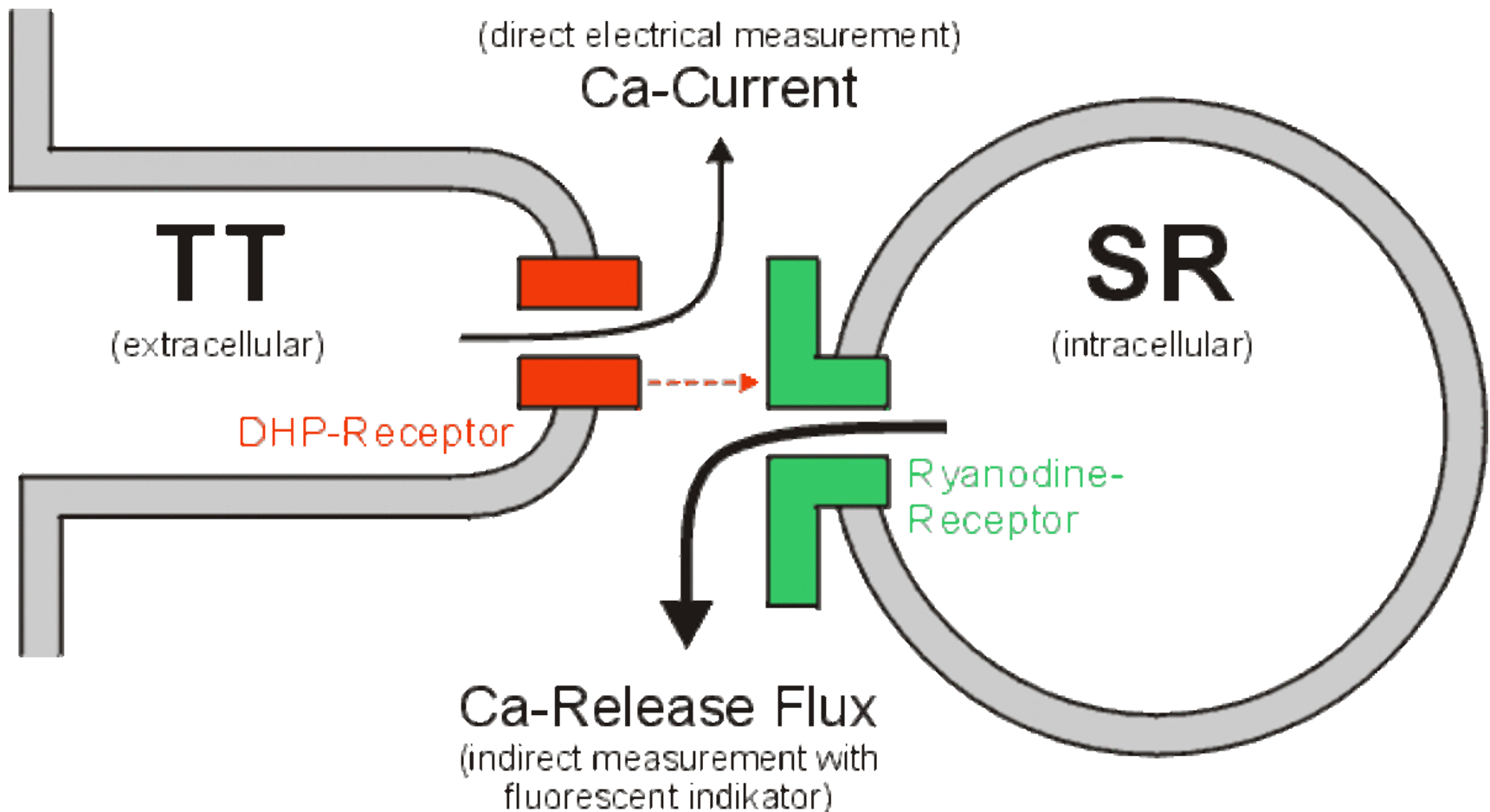
Kanaliki T i końcowe zbiorniki SR tworzą diady.

