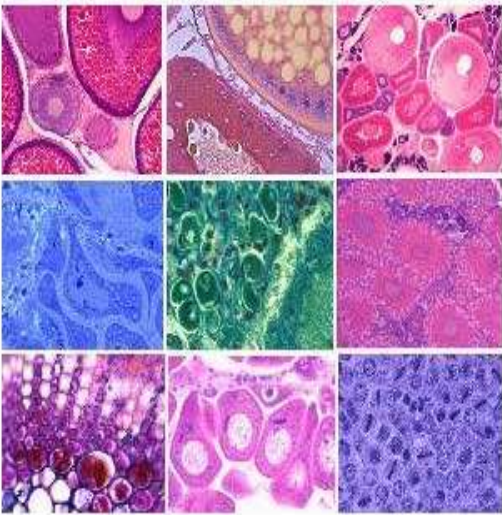


# Мускулна тъкан



- 1. Мускулна тъкан –  
обща характеристика,  
хистогенеза и функции**
- 2. Класификация на  
мускулната тъкан**
- 3. Гладка мускулна тъкан**
- 4. Напречнонабраздена  
(скелетна) мускулна тъкан**
- 5. Сърдечна мускулна тъкан**



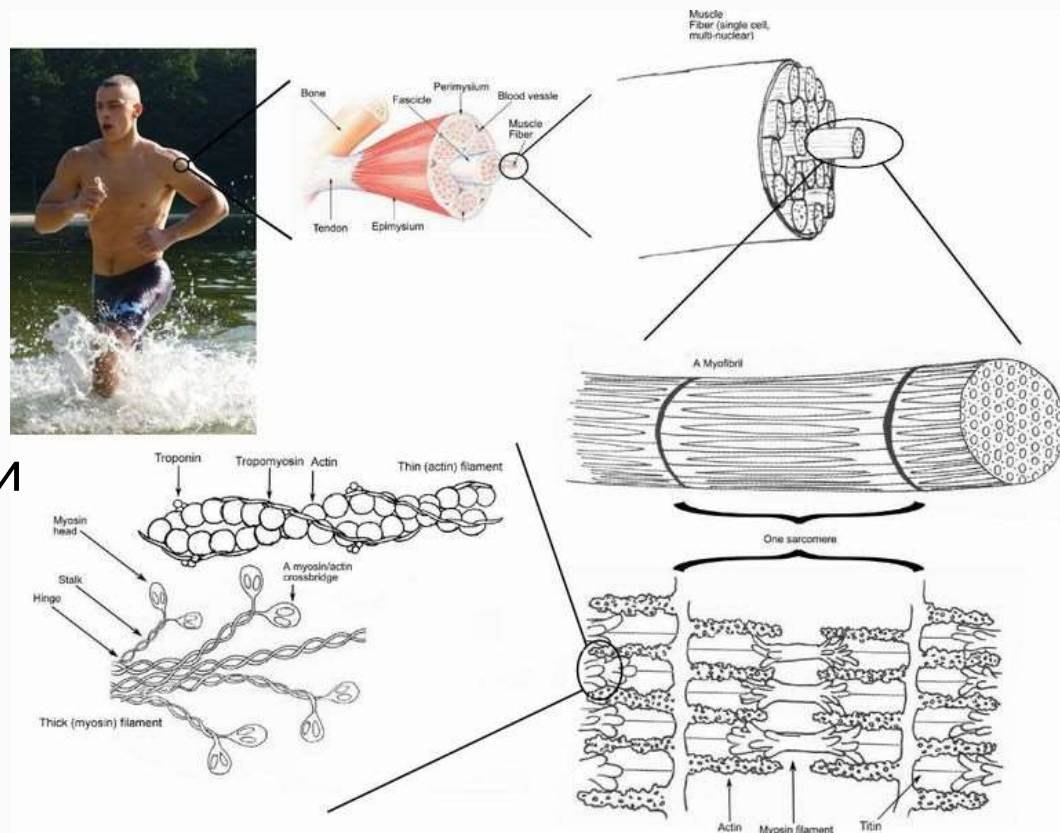
# Мускулна тъкан

## ■ *Textus muscularis*:

- ✓ клетки – миоцити
- ✓ екстрацелуларен матрикс

- ✓ придвижване в пространството
- ✓ храносмилане
- ✓ кръвна циркулация
- ✓ дихателни движения
- ✓ други двигателни реакции
- ✓ редуване на контракция и релаксация:

- трансформация на химична в механична енергия



# Мускулни влакна – миофибри

Gr. *sarkos* = месо

✓ мускулни клетки = **МИОЦИТИ** (лейомиоцити, рабдомиоцити, кардиомиоцити):

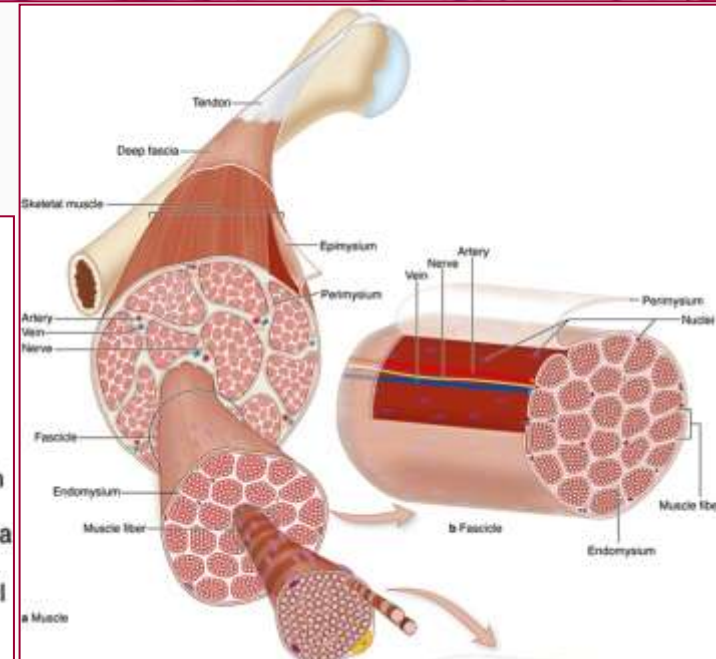
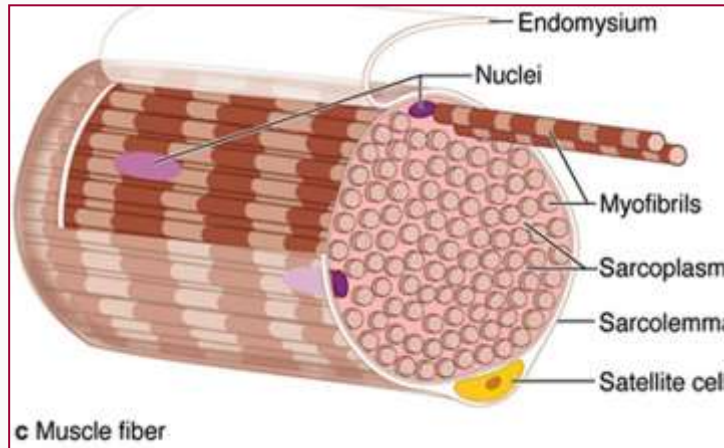
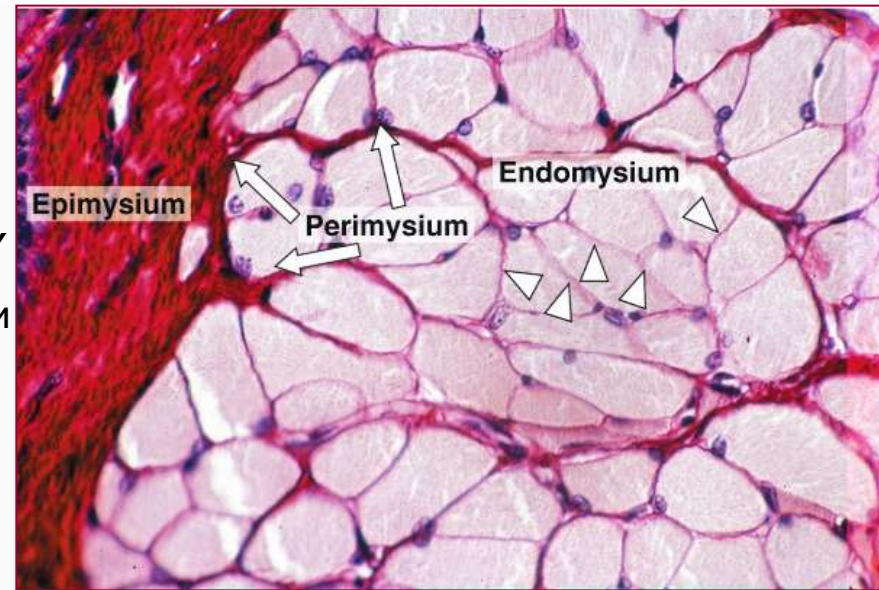
- издължени, цилиндрични или вретеновидни = **миофибри**
- **саролема** = плазмалема
- **саркоплазма** = цитоплазма
- **саркоплазмен ретикулум** = гладък ендоплазмен ретикулум
- **саркозоми** = митохондрии
- миоглобин: кислород-свързващ протеин
- съединителнотъкани компоненти:
  - ✓ *endomysium* (Gr. *endon*, вътре + *mys*, мускул)
  - ✓ *perimysium* (Gr. *peri*, около + *mys*)
  - ✓ *epimysium* (Gr. *epi*, над + *mys*)

✓ **миоепителни**  
**клетки**

✓ **перицити**

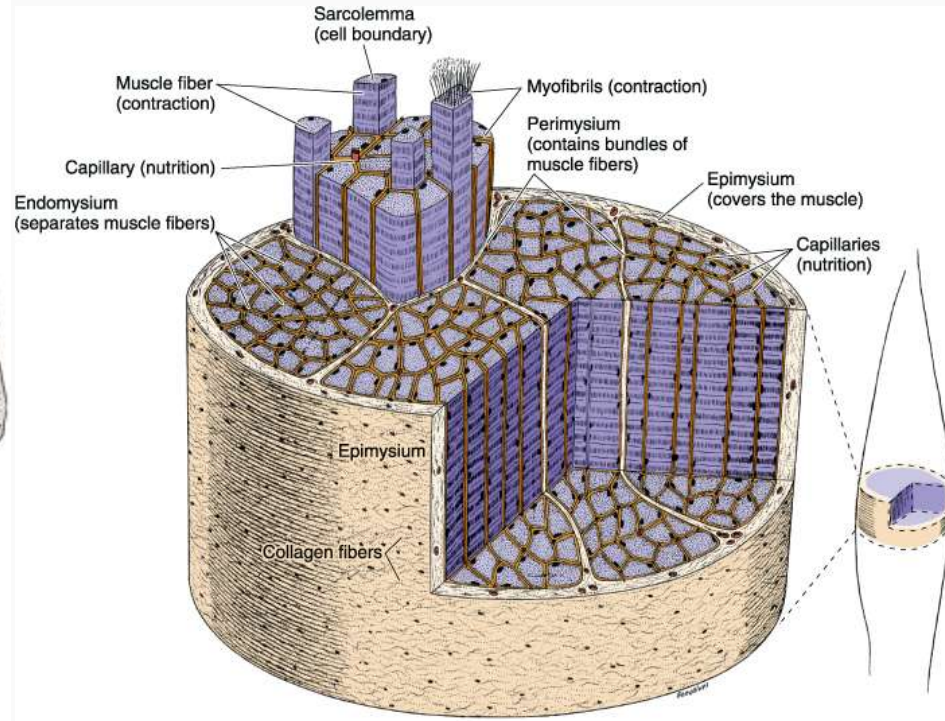
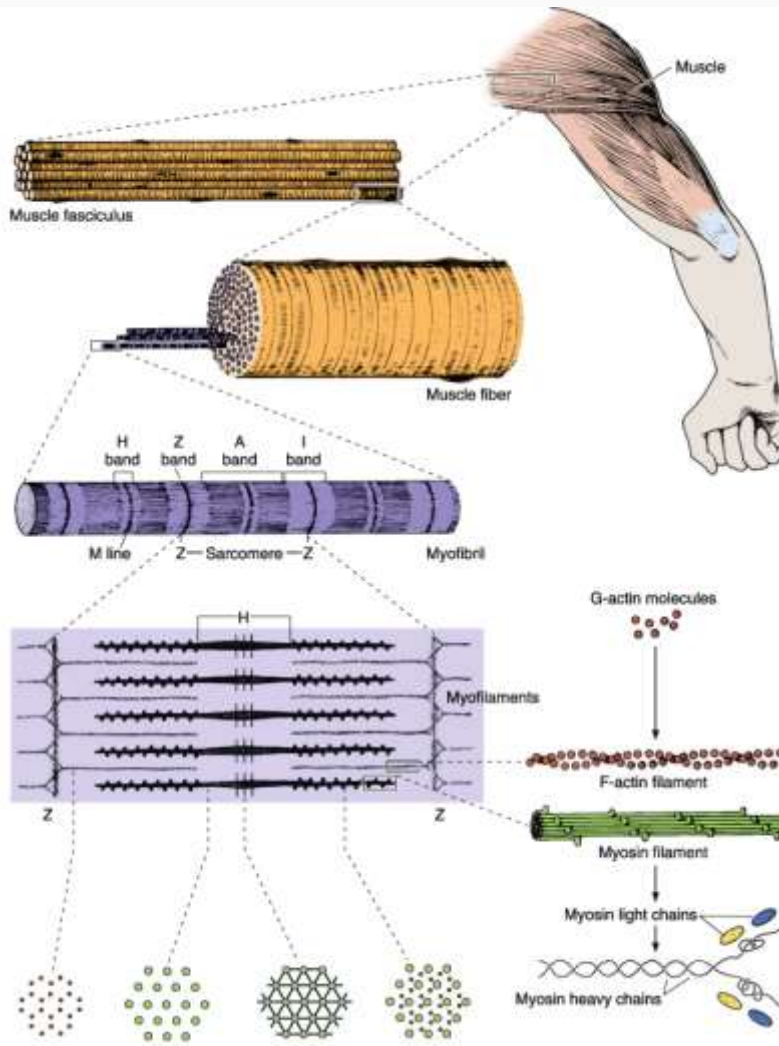
✓ **миофибробласти**

✓ **миоидни клетки**



# Миофибрили и миофиламенти

- ✓ **миофибрили:** изпълващи миофибрите
- отделени със сакроплазмен ретикулум

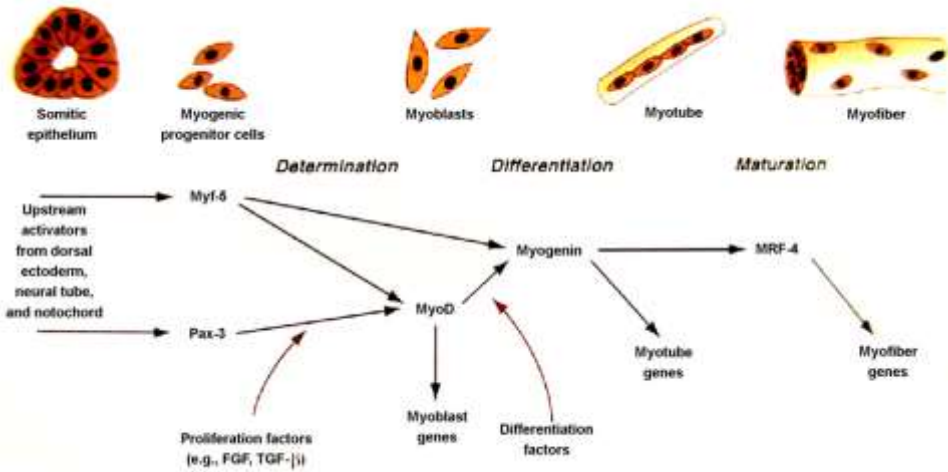


- ✓ **миофиламенти:**
- тънки и дебели филаменти (контракtilни протеини)

# Хистогенеза

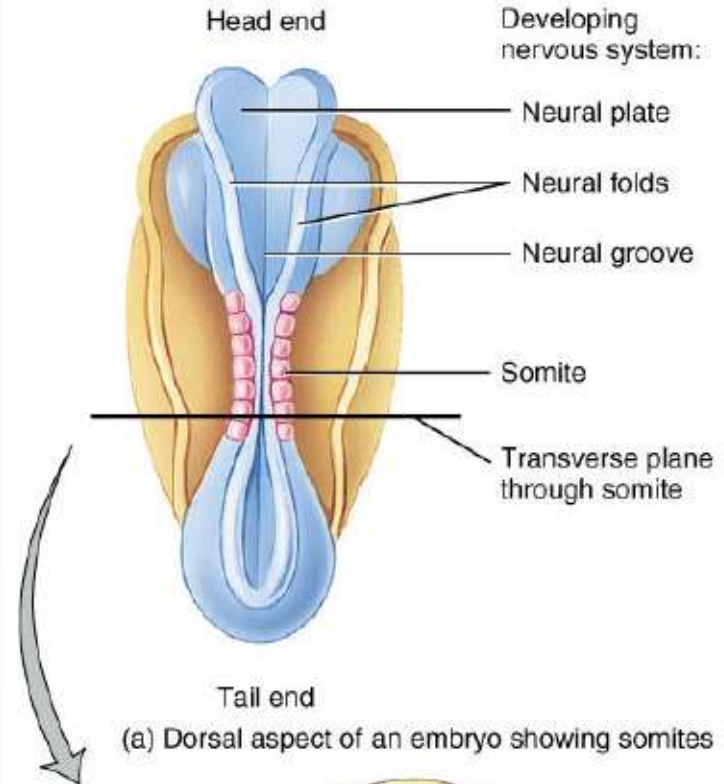
✓ ембрионален произход:

- гладка – мезенхим
- напречнообраздена – мезобласт
- миоепителни клетки – кожен ектобласт

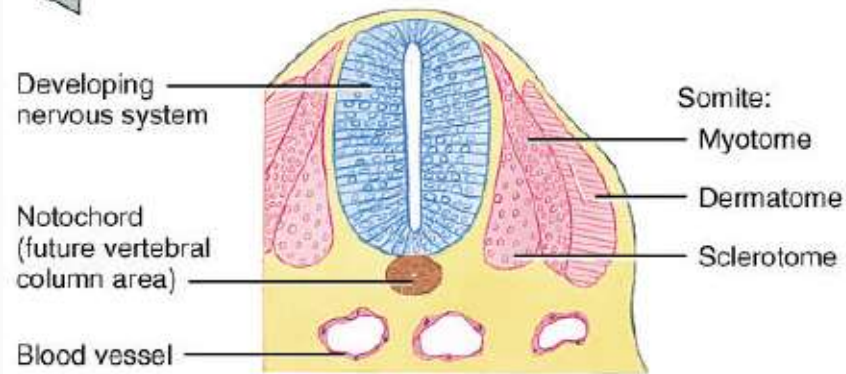


✓ скелетна – мезодерма

- сомити – скелетни мускули на туловището
- обща мезодерма – мускули на глава и крайници