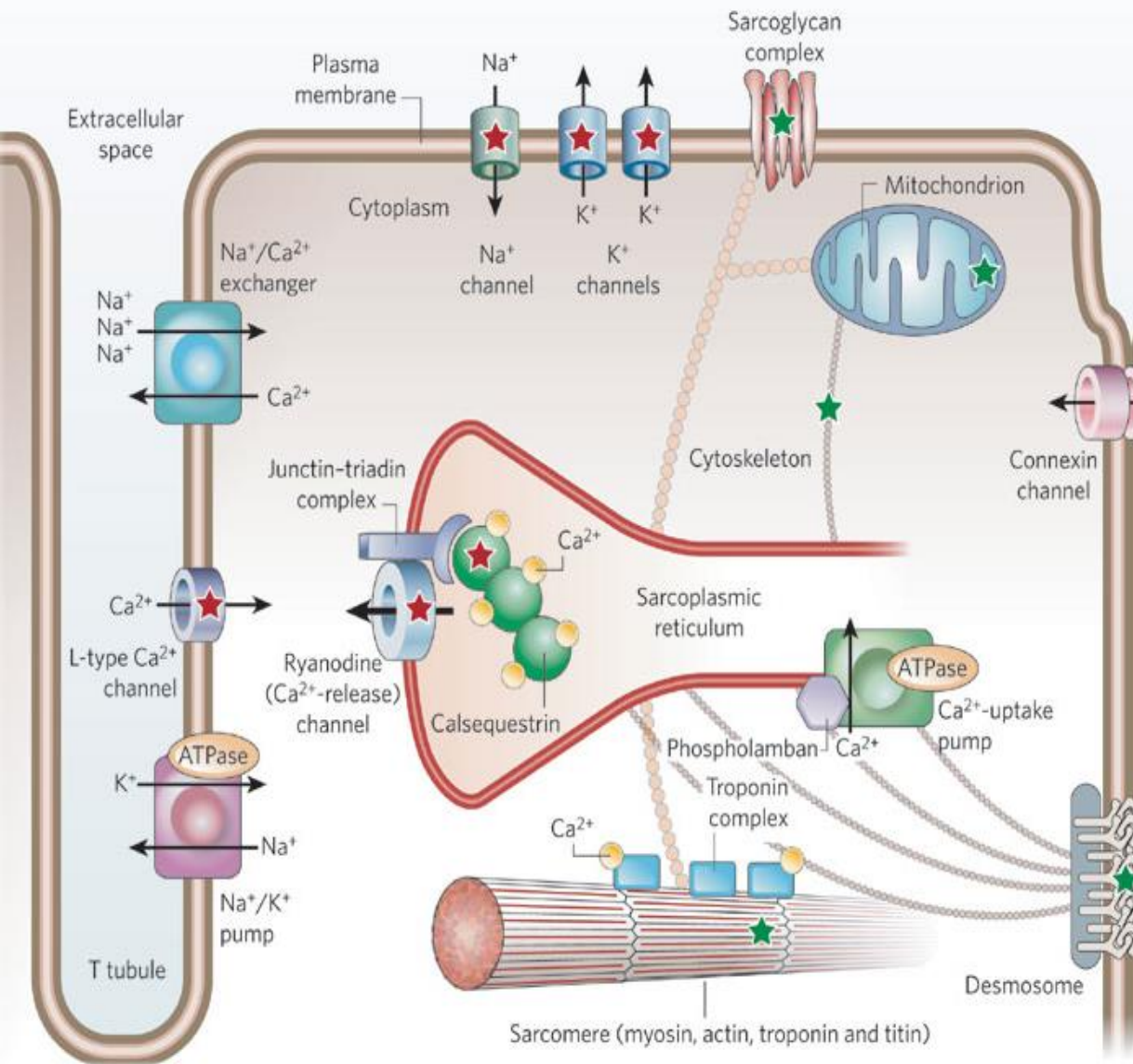
Diady w mięśniu sercowym znajdują się w pobliżu prążka granicznego Z.

Troponina I i T charakterystyczne izoformy dla kardiomiocytów – badane przy zawale serca.



Uwalnianie Ca w mięśniu sercowym



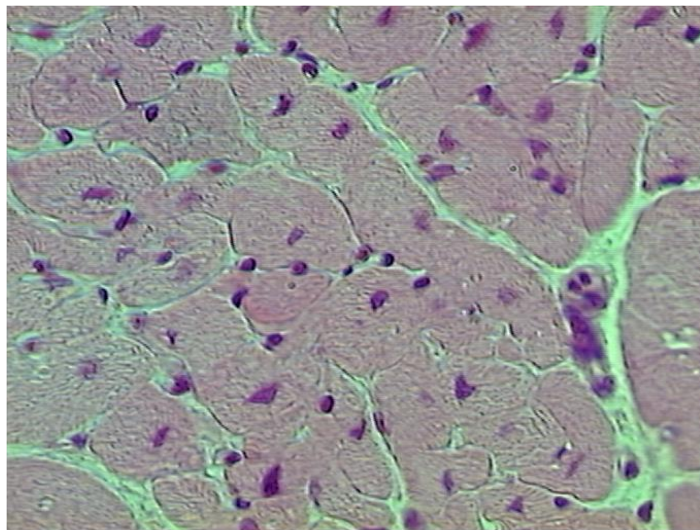


Po aktywacji (potencjał czynnościowy) DHP (kanały Ca²⁺ typu L) jony Ca²⁺ wpływają do komórki i aktywowane są receptory rianodynowe SR - napływ jonów Ca²⁺ z SR.

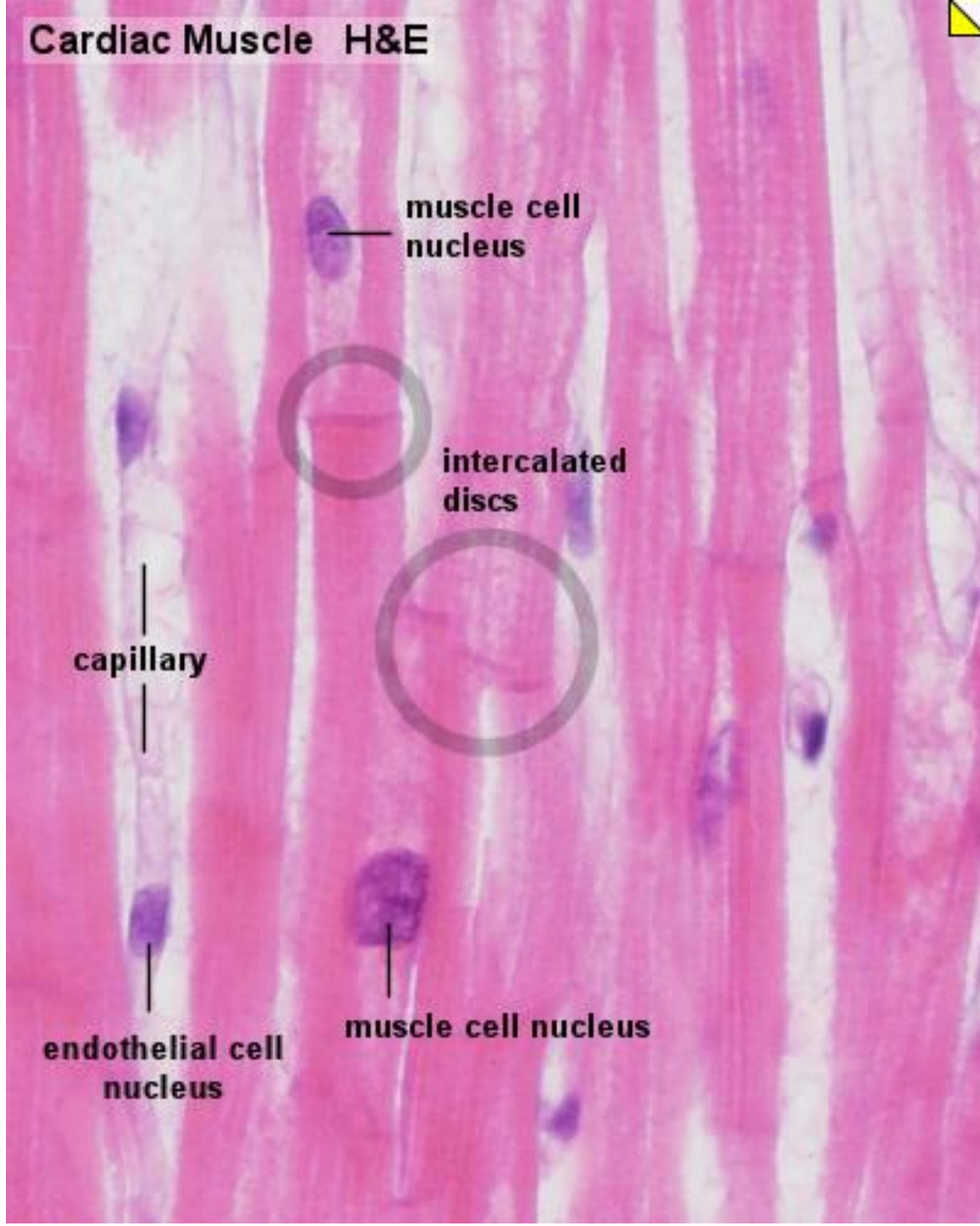
Fosfolamban - błonowe białko SR kontroluje powrót jonów Ca²⁺ do SR po skurczu. Gdy fosfolamban nie jest fosforylowany, hamuje pompy wapniowe.

Po fosforylacji przez zależną od cAMP kinazę białkową (PKA) fosfolamban umożliwia działanie pomp wapniowych, a jony Ca²⁺ wchodzi do SR. Fosfolamban kontroluje relaksację mięśni.