(a) Dorsal aspect of an embryo showing somites

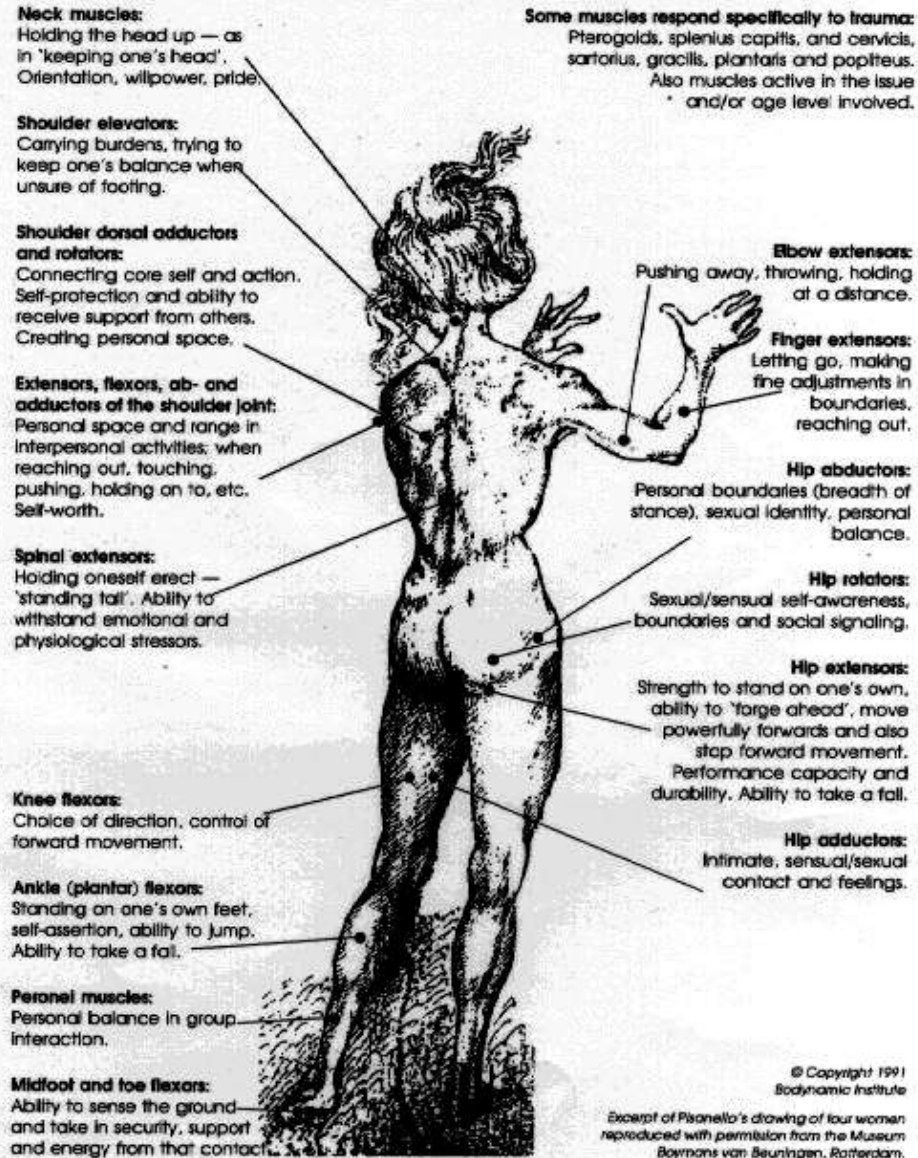


(b) Transverse section of a somite

# Функции

## PSYCHOLOGICAL MUSCLE FUNCTION

- ✓ движения на тялото
- ✓ стабилизиране на стойката
- ✓ регулиране обема на органите: сфинктери
- ✓ движение на субстанции в организма: кръв, лимфа, въздух, храна и течности, урина, семенна течност
- ✓ произвеждане на топлина: неволеви съкращения на скелетната мускулатура (треперене)





## ✓ възбудимост

- в отговор на химични вещества, освободени от нервни клетки

## ✓ проводимост

- способността да провежда електрични сигнали по мембраната

## ✓ контрактилност

- способността да се съкращава и произвежда енергия

## ✓ разтегливост

- способността да се удължава без увреждане на тъканта

## ✓ еластичност

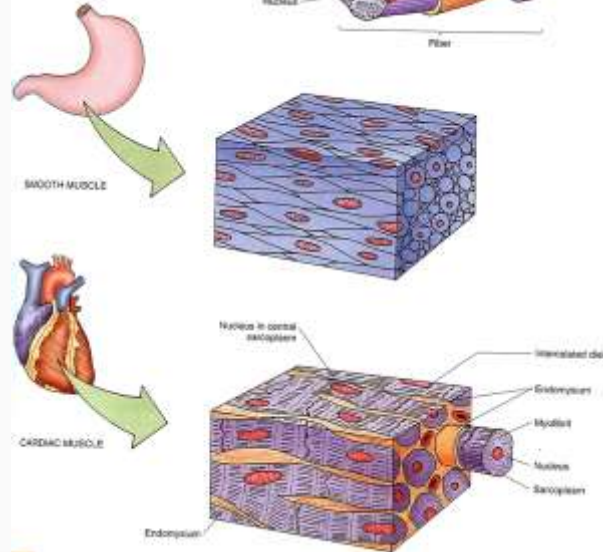
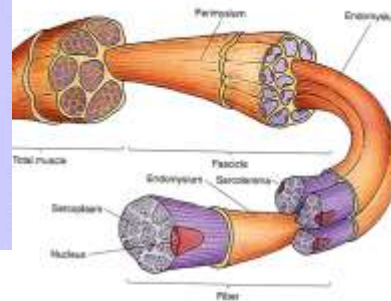
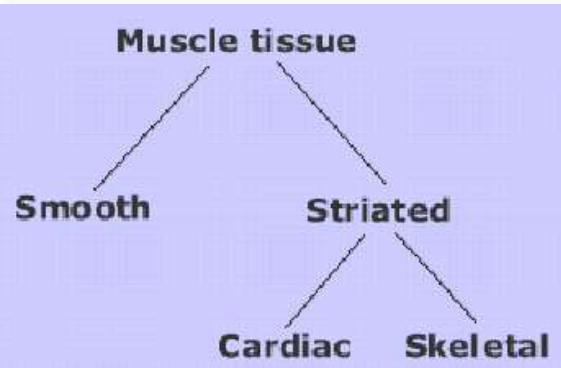
- способността да възстановява първоначалната си форма след разтягане



# Класификация

## Мускулна тъкан:

- ✓ гладка
- ✓ напречнонабраздена
  - скелетна
  - сърдечна

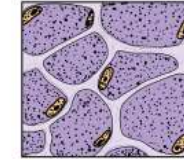


### Muscle types

#### Skeletal muscle



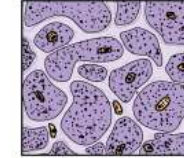
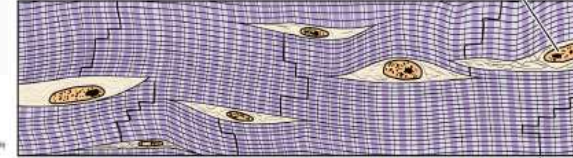
#### Cross sections



### Activity

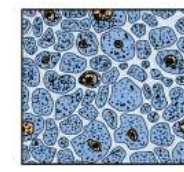
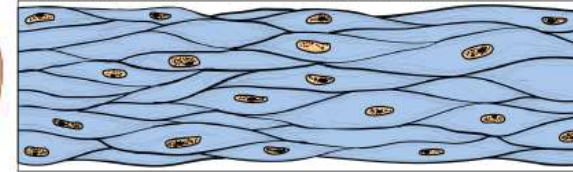
Strong, quick discontinuous voluntary contraction

#### Cardiac muscle

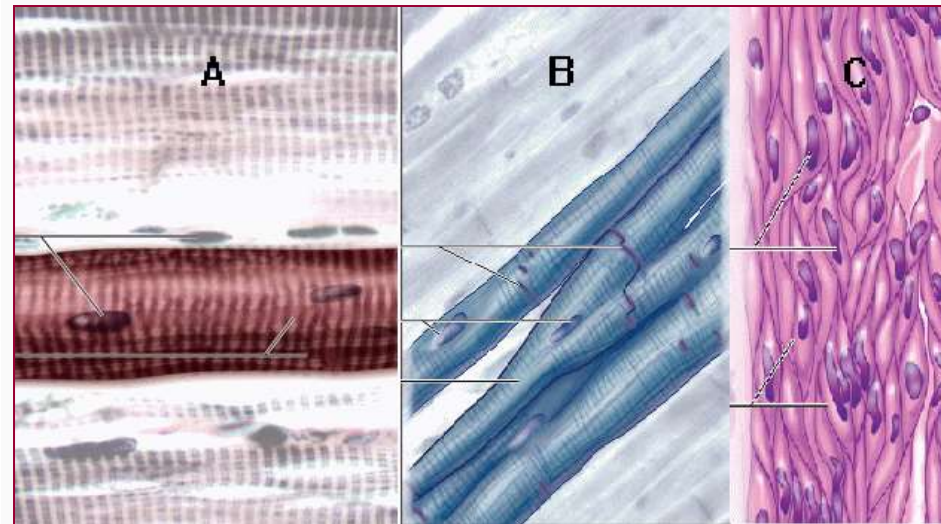


Strong, quick continuous involuntary contraction

#### Smooth muscle



Weak, slow involuntary contraction



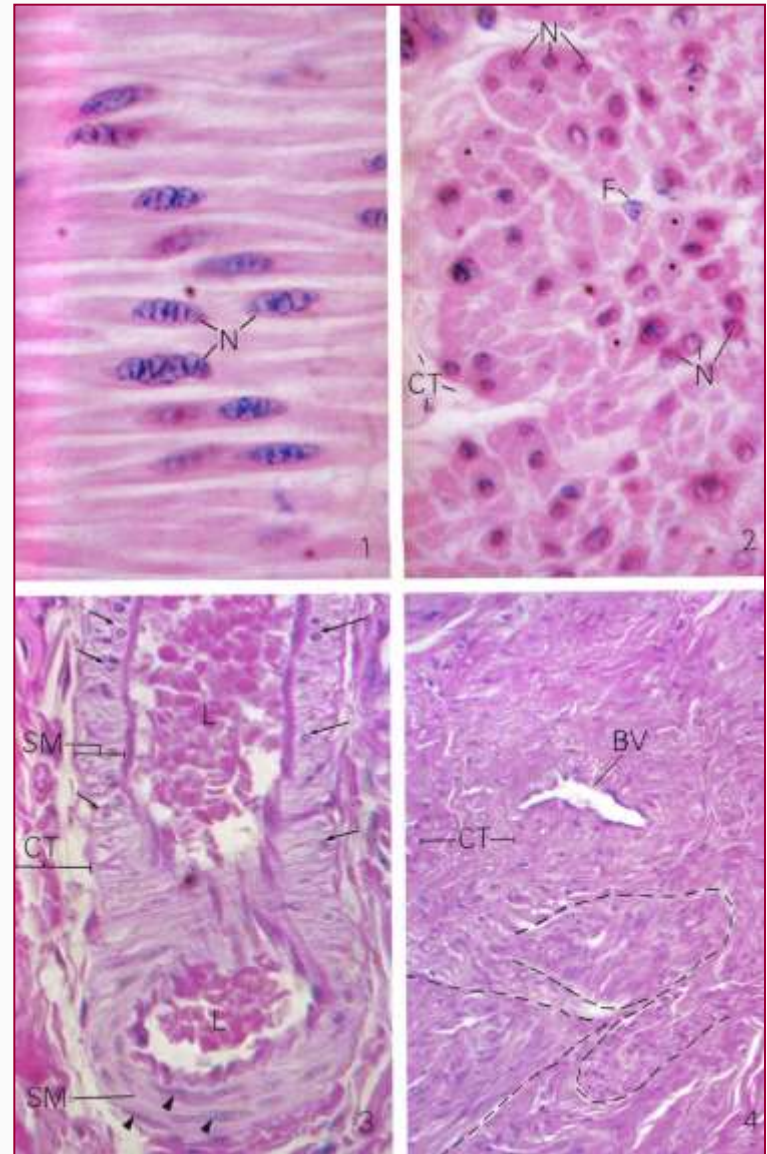


# Гладка мускулна тъкан

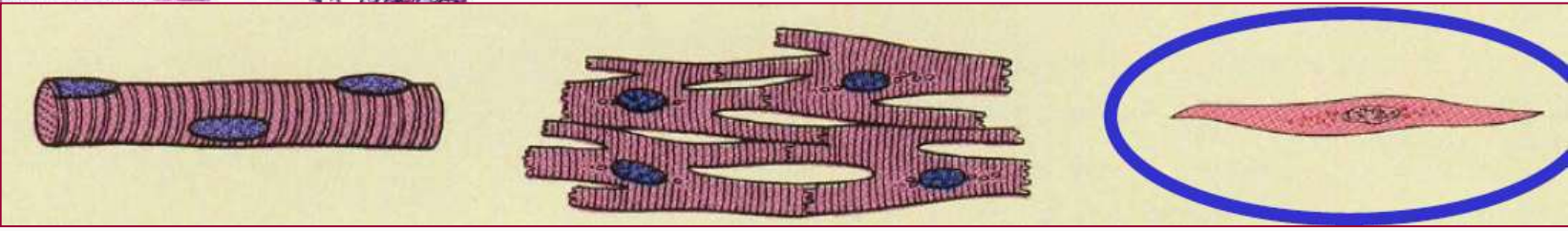
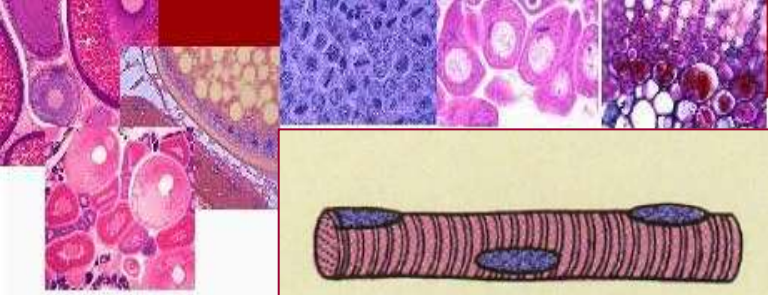
*Textus muscularis nonstriatus (glaber)*

## ■ Особености:

- ✓ произход: **мезенхим**
- ✓ **неволева**: ВНС
  - тонус
  - перисталтика
- ✓ **липса на стрираност**
- ✓ в стената на кухите и тръбести органи:
  - кръвоносни съдове (без капиляри)
  - храносмилателна система
  - дихателна система
  - пикочо-полова система
- ✓ прикрепена към космените фоликули в кожата (*m. arrector pili*)

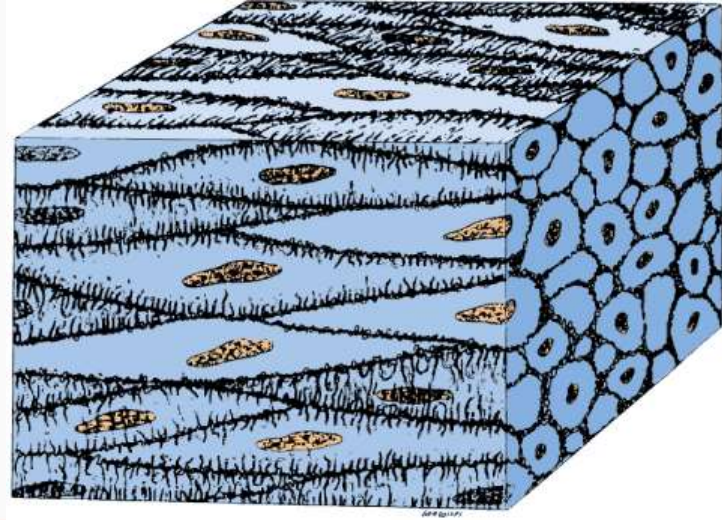
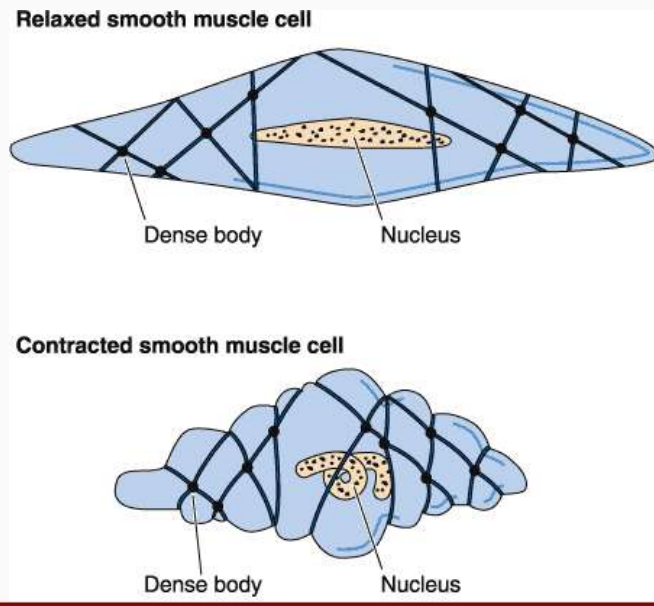
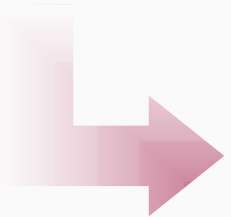
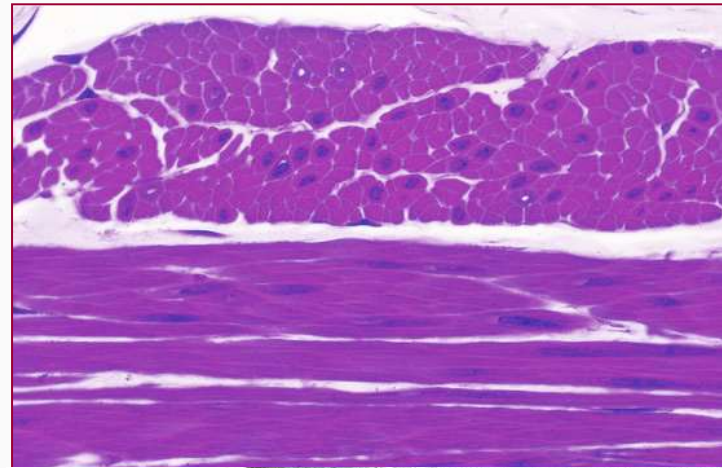


# Гладка мускулна тъкан

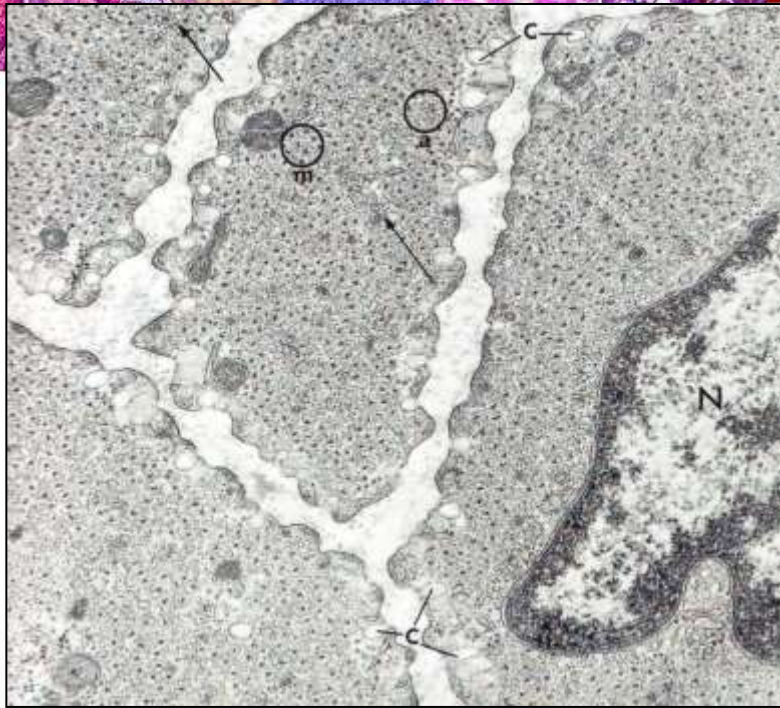


Лейомиоцит (Gr. *leios* = гладък)