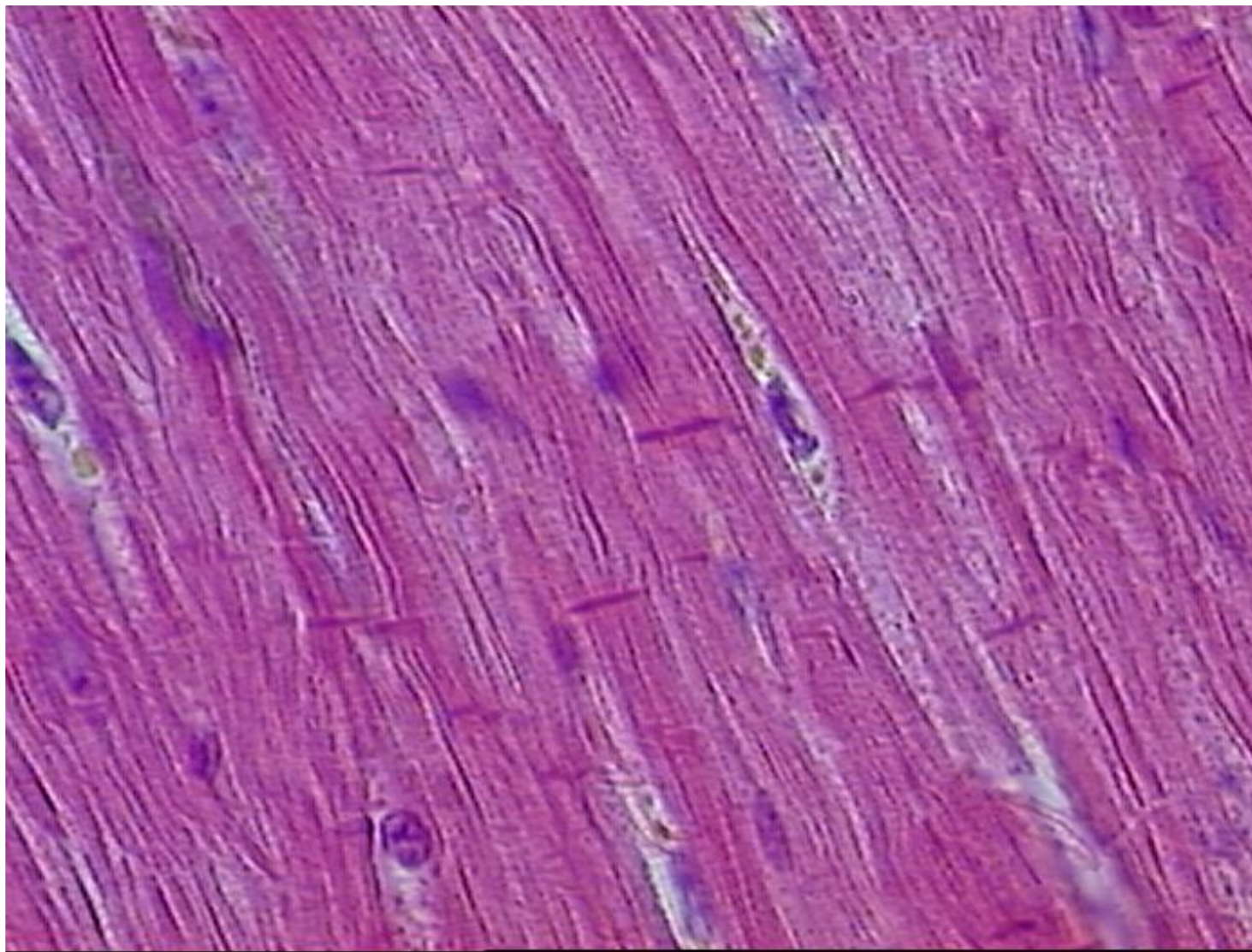
Mięsień sercowy

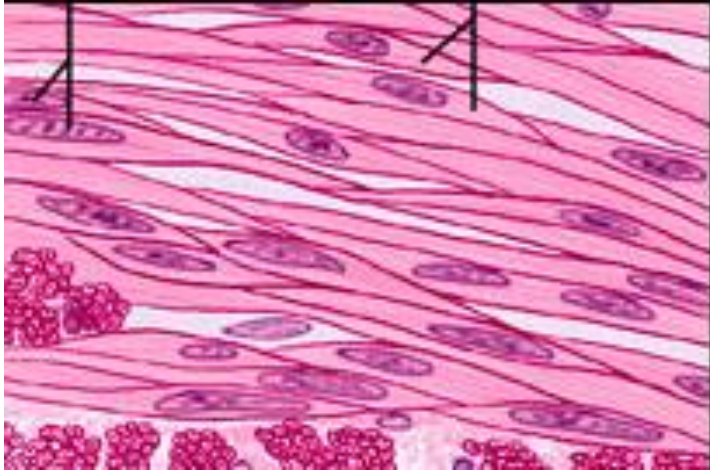


Cardiac Muscle H&E



Mięsień sercowy – przekrój podłużny -wstawki

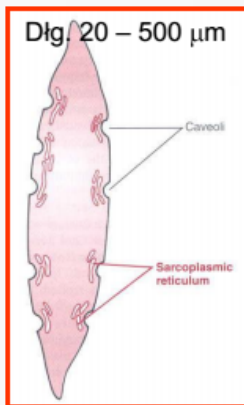




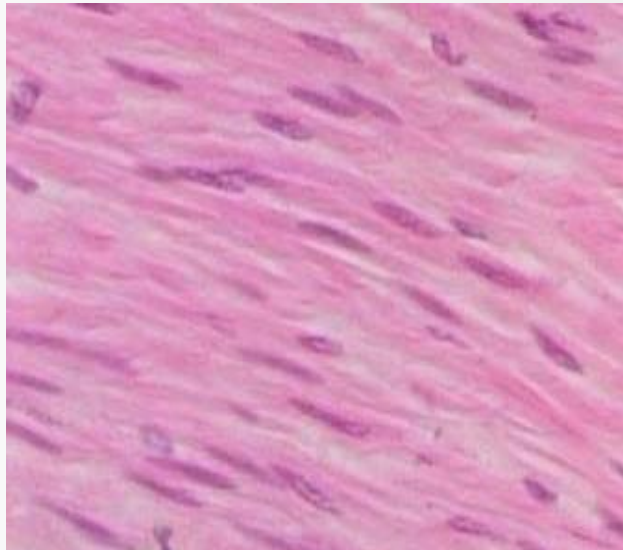
Mięśnie gładkie

- *Ściana przewodu pokarmowego, przewodów moczowych, macicy, układu oddechowego*
- *Ściany naczyń*
- *Skóra właściwa*
- *Rozproszone komórki w tkance łącznej*

Tkanka mięśniowa gładka (mezenchyma)

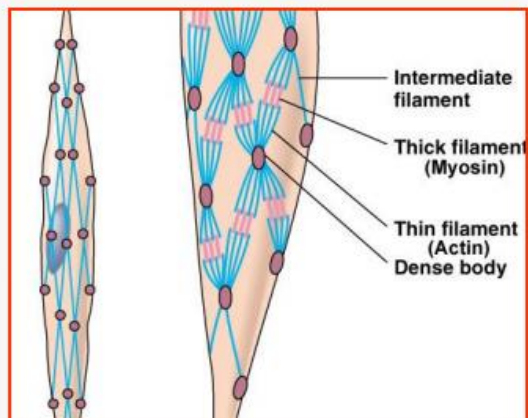


Miocyt gładki



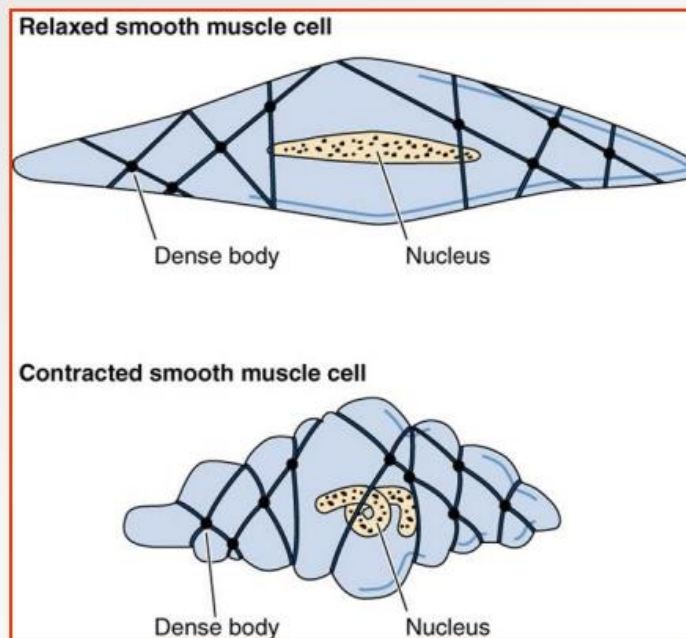
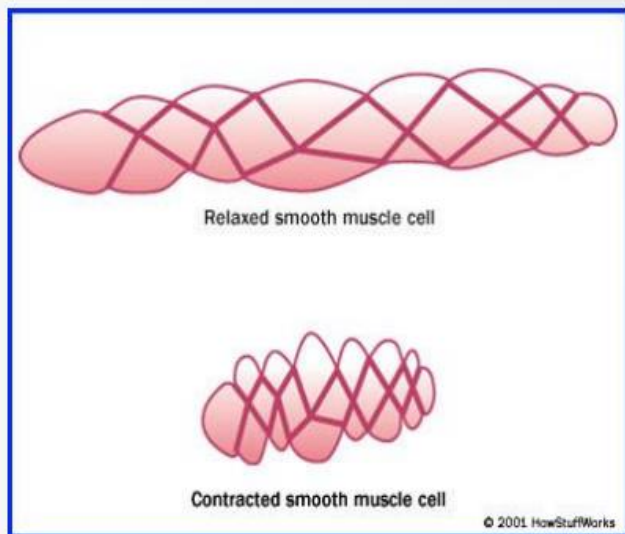
- Kształt wrzecionowaty.
- Jedno jądro położone centralnie.
- Sarkolema tworzy liczne wgłobienia – jamki (caveolae) – odpowiednik kanalików T
- Na wewnętrznej powierzchni sarkolemy liczne taśmy gęste (odpowiednik linii Z sarkomeru), w sarkoplazmie pola gęste (α aktynina).
- Wiązki filamentów aktynowych 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
Brak kompleksu troponin



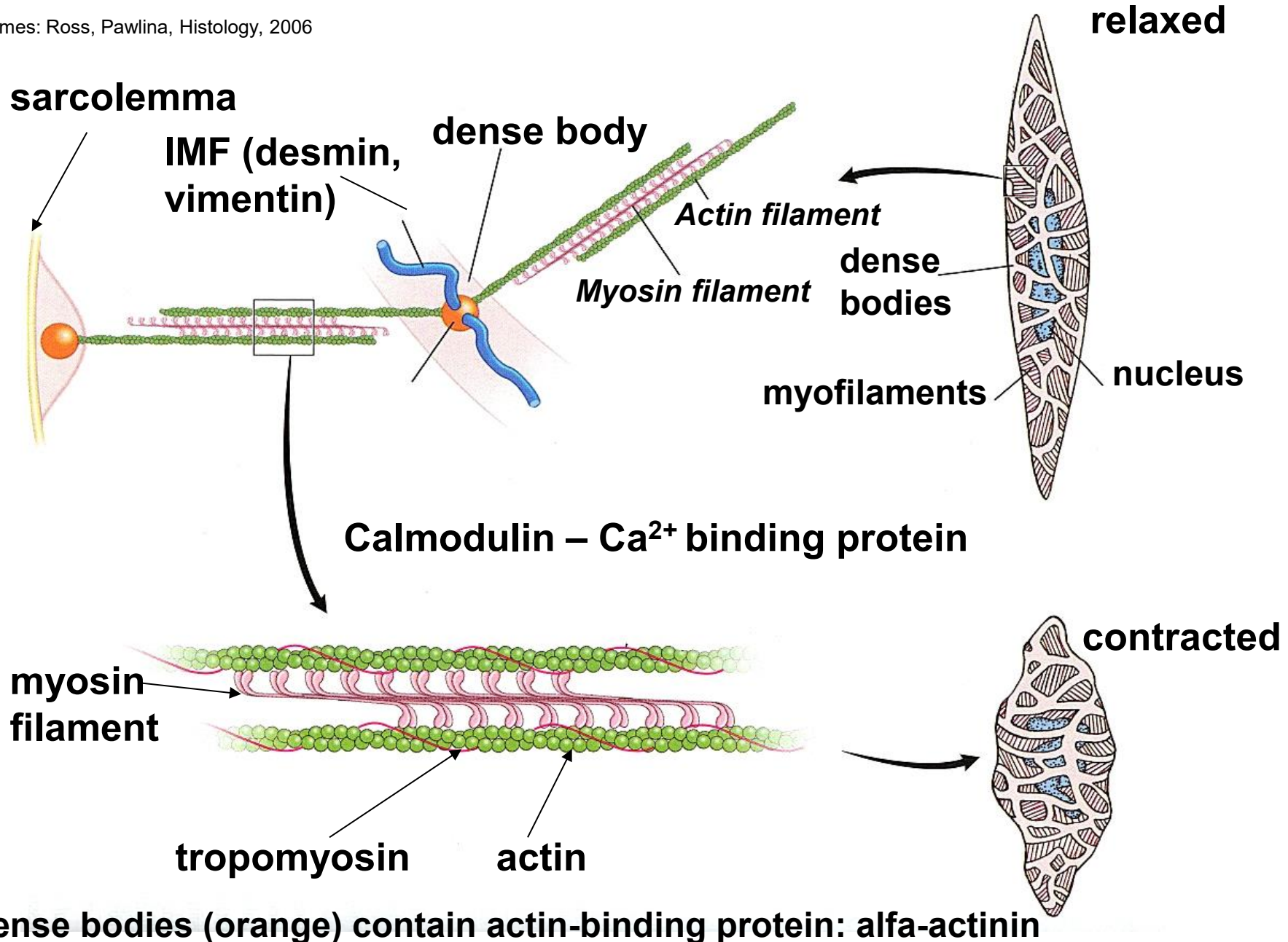
Skurcz miocyta gładkiego uzależniony od struktury i organizacji filamentów aktynowych i miozynowych. Wiązki filamentów ułożone w postaci krat.