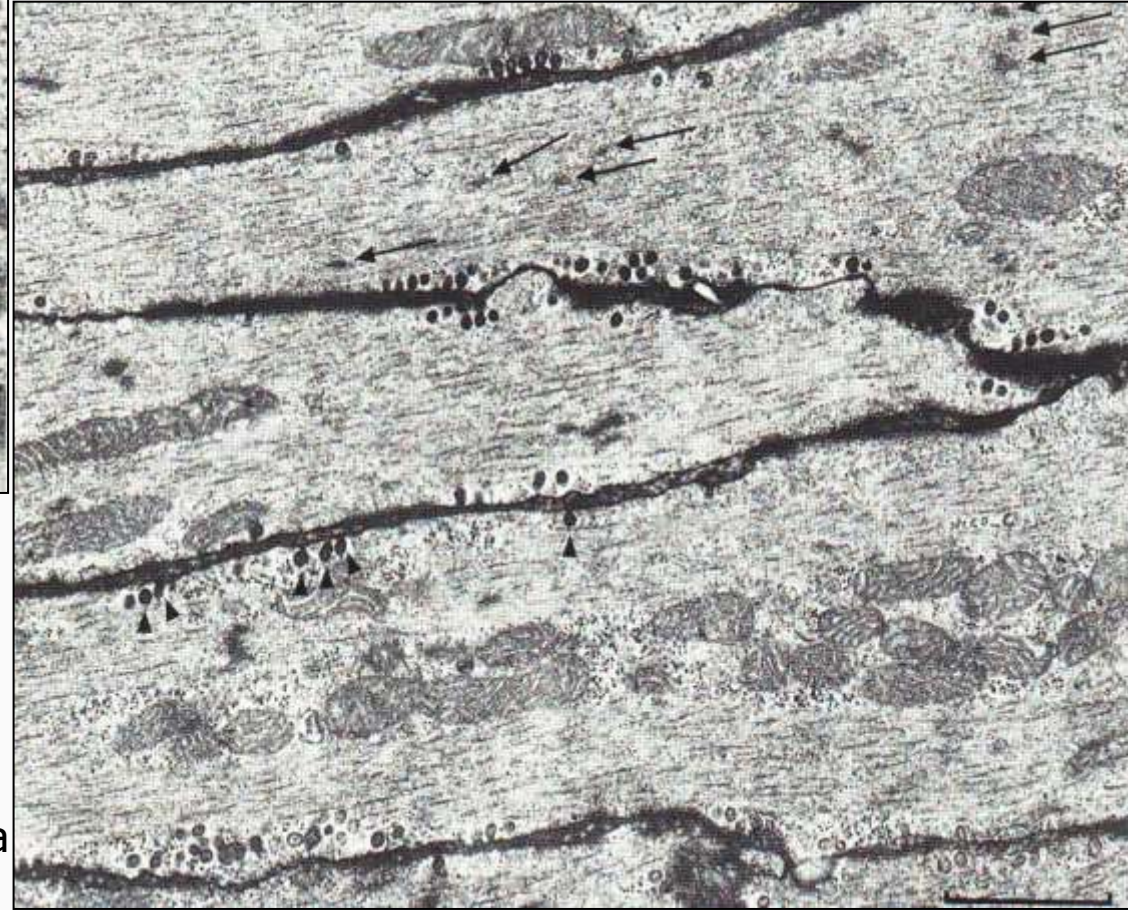
- форма: вретеновидна
- дължина: 20-500  $\mu\text{m}$
- дебелина: 5-10  $\mu\text{m}$



# Ултраструктура



- ✓ *corpora densa* (аналог на Z-диска) –  $\alpha$ -актинин
- ✓ *caveolae* (аналог на T-системата)
- ✓ *nexus*, gap junctions



контракtilни протеини:

- ✓ актинови ( $4.5 \mu\text{m}/7 \text{nm}$ ):
  - актин, тропомиозин, калмодулин –  $\text{Ca}^{2+}$
- ✓ миозинови ( $2.2 \mu\text{m}/17 \text{nm}$ ):
  - миозин II
  - миозин лековерижна киназа

✓ интермедиерни (10 nm):

- дезмин (скелетин), виментин = неконтракtilни протеини



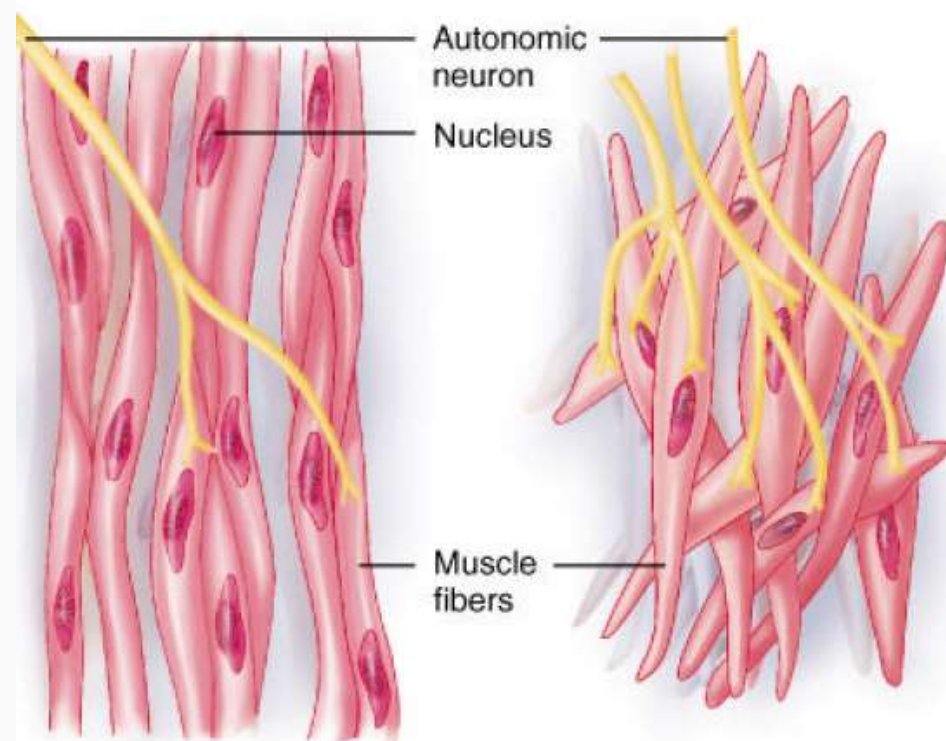
✓ два типа гладка мускулатура:

✓ **висцерална (single-unit)**

- в стената на кухите органи
- малки кръвоносни съдове
  - *авторитмична*
  - *gap junctions предизвикват едновременно съкращение*

✓ **с индивидуална инервация (multi-unit)**

- в големи артерии
- горни дихателни пътища
- мускули на космения фоликул
- ирис и ресничесто тяло
  - *богата инервация на индивидуални клетки*
  - *осигуряват фин контрол*
  - *обезпечават много прецизно и степенувано съкращение*

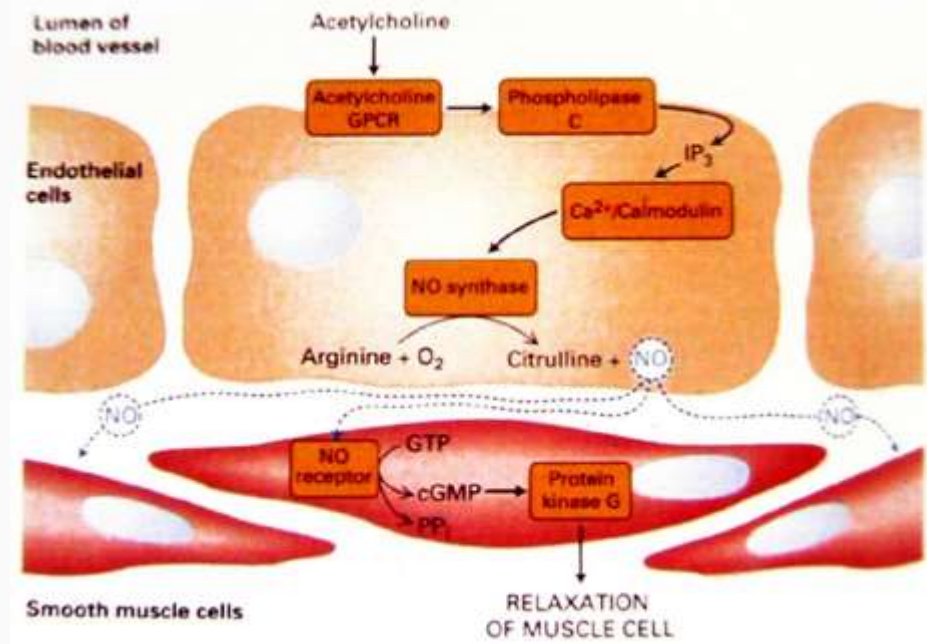
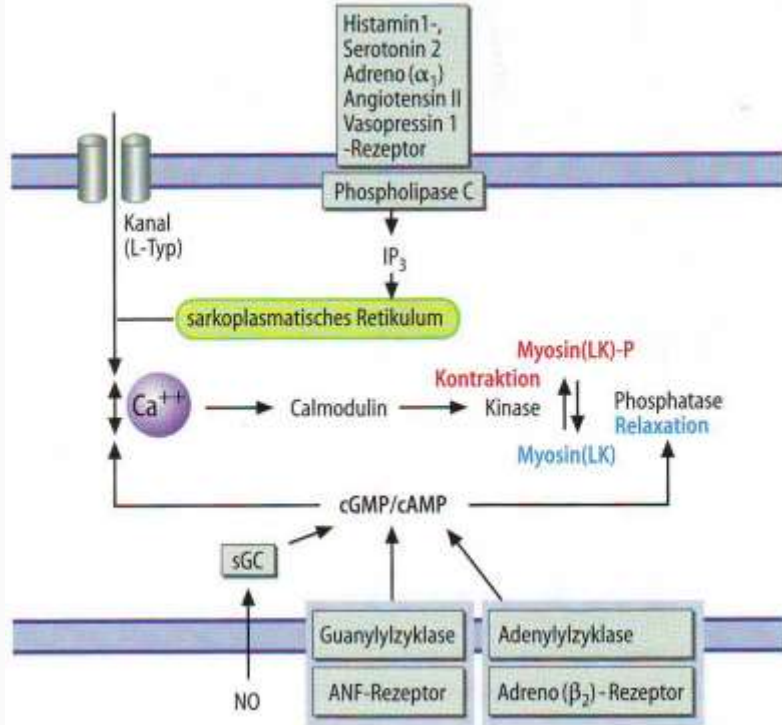
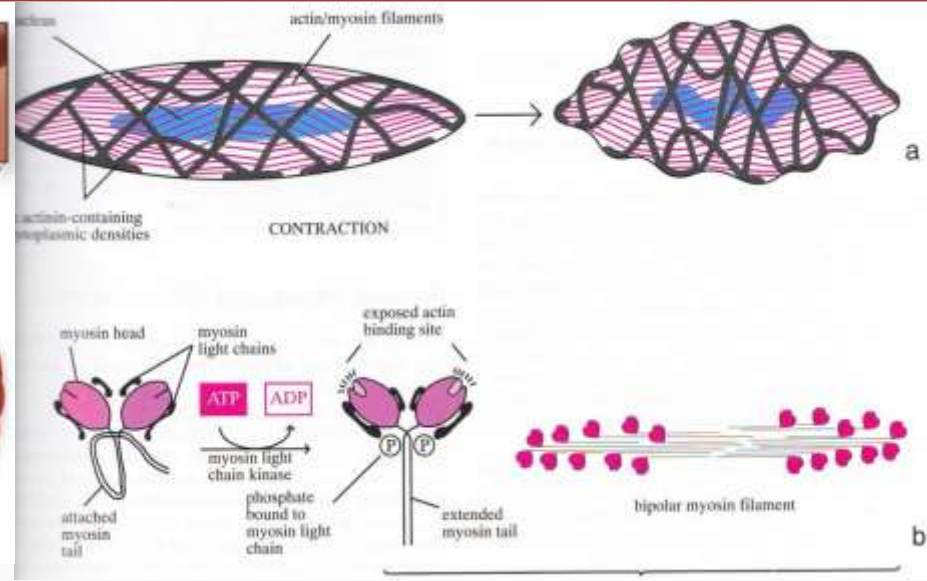
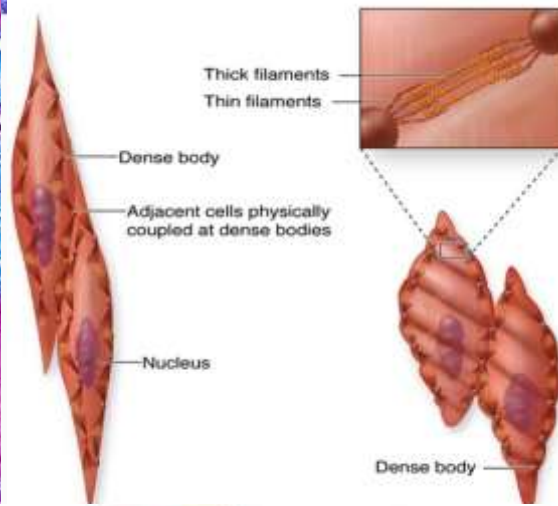
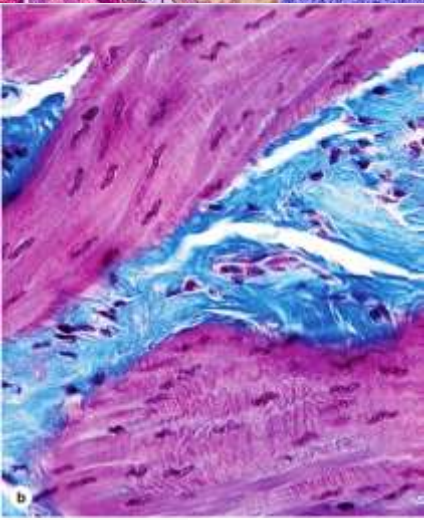


(a) Visceral (single-unit) smooth muscle tissue

(b) Multiunit smooth muscle tissue



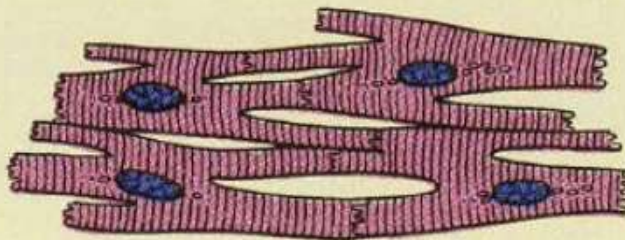
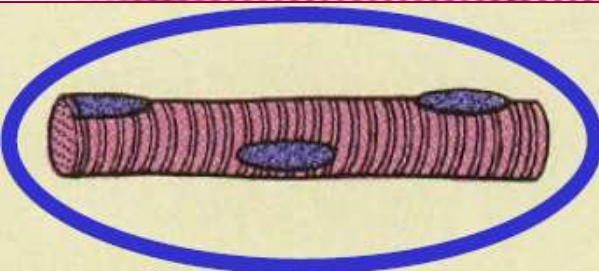
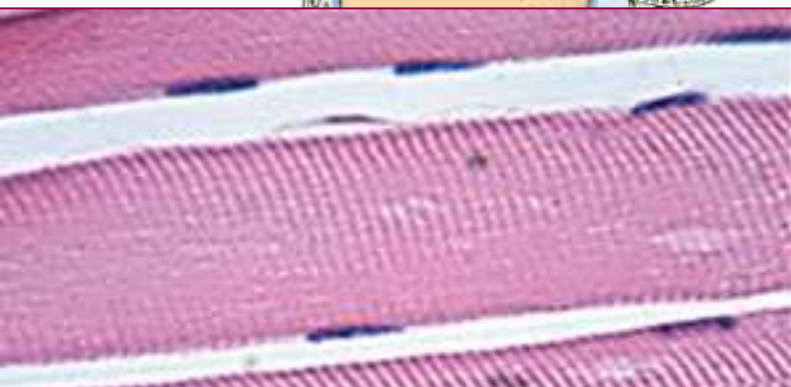
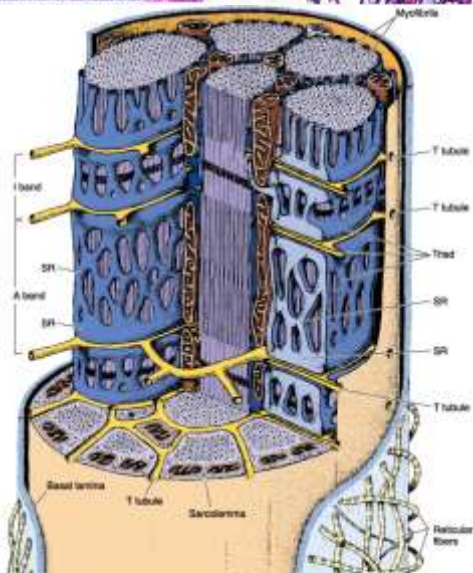
# Регулация на съкращението



# Скелетна мускулна тъкан

## *Textus muscularis striatus (skeletalis)*

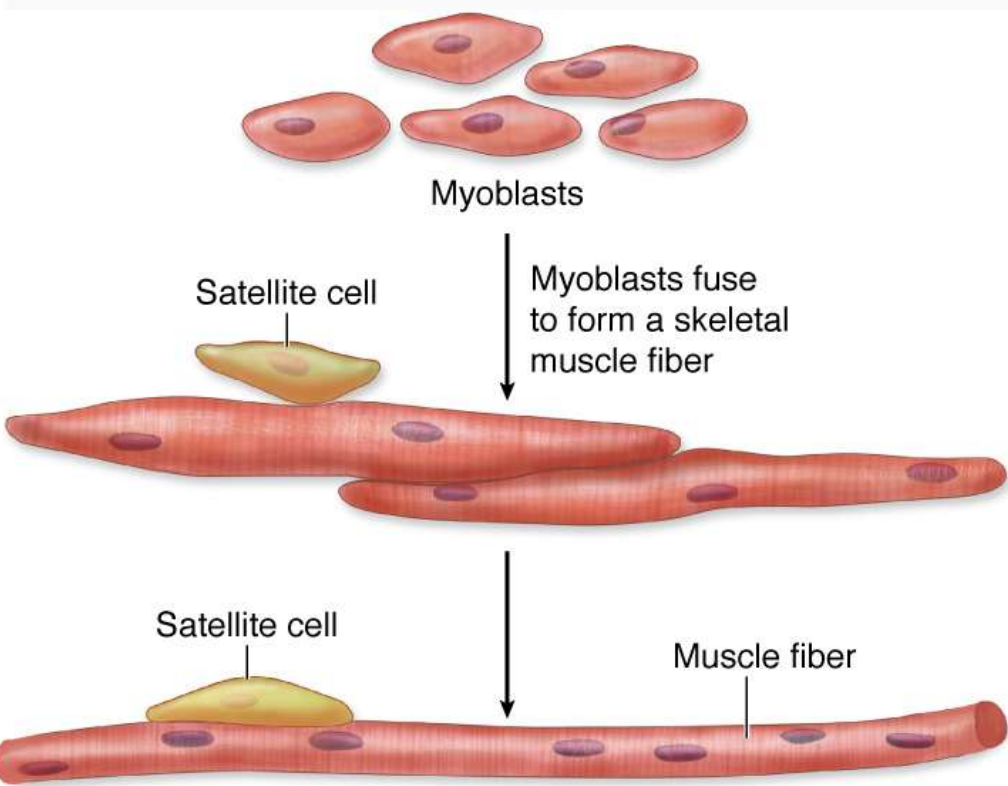
- 40% от биомасата
- ✓ произход: мезобласт (миотоми)
- ✓ волева: ЦНС
  - волеви контрол на съкращаване/разпускане
- ✓ стрирана
- ✓ скелетни мускули
- ✓ начална и крайна част на храносмилателния тракт
- ✓ мускули на главата (вкл. око, ухо)
- ✓ дихателна мускулатура