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

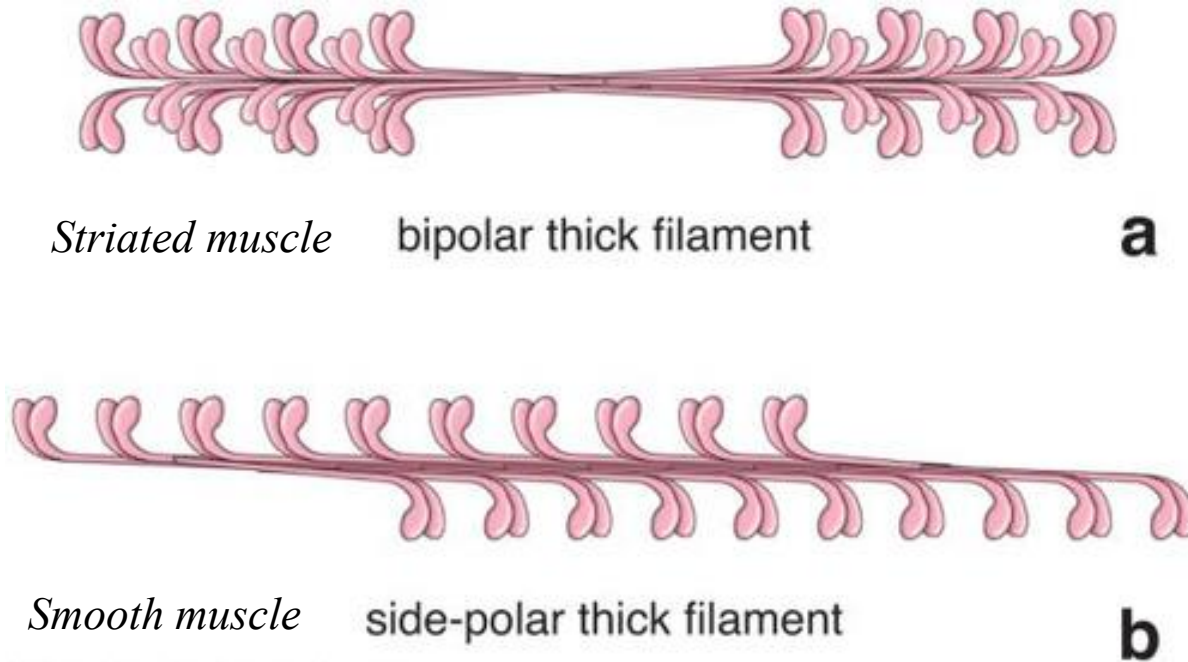


Smooth muscle cell contraction

Schemes: Ross, Pawlina, Histology, 2006

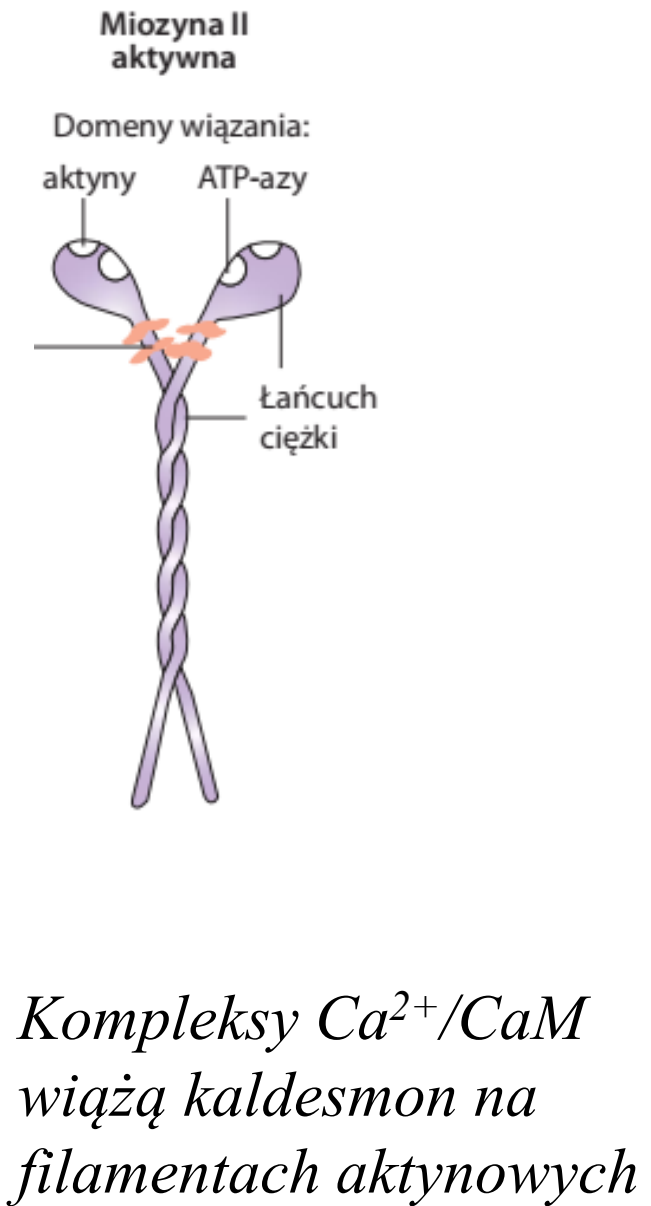
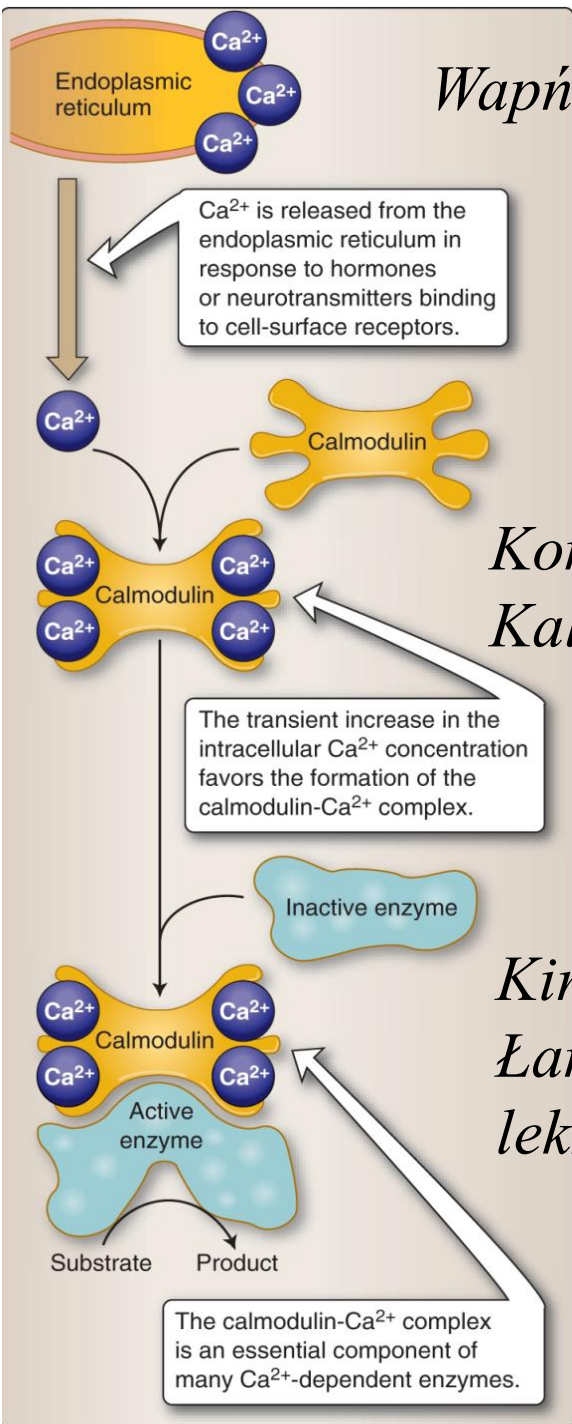