# Развитие на скелетната мускулатура

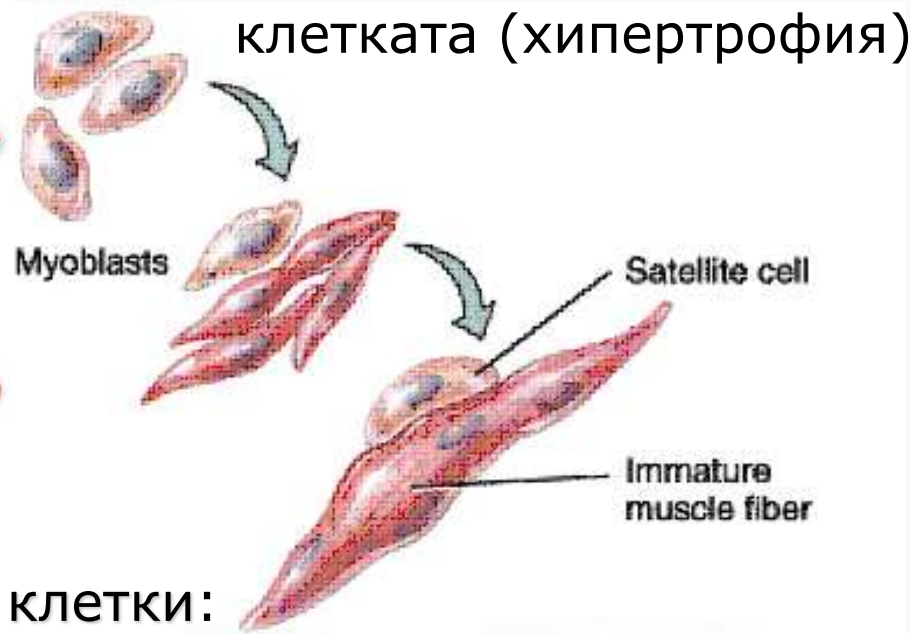


- ✓ мултипотентни миогенни стволови клетки
- ✓ 100 миобласта (едноядрени) – 1 зряла мускулна клетка (многоядрена): синцитиум (симпласт)



Gr. *syn*, заедно + *kytos*, клетка

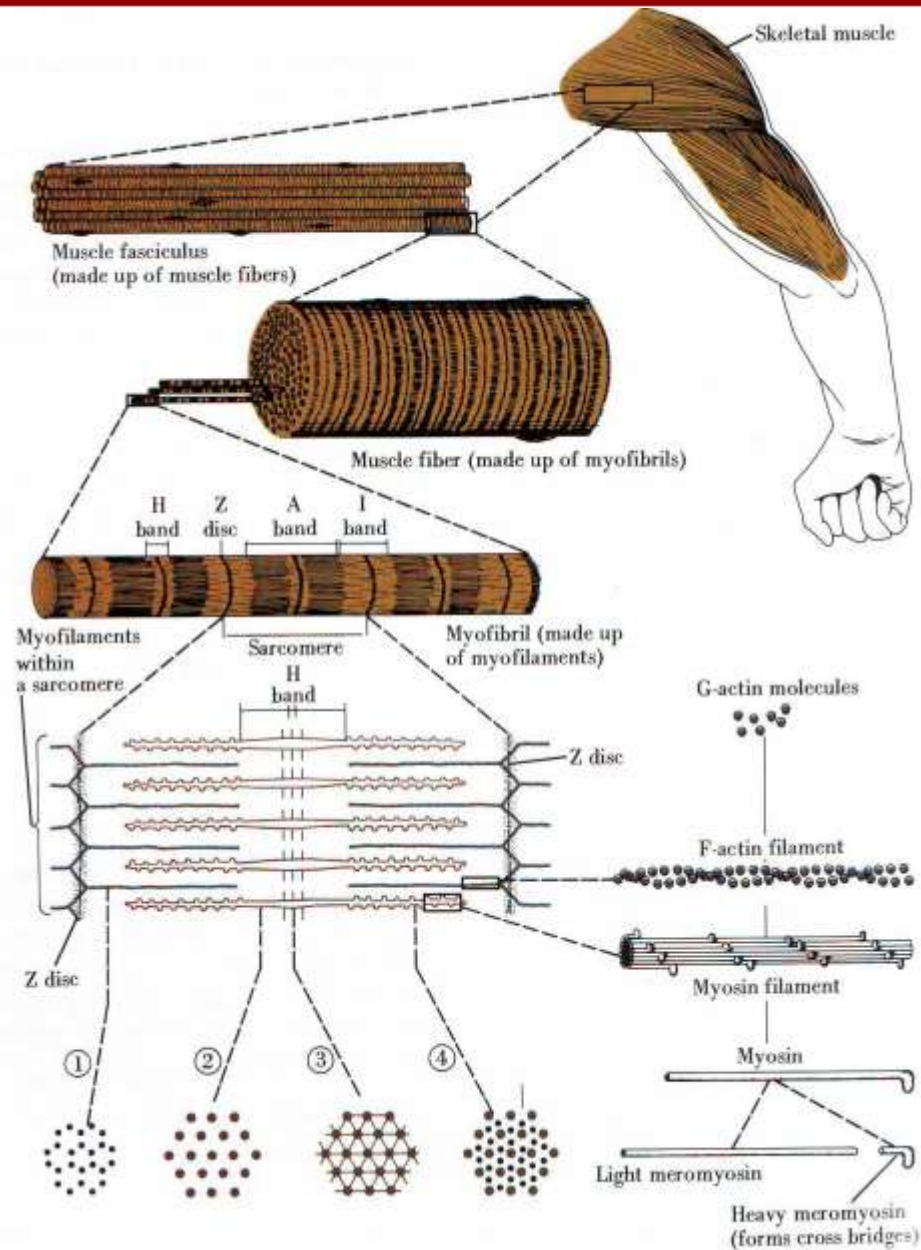
- не се дели постнатално
- растеж на мускула – увеличаване обема на клетката (хипертрофия)



- ✓ сателитни (миосателитни) клетки: запазен лимитиран потенциал за образуване на нови клетки

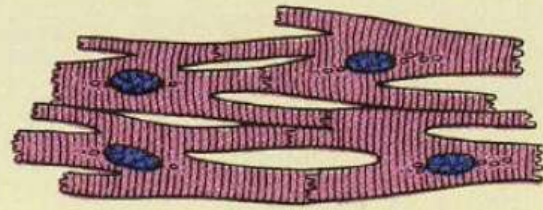
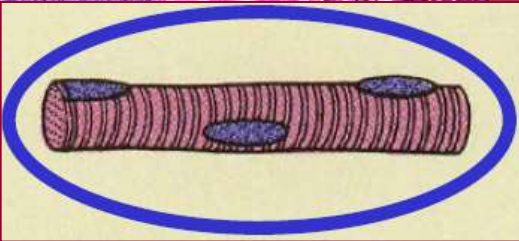
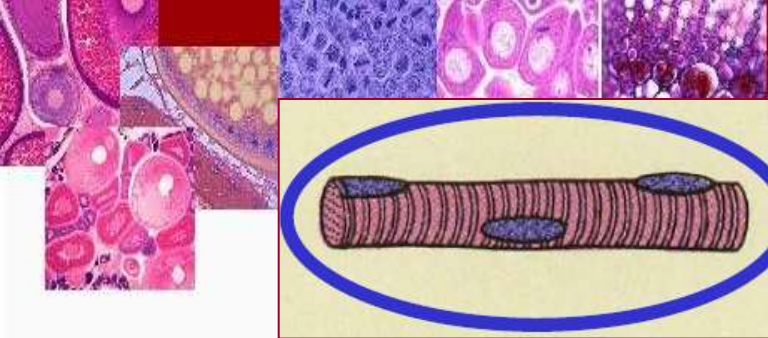


- ✓ скелетен мускул
- ✓ мускулни снопчета
- ✓ миофибра
- ✓ миофибрила
- ✓ миофиламенти



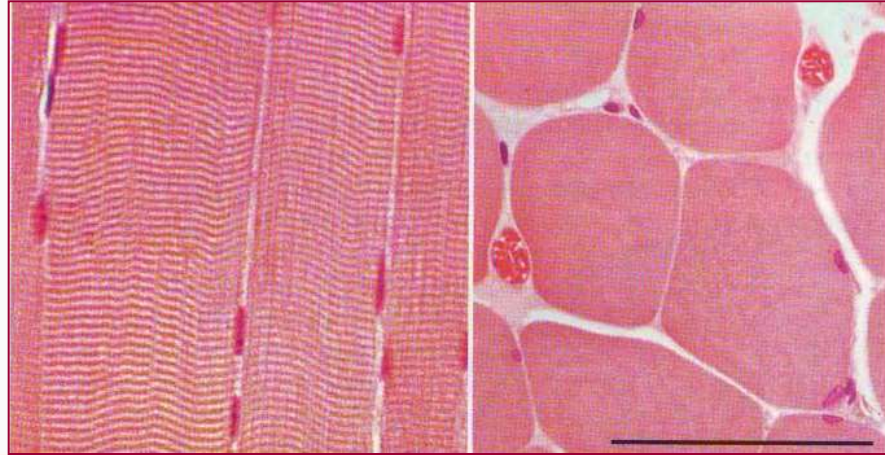
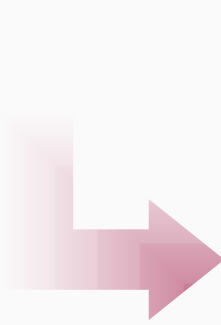
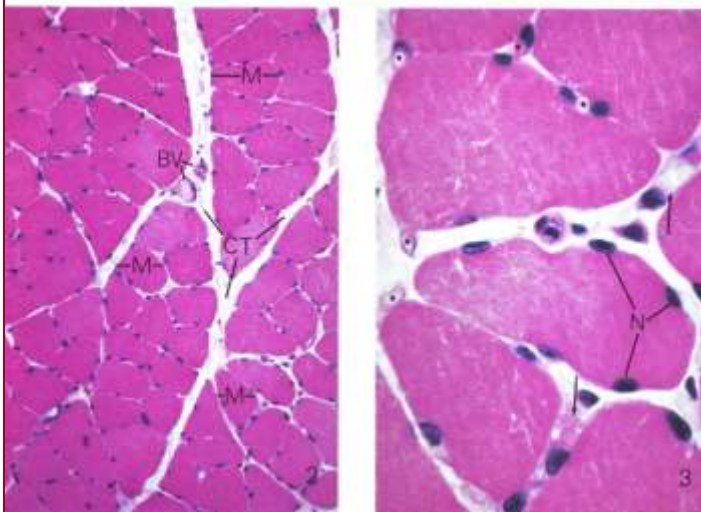
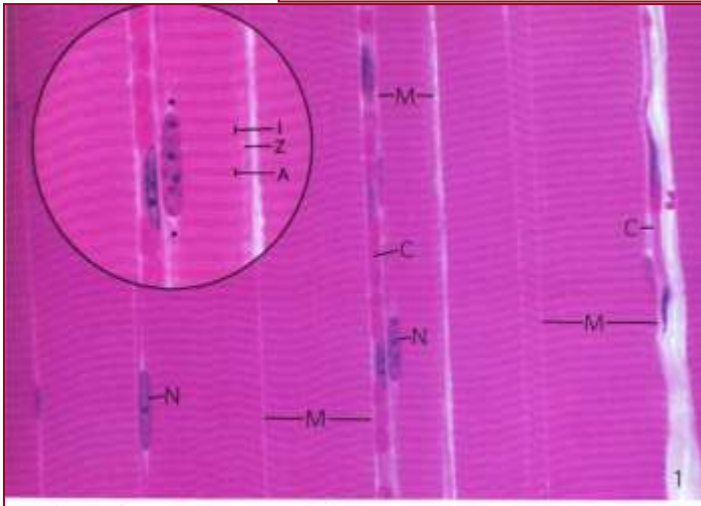


# Скелетна мускулна тъкан

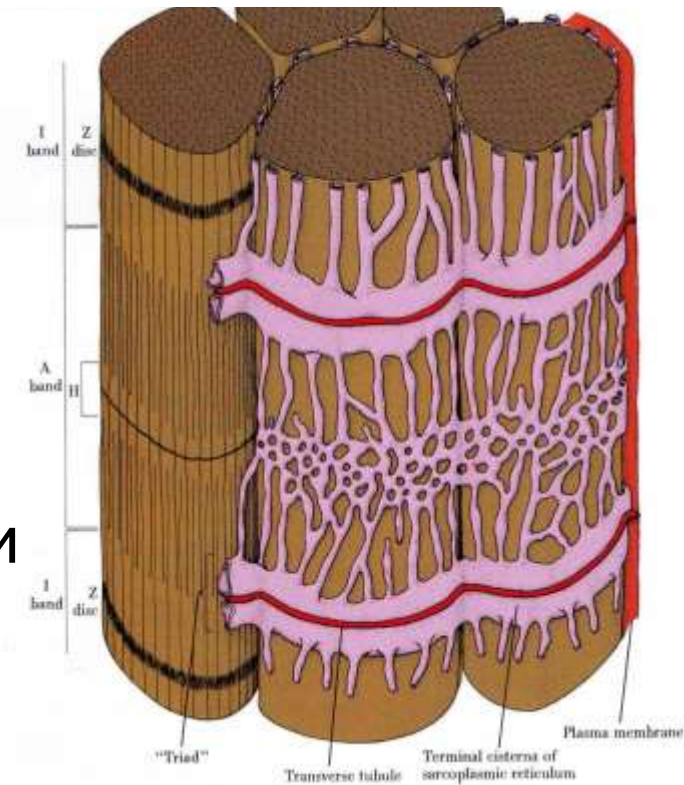
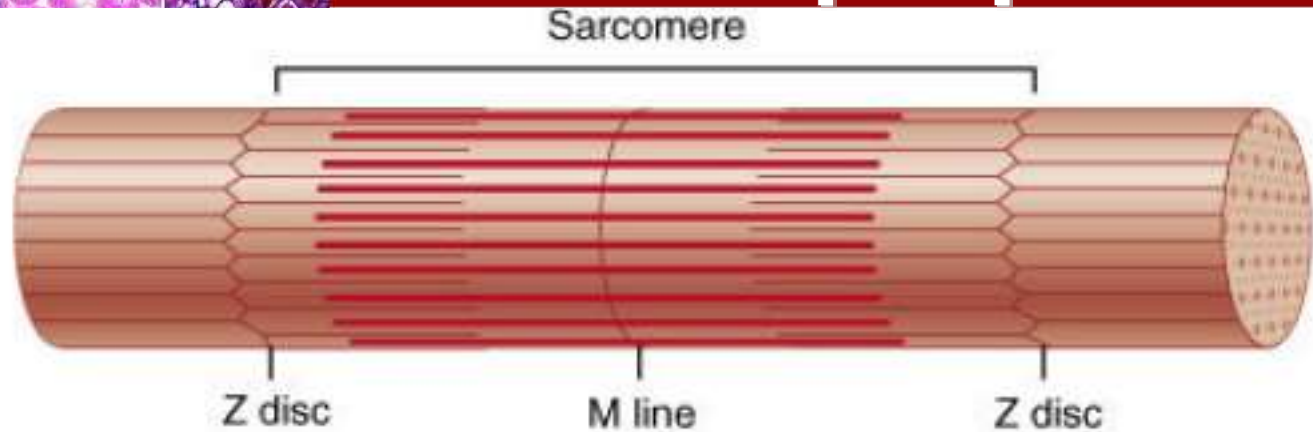


Рабдомиоцит (Gr. *rhabdo* = ивица)

- форма: издължена, цилиндрична
- дължина: няколко  $\mu\text{m}$ -40 cm
- дебелина: 10-100  $\mu\text{m}$
- многобройни ядра: над 100/клетка, 30-40/cm, периферно разположение



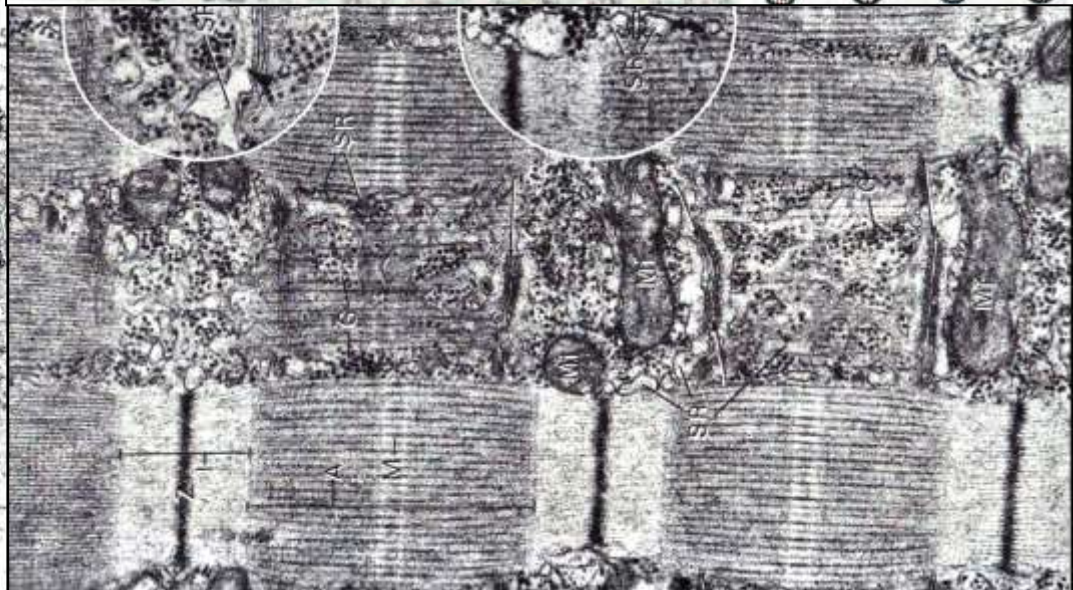
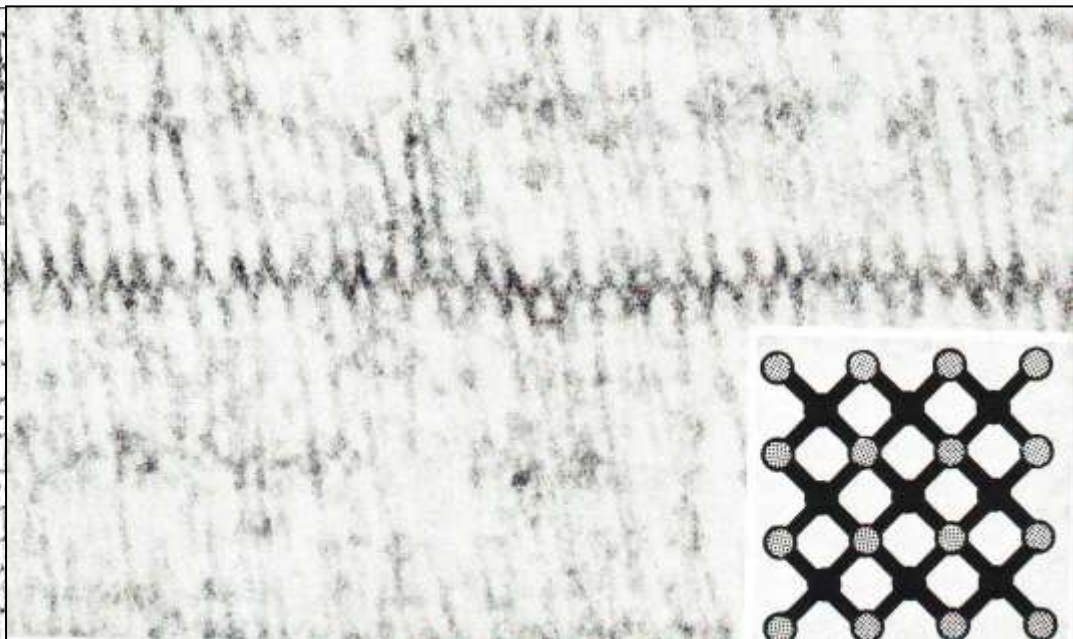
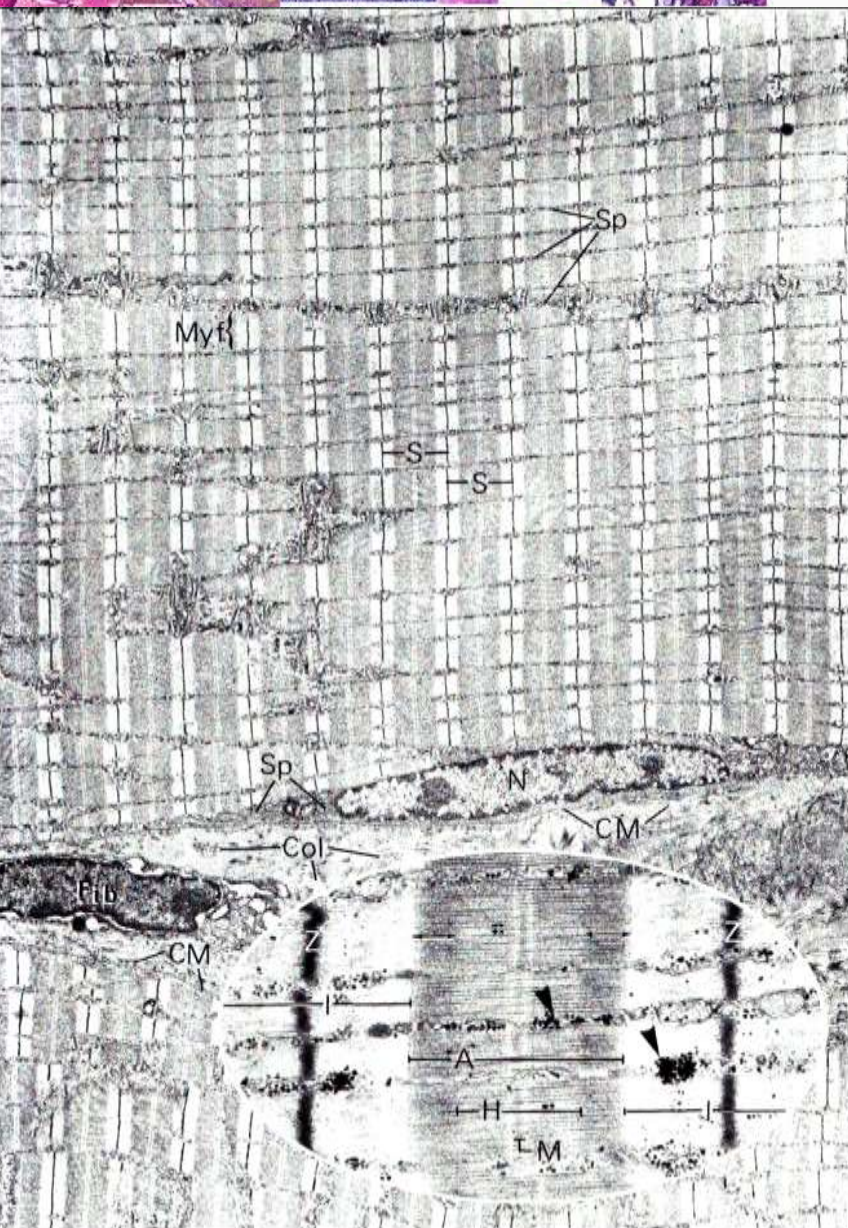
# Миофибрила