FILAMENTY GRUBE (MIOZYNA II)

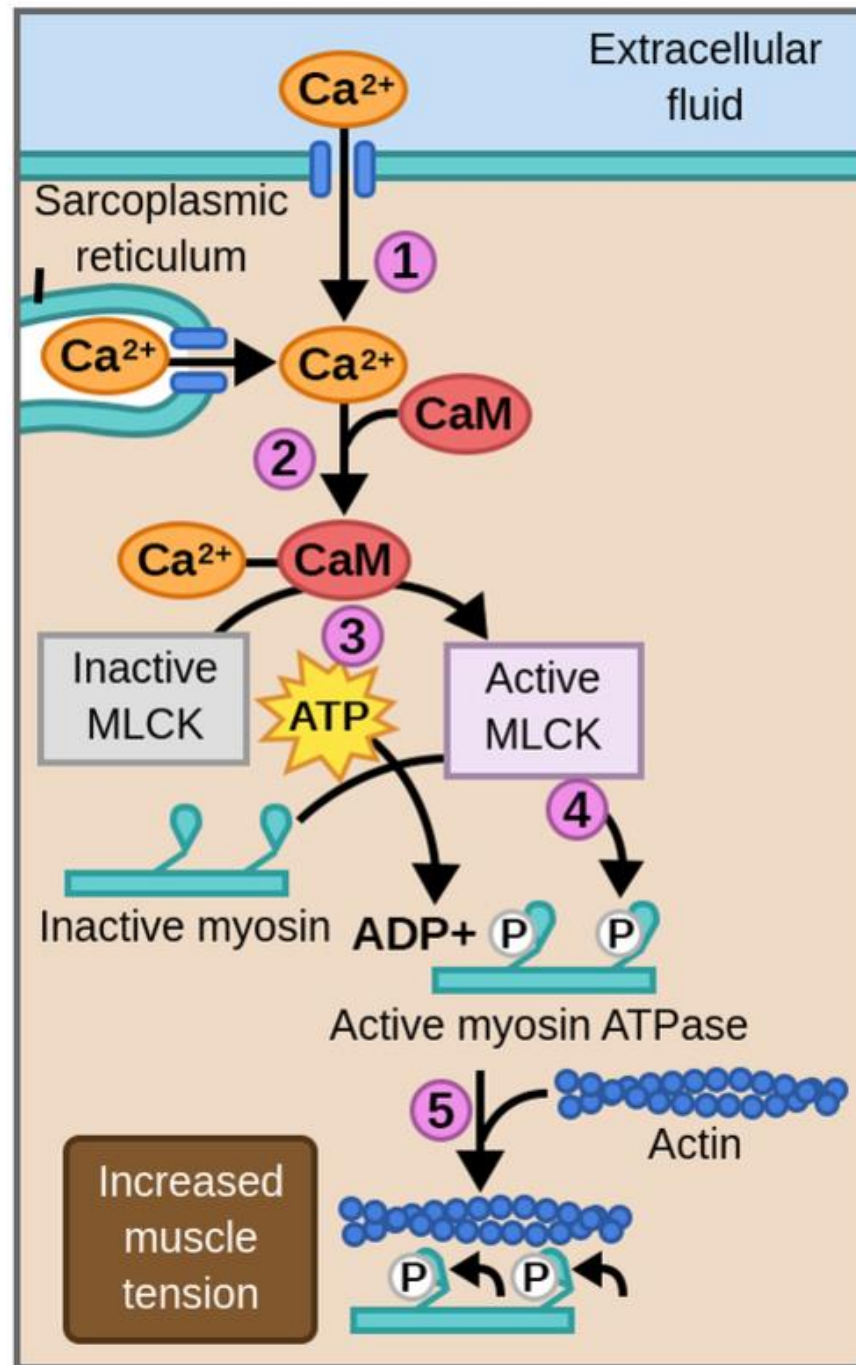


*Kinaza łańcuchów
lekkich miozyny
fosforyluje łańcuchy
regulatorowe miozyny.
Główki miozyny wiążą i
hydrolizują ATP.*

Główki miozyny II są rozmieszczone wzdłuż filamentów grubych na całej długości, przy czym na obydwóch końcach tylko po jednej stronie. Środek filamentu, inaczej niż w mięśniach poprzecznie prążkowanych, również posiada główki miozyny. Dlatego filamente grube mięśni gładkich dysponują większą powierzchnią interakcji z aktyną. Taki układ pozwala na długotrwałe skurcze.



Smooth Muscle Contraction



REGULACJA CZYNNOŚCI TKANKI MIĘŚNIOWEJ GŁADKIEJ

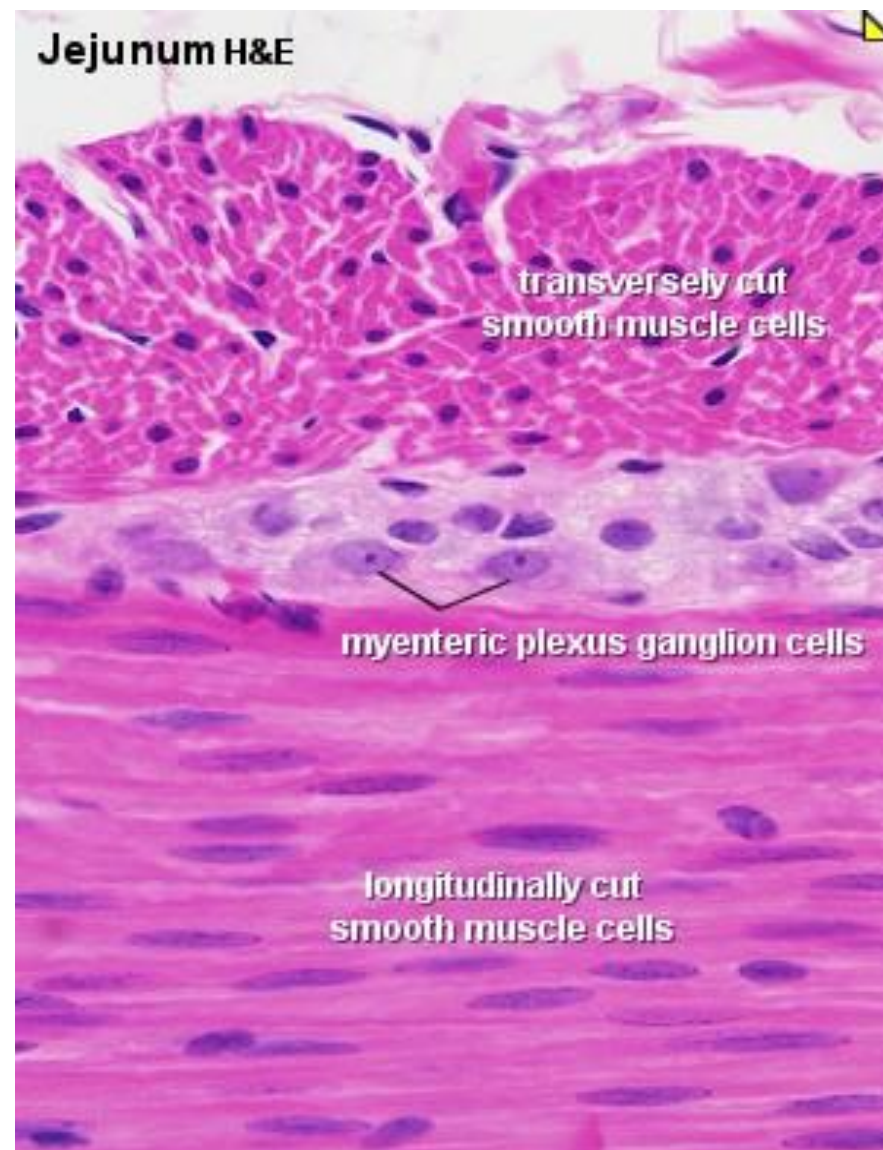
Spontaniczne wytwarzanie potencjału czynnościowego (komórki Cajala) i rozprzestrzenianie przez połączenia komunikacyjne

Impulsy nerwowe z układu współczulnego i przywspółczulnego

Hormony – prostaglandyny, leukotrieny, lipoksyny, noradrenalinę, adrenalinę, angiotensynę 2

Kininy – krótkie peptydy odcinane od białek surowicy (bradykinina)

Tlenek azotu – wytwarzany z argininy, pobudza cyklazę guanylową czyli zwiększa poziom cGMP, który prowadzi do zmniejszenia stężenia jonów wapnia i rozkurczu.



Komórki mięśni gładkich w układzie pokarmowym są zwykle ułożone w dwóch warstwach prostopadłych do siebie. Wewnętrzna warstwa okrężna i zewnętrzna warstwa podłużna