- ✓ 85-90% от обема на миофibrите
  - 2500-3500/рабдомиофибра
- ✓ цилиндрична структура с диаметър 0.5-2  $\mu\text{m}$
- ✓ Т-тубули – между А- и I-диска
- ✓ триада = Т-тубул + 2 терминални цистерни: депо на  $\text{Ca}^{2+}$



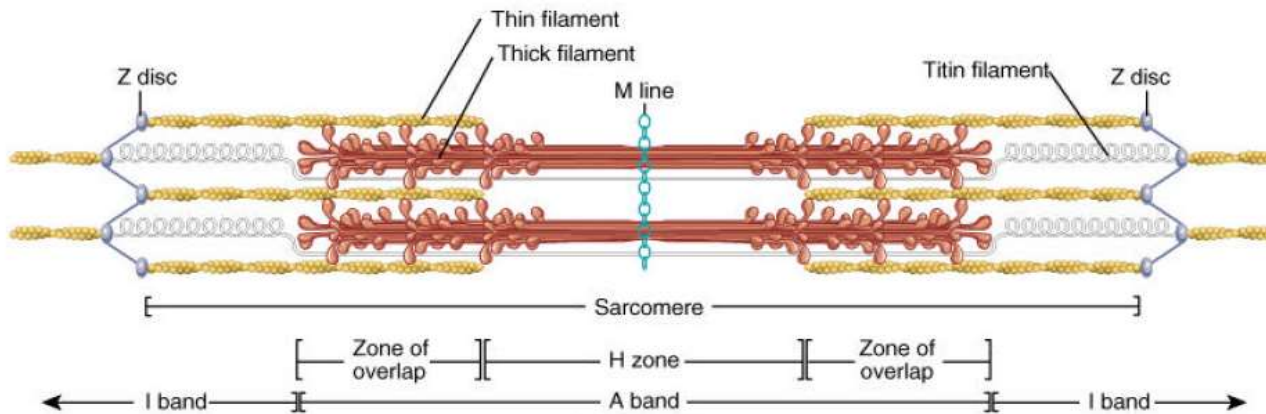
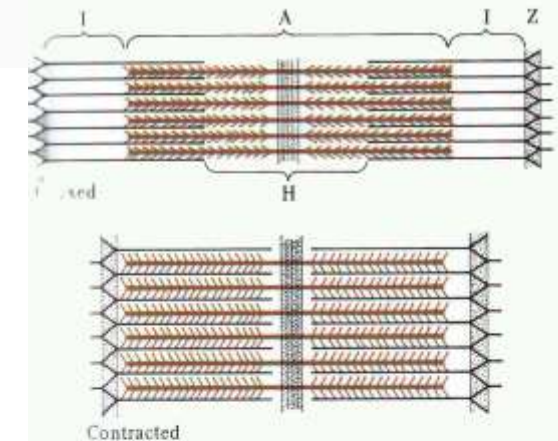
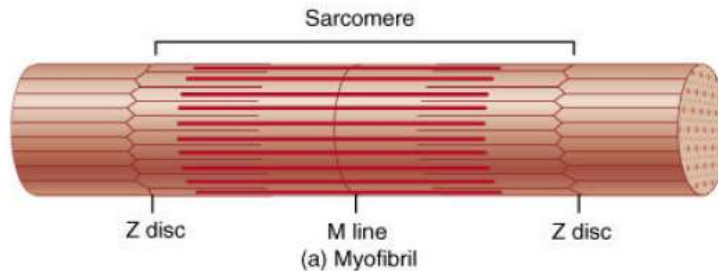
# Ультраструктура



# Саркомер

■ Саркомер (Gr. *sarkos* + *meros*, част):

✓ дължина: 2-3  $\mu\text{m}$  ( $\sim 2.5 \mu\text{m}$ )



✓ А-диск (анизотропна зона, ивица)

■ Н-зона (*hell* – светъл) – стрия на Хензен

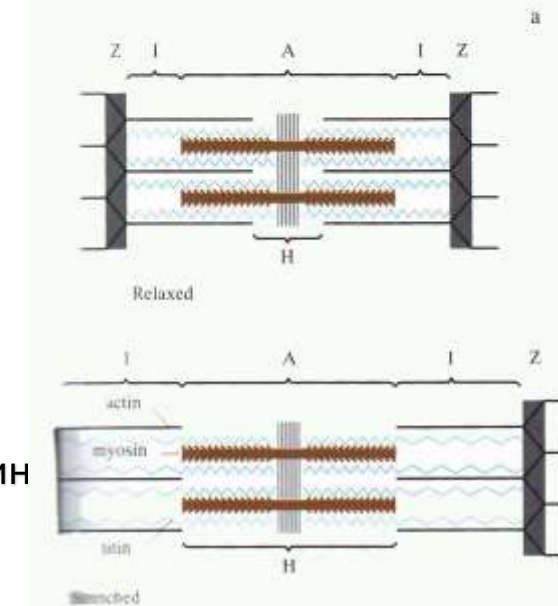
■ М-линия (мезофрагма): креатин киназа и миомезин

✓ I-диск (изотропна зона, ивица)

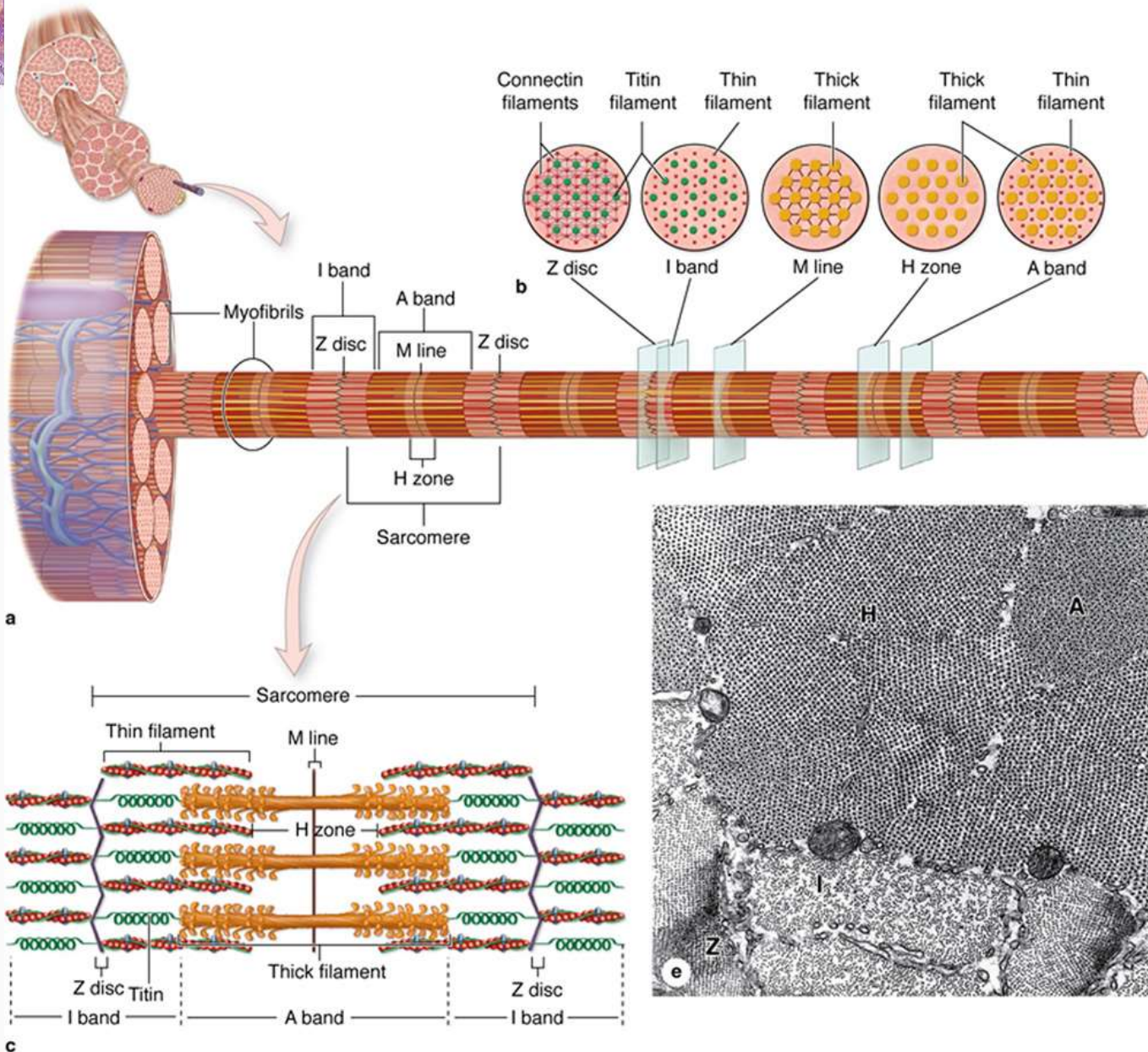
■ титин (3700 kDa) – свързва дебелите филаменти с Z-диска

■ небулин – прикрепва актиновите филаменти към  $\alpha$ -актинин

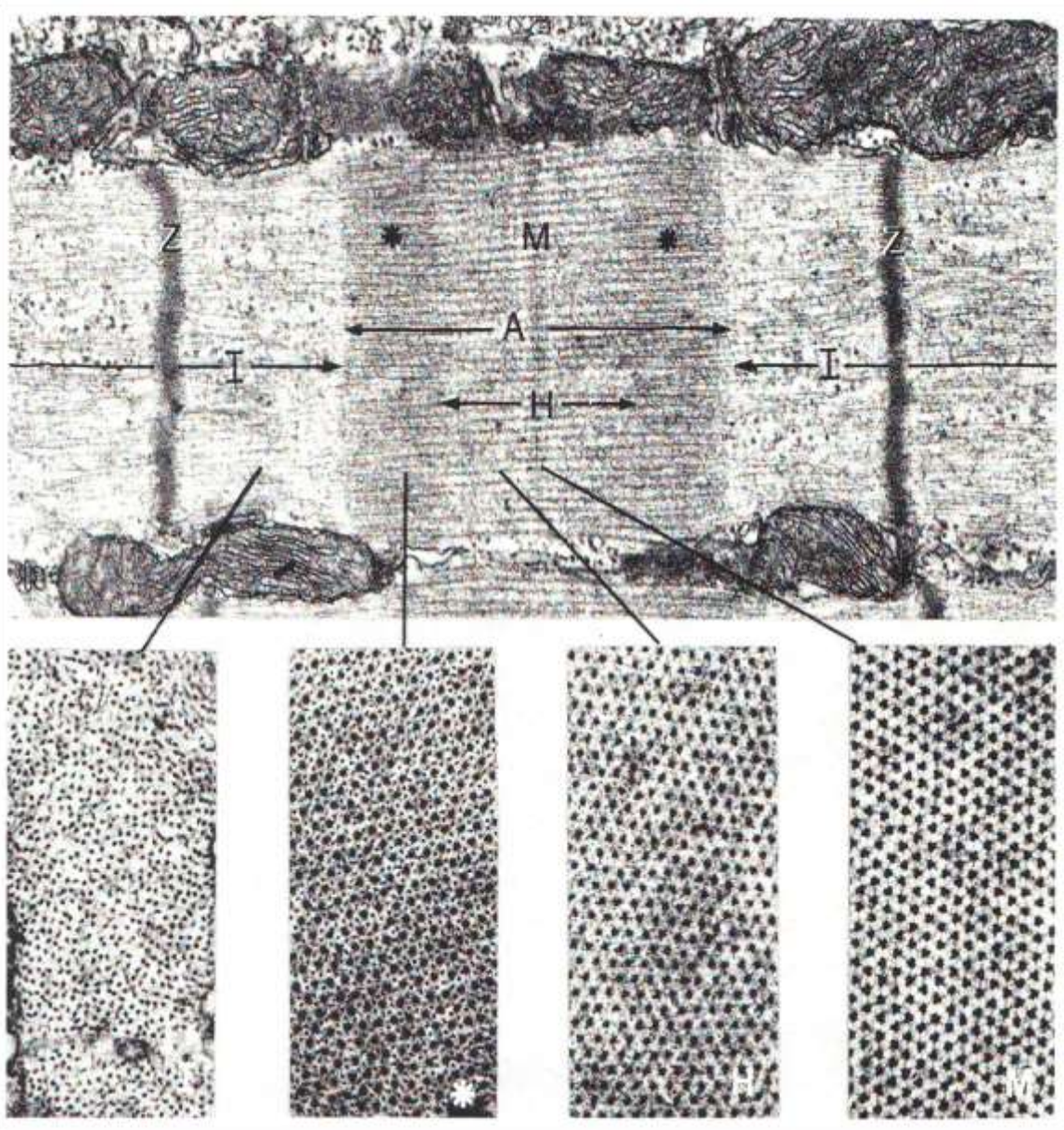
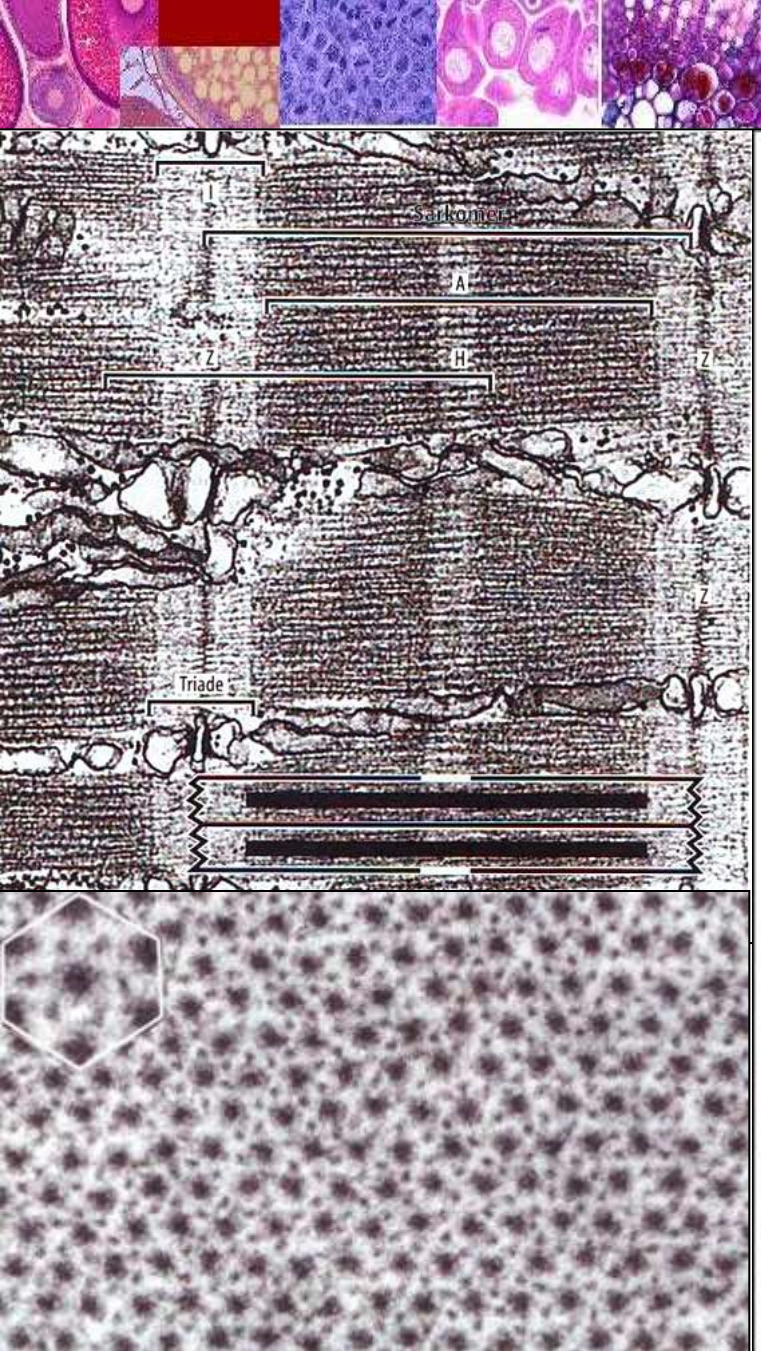
✓ Z-диск (*Zwischenscheibe*) = телофрагма:  $\alpha$ -актинин



# Саркомер



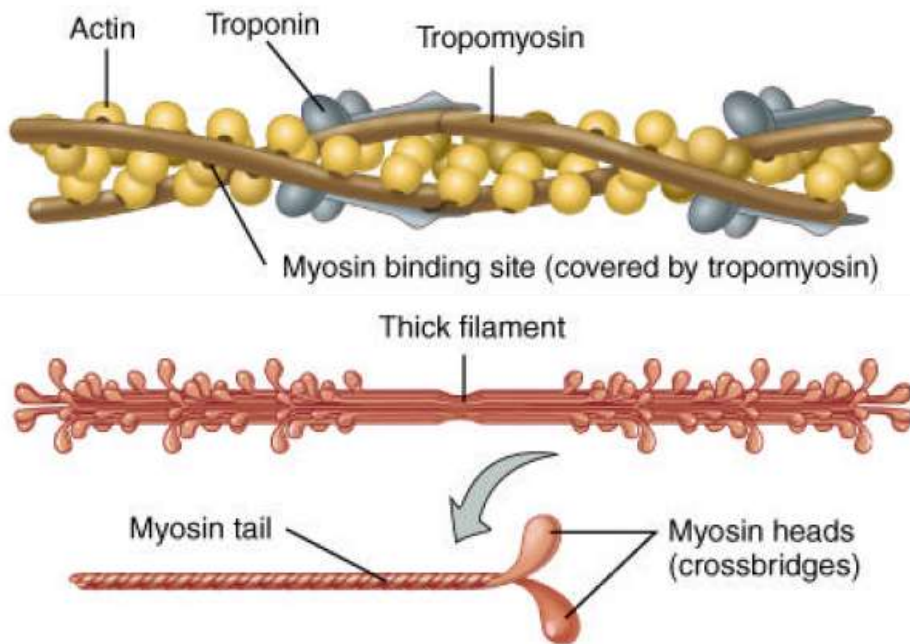
# Саркомер



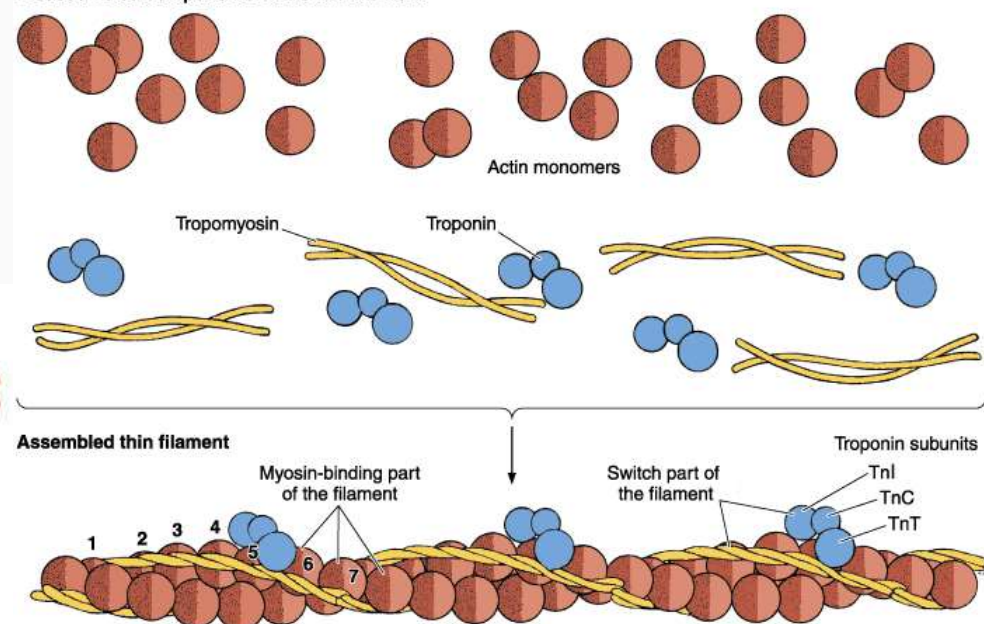
# Миофиламенти

✓ тънки (актинови) филаменти – 1  $\mu\text{m}$  дълги/8 nm:

- **G-актин** – мономер 5.6 nm в диаметър
- **тропомиозин** – 40 nm дълъг, 2 полипептидни вериги
- **тропонин** – TnT, TnI, TnC през 40 nm (7 актинови)



Disassembled components of the thin filament

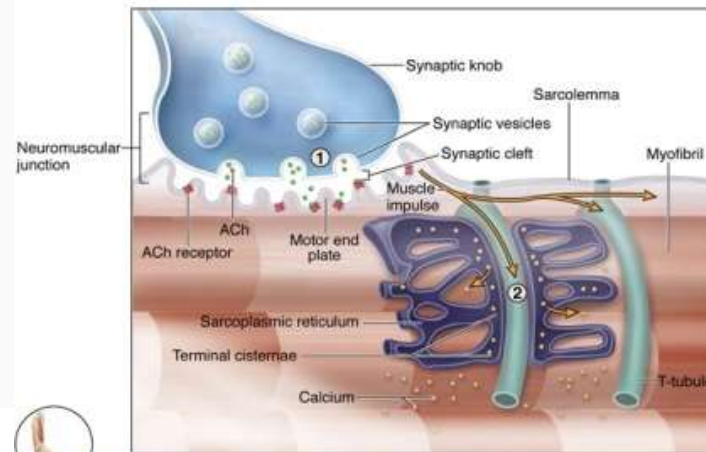


✓ дебели (миозинови) филаменти – 1.6  $\mu\text{m}$  дълги/15 nm дебели:

- глава (АТФ-аза) + 60 nm опашка = **тежък меромиозин**
- дистални 90 nm опашка = **лек меромиозин**
- 2 идентични тежки вериги и 2 чифта леки вериги

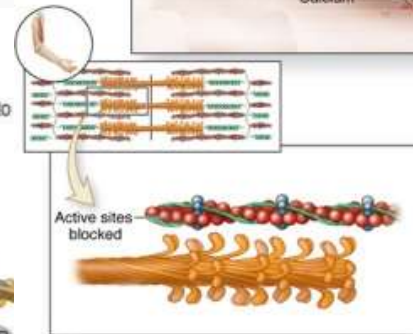
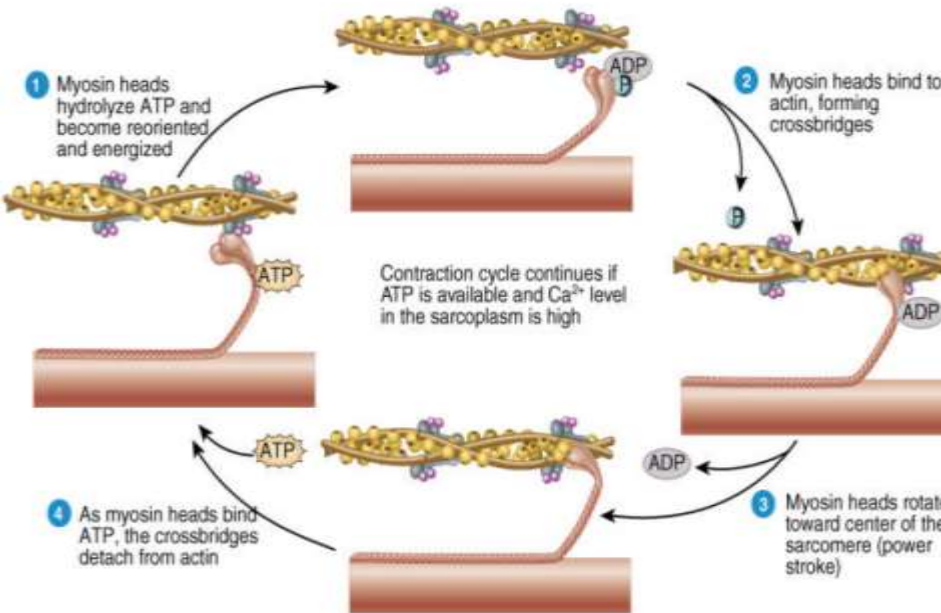


# Механизъм на мускулното съкращение

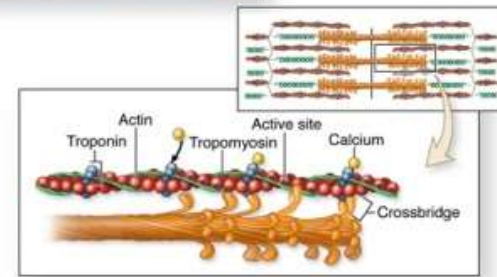


① A nerve impulse triggers release of ACh from the synaptic knob into the synaptic cleft. ACh binds to ACh receptors in the motor end plate of the neuromuscular junction, initiating a muscle impulse in the sarcolemma of the muscle fiber.

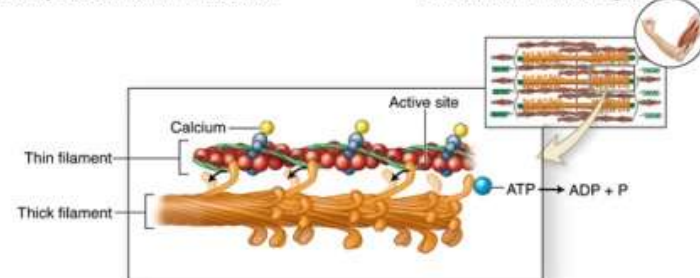
② As the muscle impulse spreads quickly from the sarcolemma along T-tubules, calcium ions are released from terminal cisternae into the sarcoplasm.



⑤ When the impulse stops, calcium ions are actively transported into the sarcoplasmic reticulum, tropomyosin re-covers active sites, and filaments passively slide back to their relaxed state.



③ Calcium ions bind to troponin. Troponin changes shape, moving tropomyosin on the actin to expose active sites on actin molecules of thin filaments. Myosin heads of thick filaments attach to exposed active sites to form crossbridges.

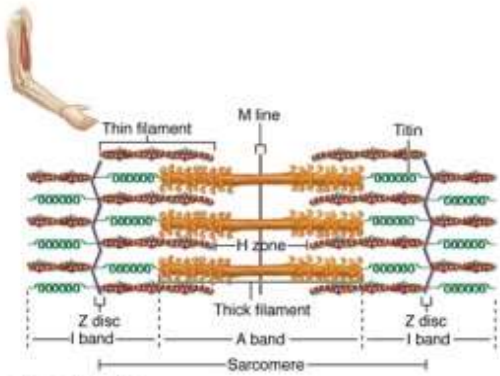
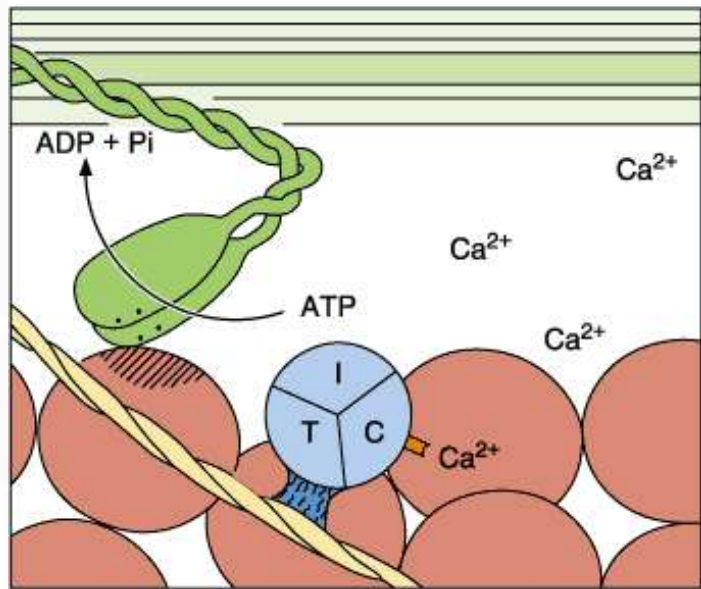
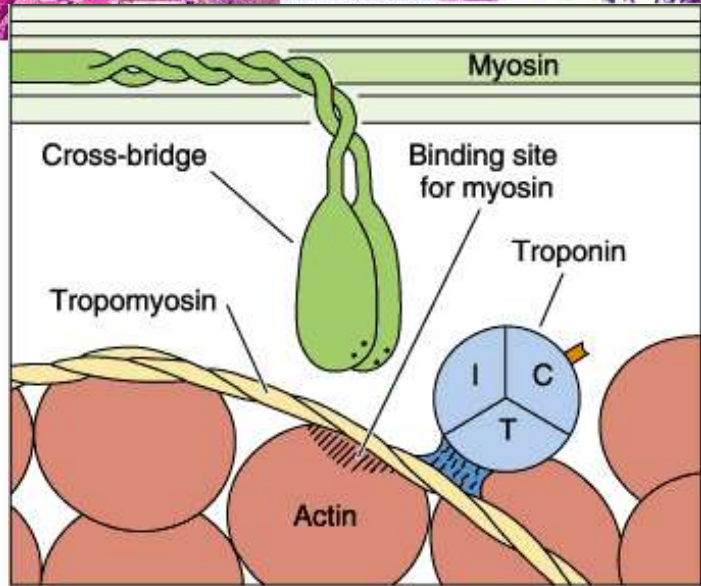


④ Myosin heads pivot, moving thin filaments toward the sarcomere center. ATP binds myosin heads and is broken down into ADP and P. Myosin heads detach from thin filaments and return to their pre-pivot position. The repeating cycle of *attach-pivot-detach-return* slides thick and thin filaments past one another. The sarcomere shortens and the muscle contracts. The cycle continues as long as calcium ions remain bound to troponin to keep active sites exposed.

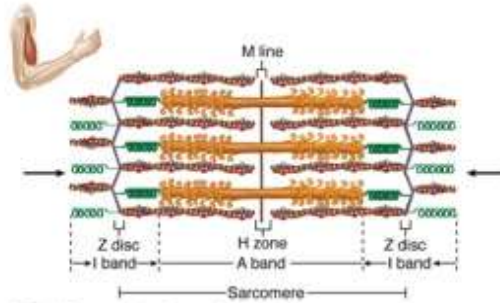
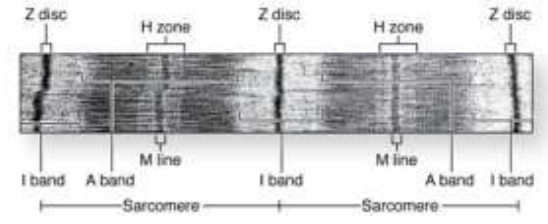




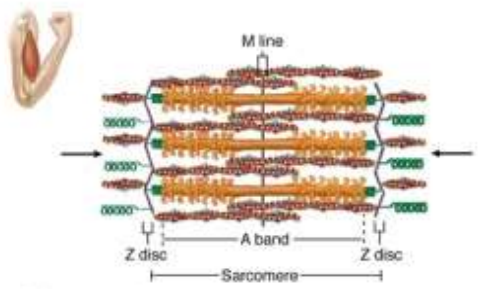
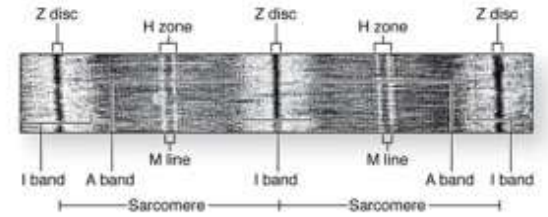
# Механизъм на мускулното съкращение



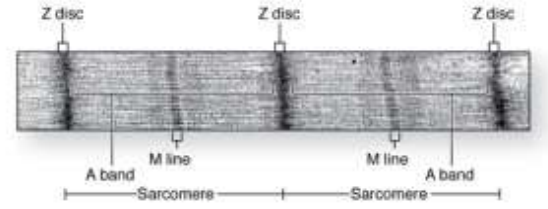
**a Relaxed muscle**  
Sarcomere, I band, and H zone at a relaxed length.



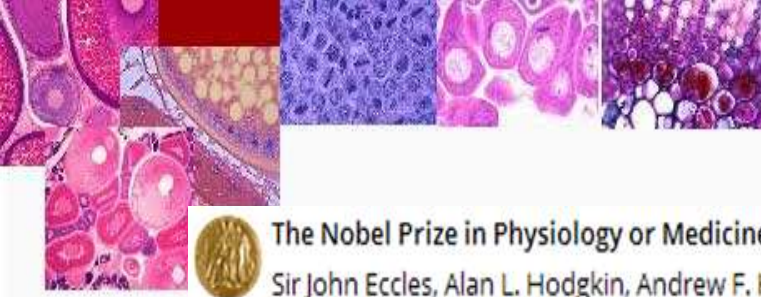
**b Partially contracted muscle**  
Thick and thin filaments start to slide past one another. The sarcomere, I band, and H zone are narrower and shorter.



**c Fully contracted muscle**  
The H zone and I band disappear, and the sarcomere is at its shortest length. Remember the lengths of the thick and thin filaments do not change.



*rigor mortis*



The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1963  
Sir John Eccles, Alan L. Hodgkin, Andrew F. Huxley

## Sliding Filament Hypothesis: *Sir Andrew F. Huxley (1917-2012)*

*Huxley, A.F., and R. Niedergerke. 1954. Structural changes in muscle during contraction; interference microscopy of living muscle fibers. Nature 173:971–973.*  
*Huxley, H., and J. Hanson. 1954. Changes in the cross-striations of muscle during contraction and stretch and their structural interpretation. Nature 173:973–976.*



***The improver of natural knowledge absolutely refuses to acknowledge authority, as such.***

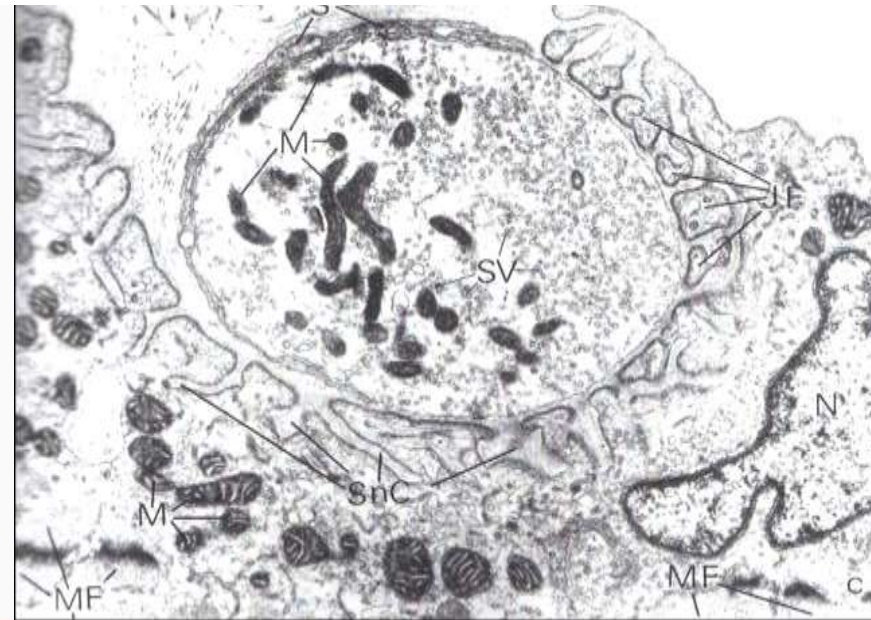
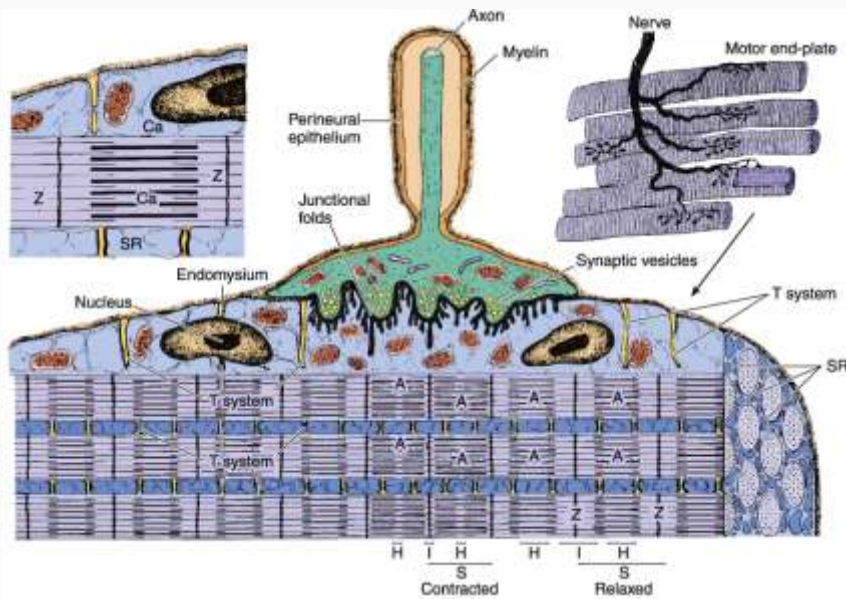
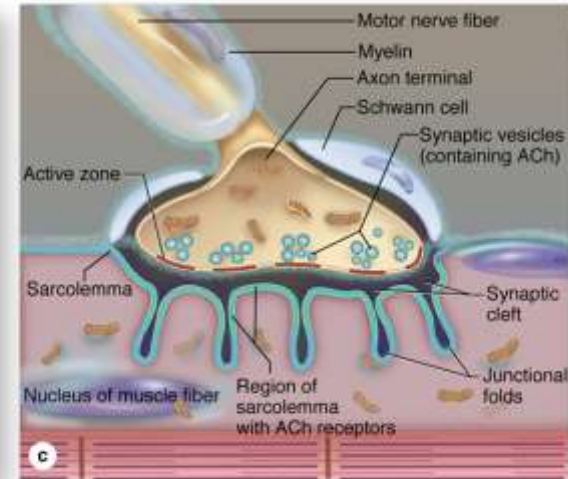
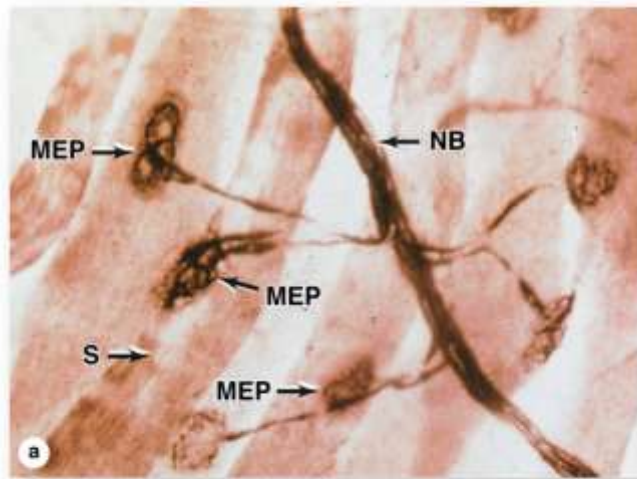
***For him, skepticism is the highest of duties, blind faith the one unpardonable sin.***

***Thomas H. Huxley***

***On the Advisableness of Improving Natural Knowledge, 1866***

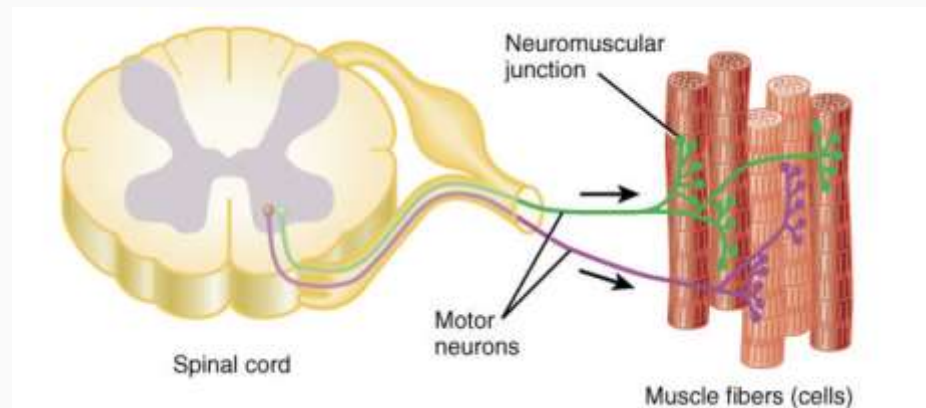
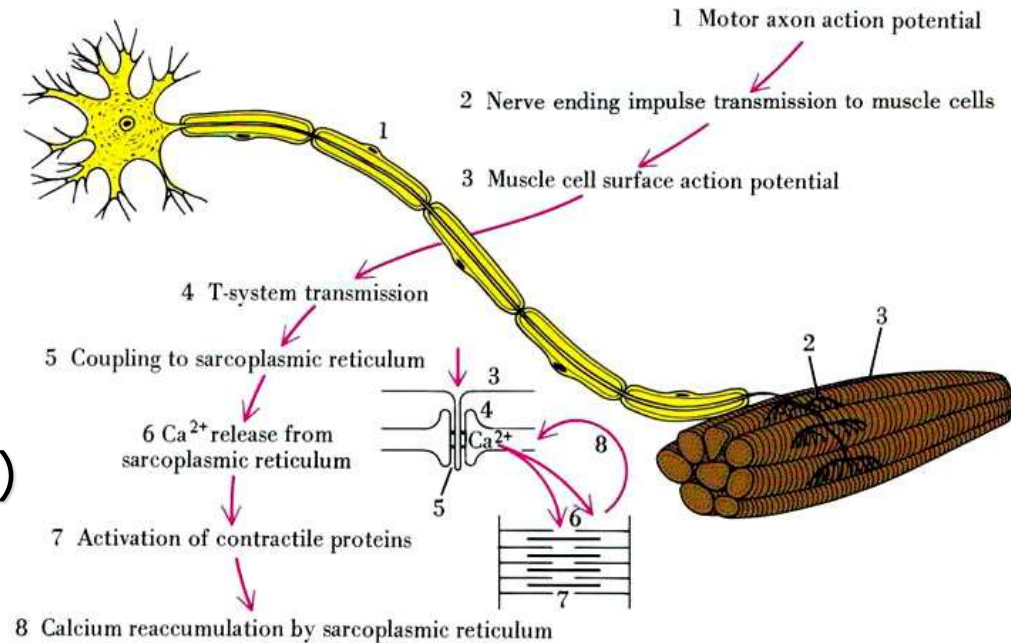
# Моторна плочка

✓ мионеврален синапс – холинергичен



# Моторна единица

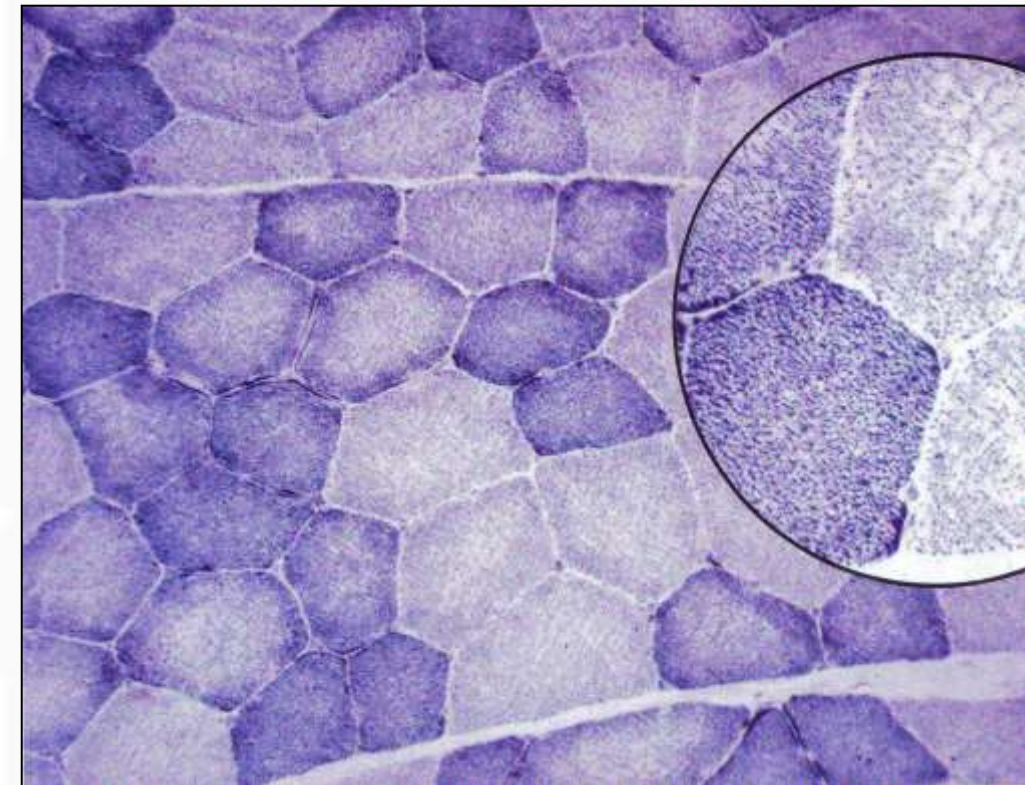
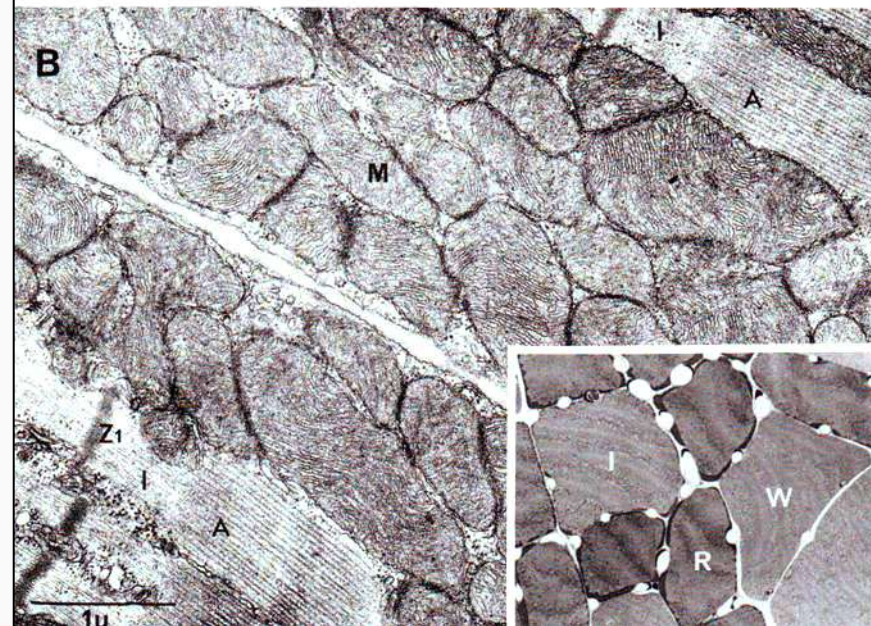
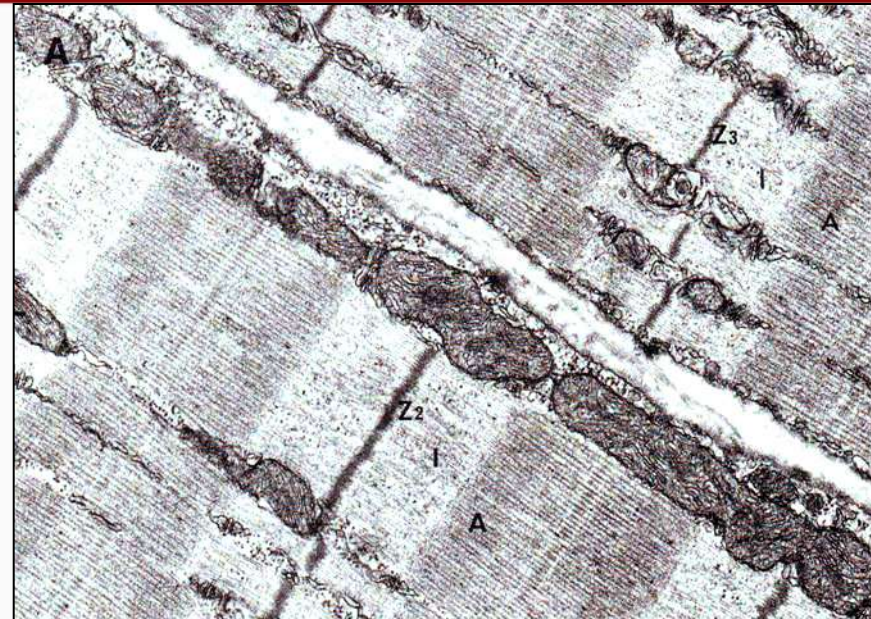
- ✓ **моторна единица** = един соматичен мотоневрон и всички скелетни мускулни клетки (влакна), които той инервира
- ✓ една нервна клетка (аксон) инервира средно 160 мускулни клетки, които се съкращават едновременно
- ✓ общата сила на съкращението зависи от това, колко моторни единици са активирани и колко са дълги те



# Типове мускулни влакна



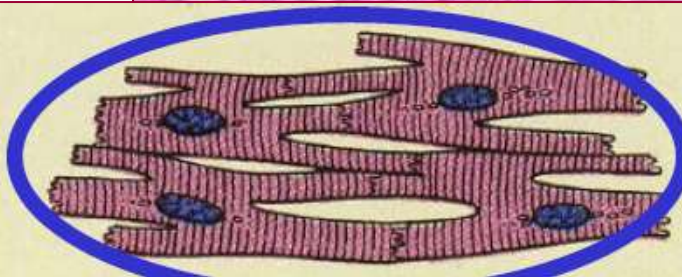
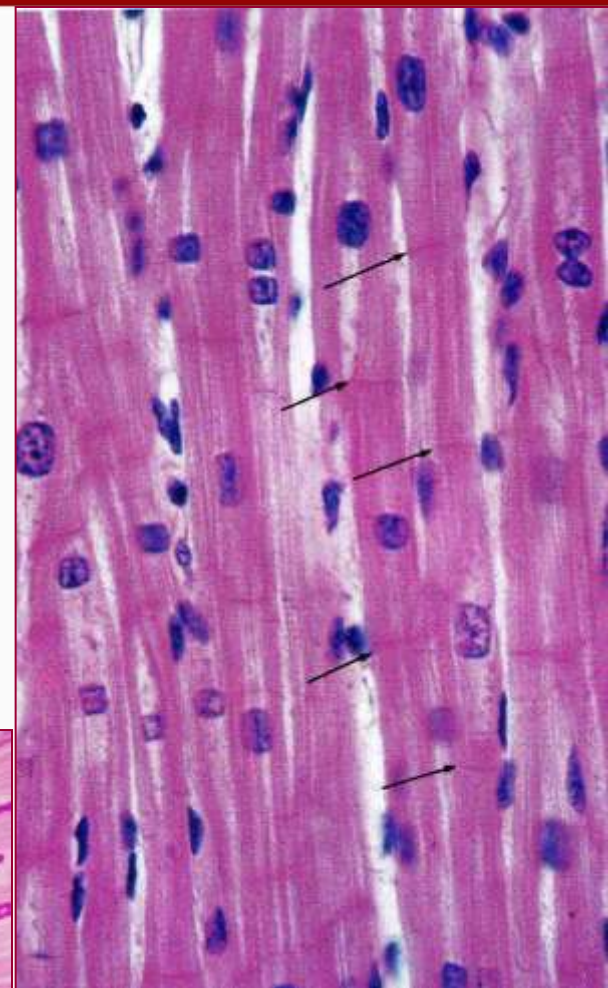
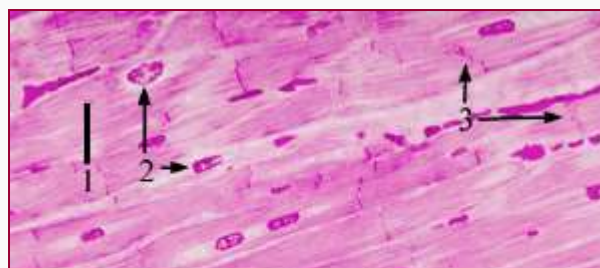
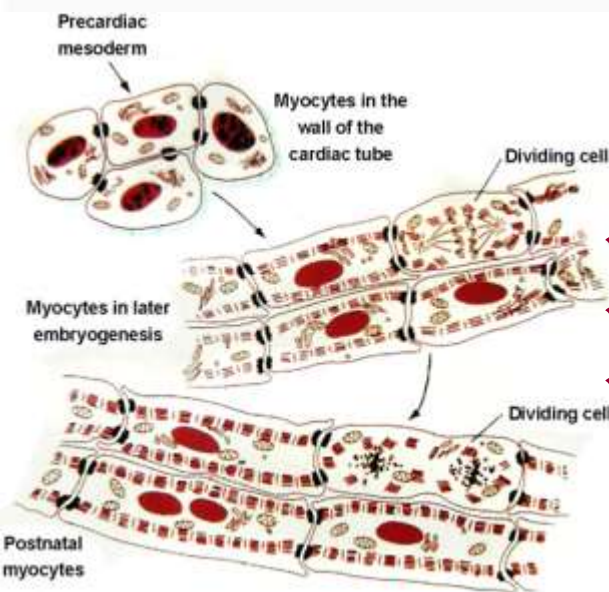
- ✓ червени (бавни) – тип I
- ✓ бели (бързи) – тип IIb
- ✓ междинни – тип IIa



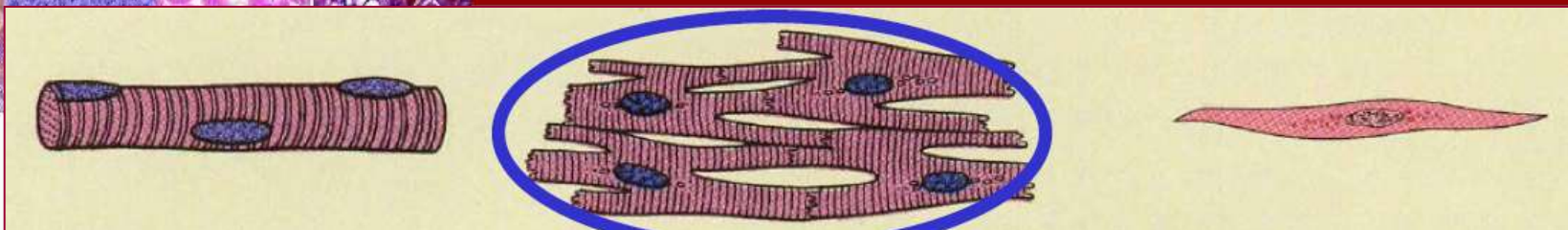
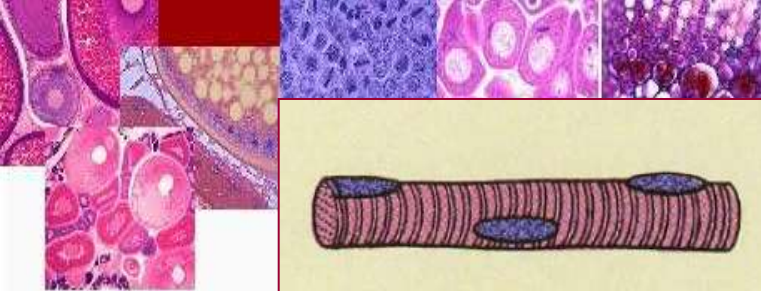
# Сърдечна мускулна тъкан

*Textus muscularis striatus cardiacus*

- ✓ произход: мезенхим
- ✓ неволева: ВНС
  - автоматизирана
  - контрактилност:
  - проводна система
- ✓ стририрана
- ✓ миокард
- ✓ стената на големите присърдечни съдове

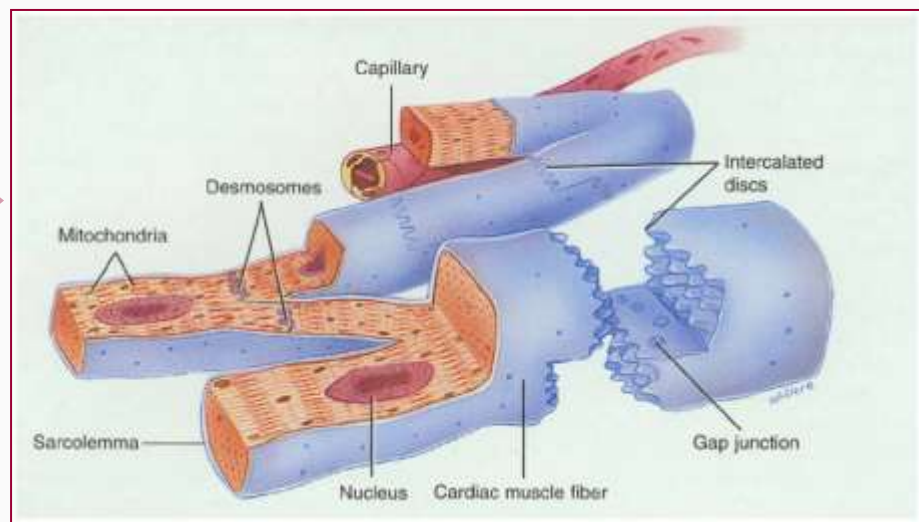
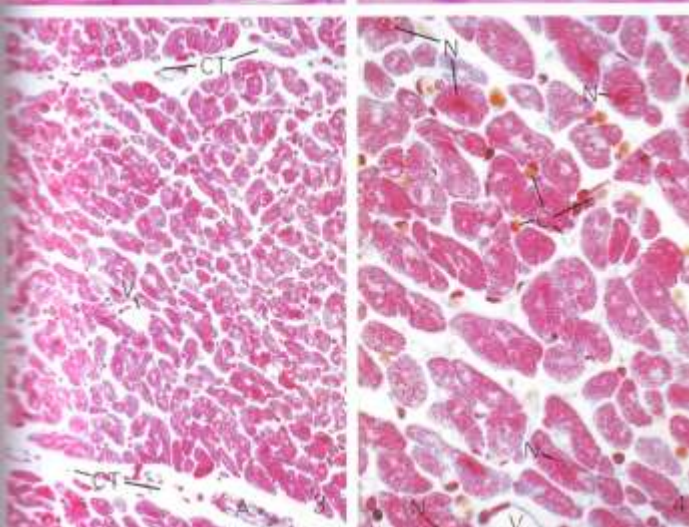
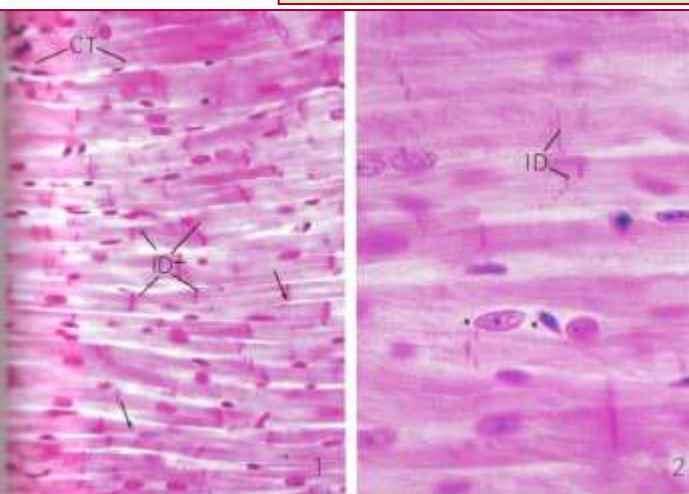


# Сърдечна мускулна тъкан

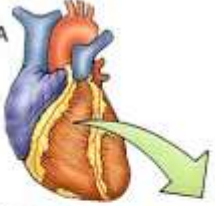


## Кардиомиоцит (Gr. *cardia* = сърце)

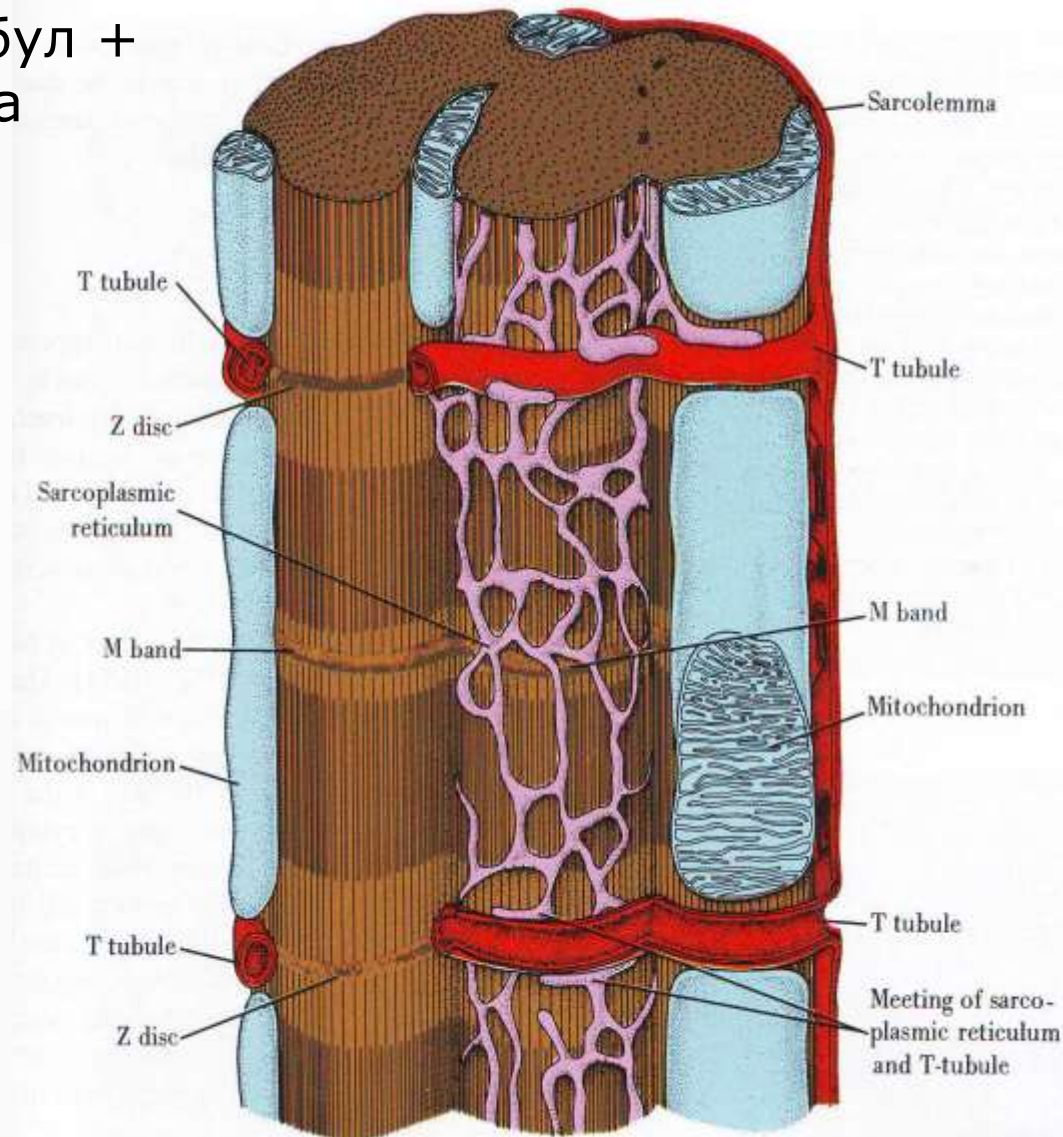
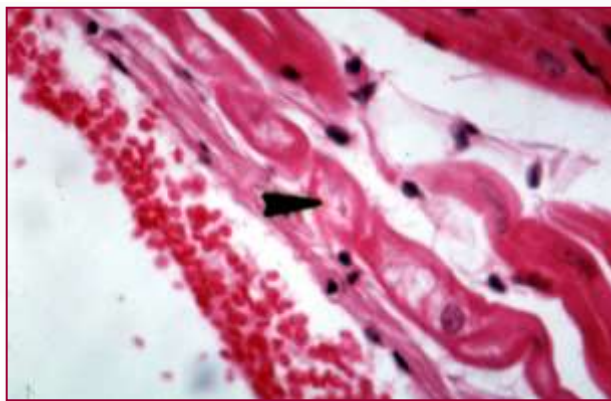
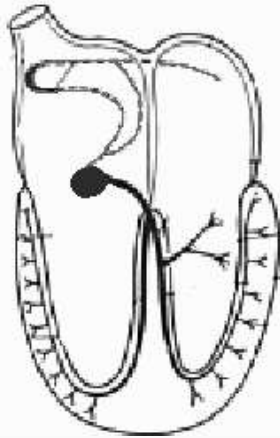
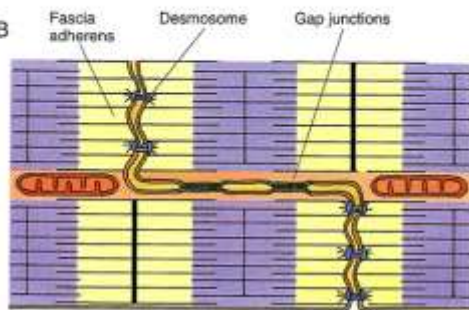
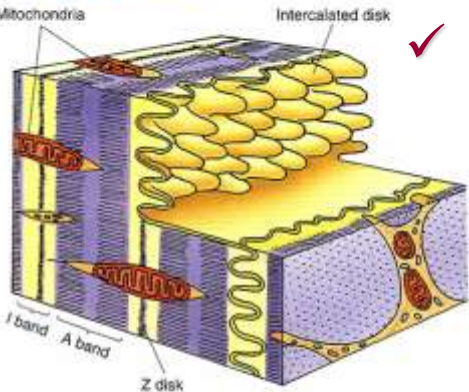
- три вида: съкратителни, проводящи, секреторни
- форма: цилиндрична, раздвоени
- дължина: 85-100  $\mu\text{m}$
- дебелина: 15-20  $\mu\text{m}$



# Кардиомиоцит

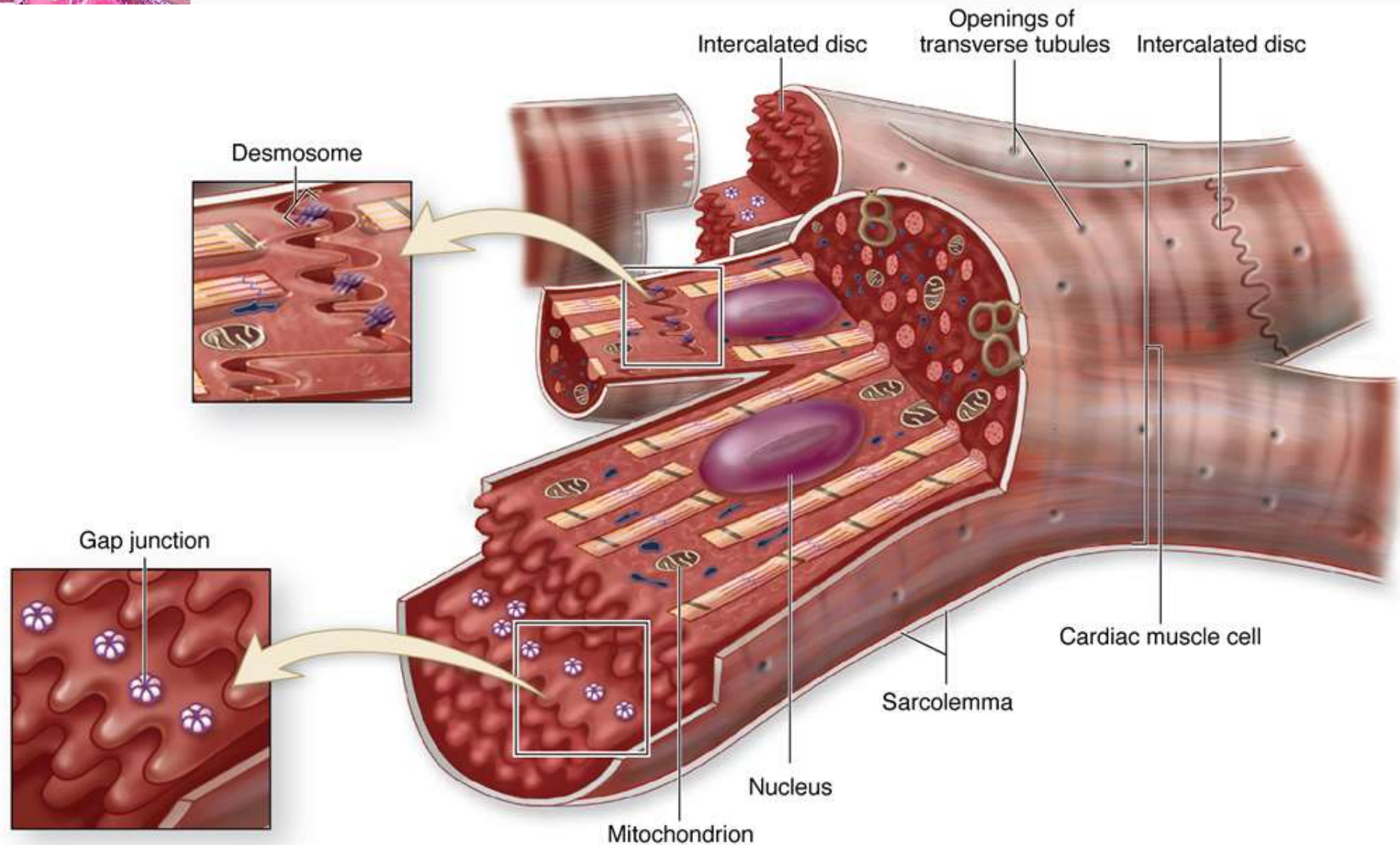


- ✓ Т-тубули: на ниво Z-диск
- ✓ диада = Т-тубул + една цистерна



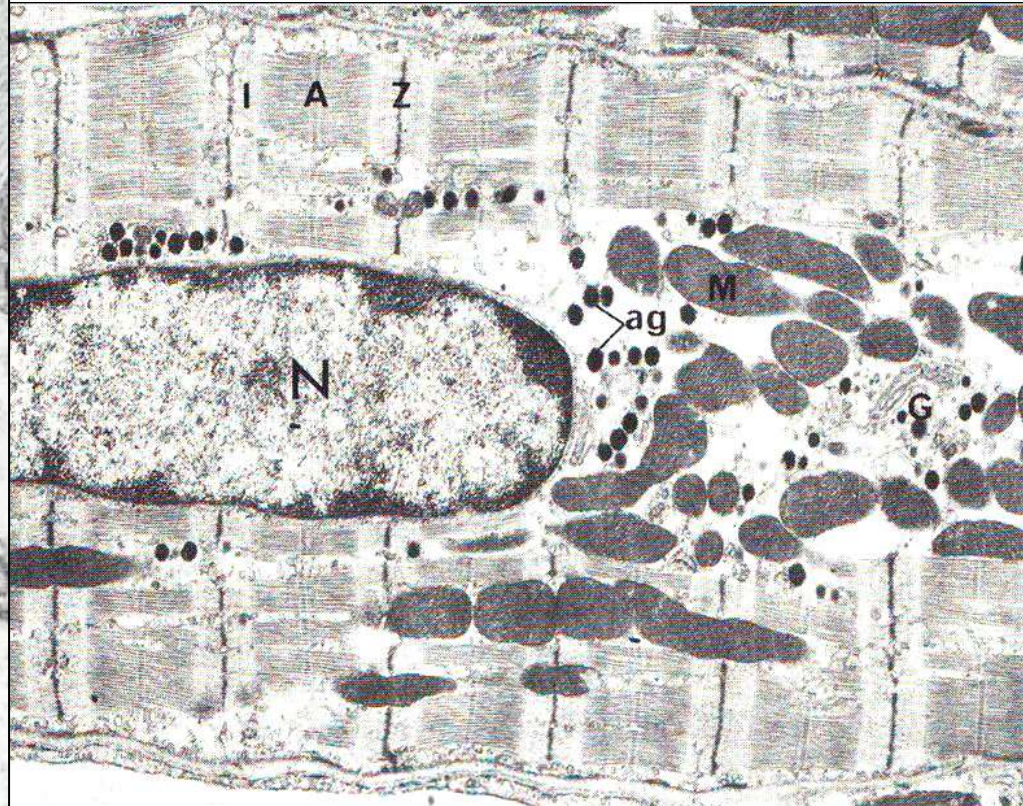


# Кардиомиоцит

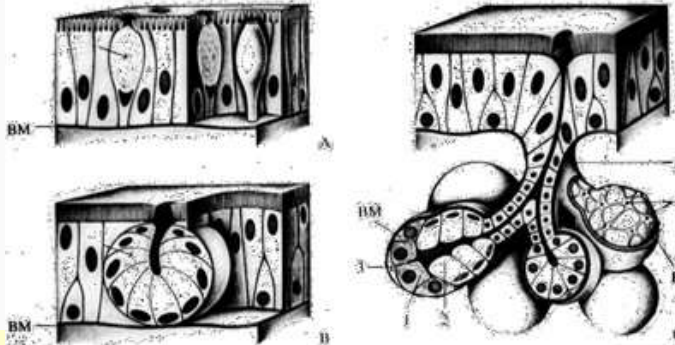
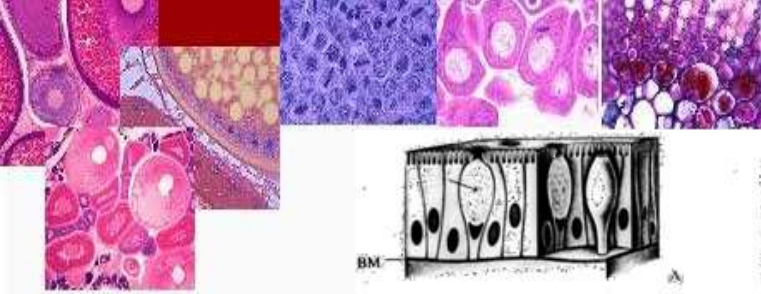


# Ултраструктура

- ✓ митохондрии: 40% от клетъчния обем
- ✓ предсърдни гранули (ANF): 300-400 nm
- ✓ липидни капки и липофусцин
- ✓ гликоген
- ✓ интеркаларни (вметнати) дискове:
  - *fascia adhaerens* – напречно
  - *macula adhaerens* (дезмозома) – в съседство
  - *gap junction (nexus)* – надлъжно



# Миоепителиодни клетки



✓ кошчеви клетки:

- потни жлези
- млечна жлеза
- слъзна жлеза
- слюнни жлези



✓ Сърдечната мускулатура след ранното детство почти не притежава регенераторен капацитет

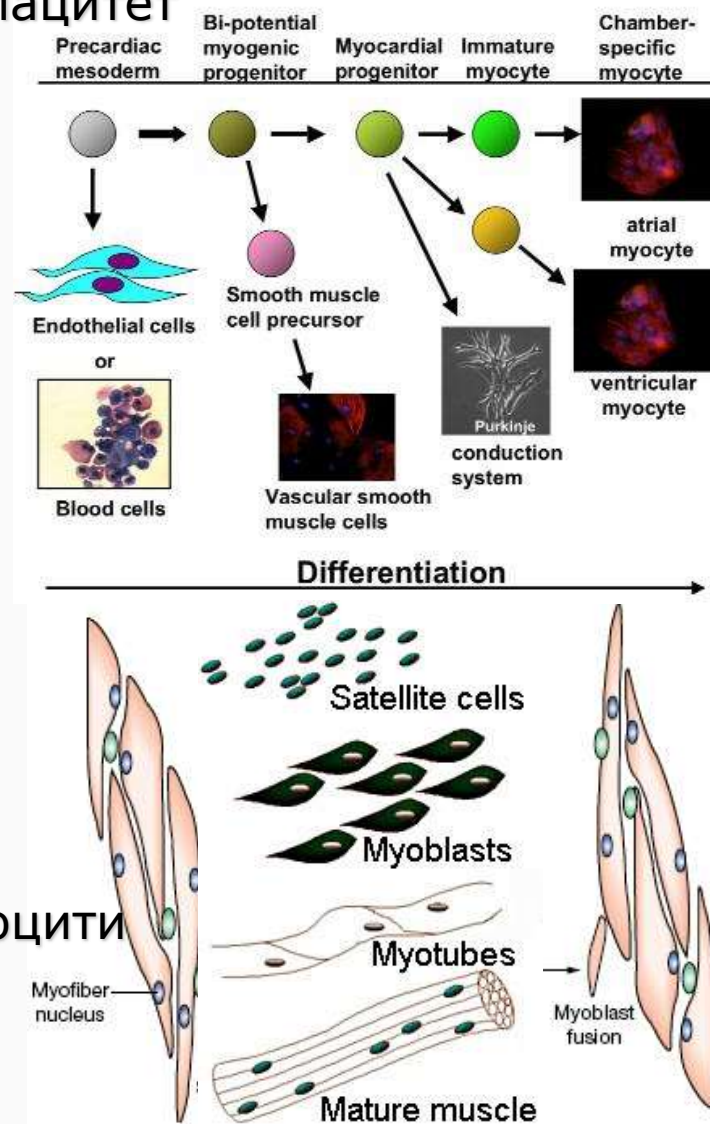
- зрелите кардиомиоцити не се делят
- пролиферация на съединителна тъкан  
⇒ миокарден ръбец

✓ Скелетната мускулатура притежава ограничен регенераторен капацитет

- източник на регенерирани клетки е сателитната клетка (стволова клетка)

✓ Гладката мускулатура е способна на активна регенерация (делене)

- жизнеспособни мононуклеарни лейомиоцити и перицити от кръвоносните съдове заместват увредената тъкан



# Благодаря ...

