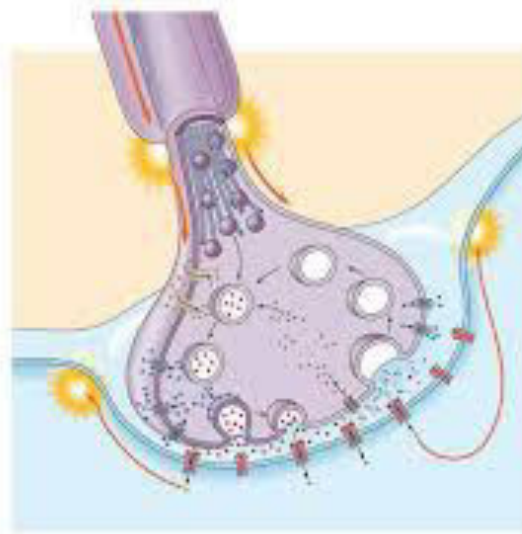


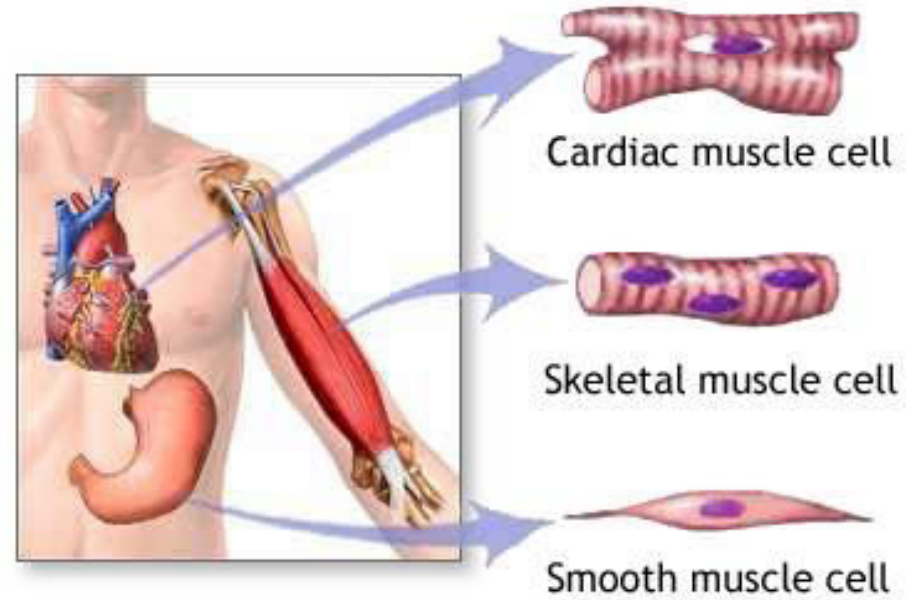
# KAS FİZYOLOJİSİ



# Kas Doku

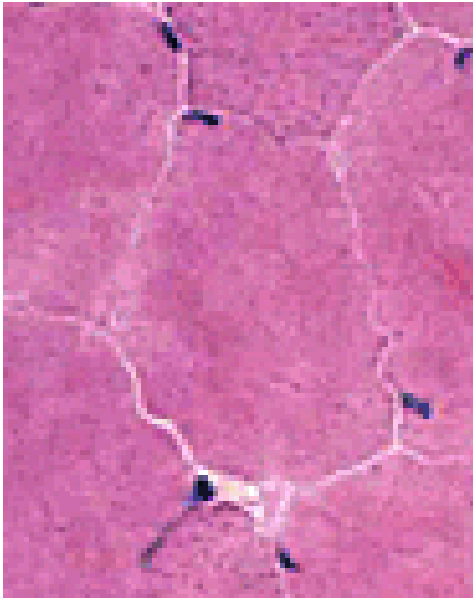
Üç tip kas dokusu vardır:

1. İskelet kası (Çizgili kas)
2. Düz Kas
3. Kalp kası
4. Vücudun yaklaşık %40 iskelet kası, %10 düz kas ve kalp kasıdır.



# ***Kasın Biyokimyasal Yapısı***

- Kaslarda %72-78 oranında su bulunur ki bu, fizyolojik aktivite için esastır.
- Kasların % 3 lipid, % 1 glikojen, % 19-20 proteindir.



# ***Kasların Ortak Özellikleri!!!***

- *Kontraktilite-kasılabilme*
- *Eksitabilite-uyarılabilme*
- *Estensibilite-uzayabilme-gerilebilme*
- *Elastisite-normal boyuna dönebilme*

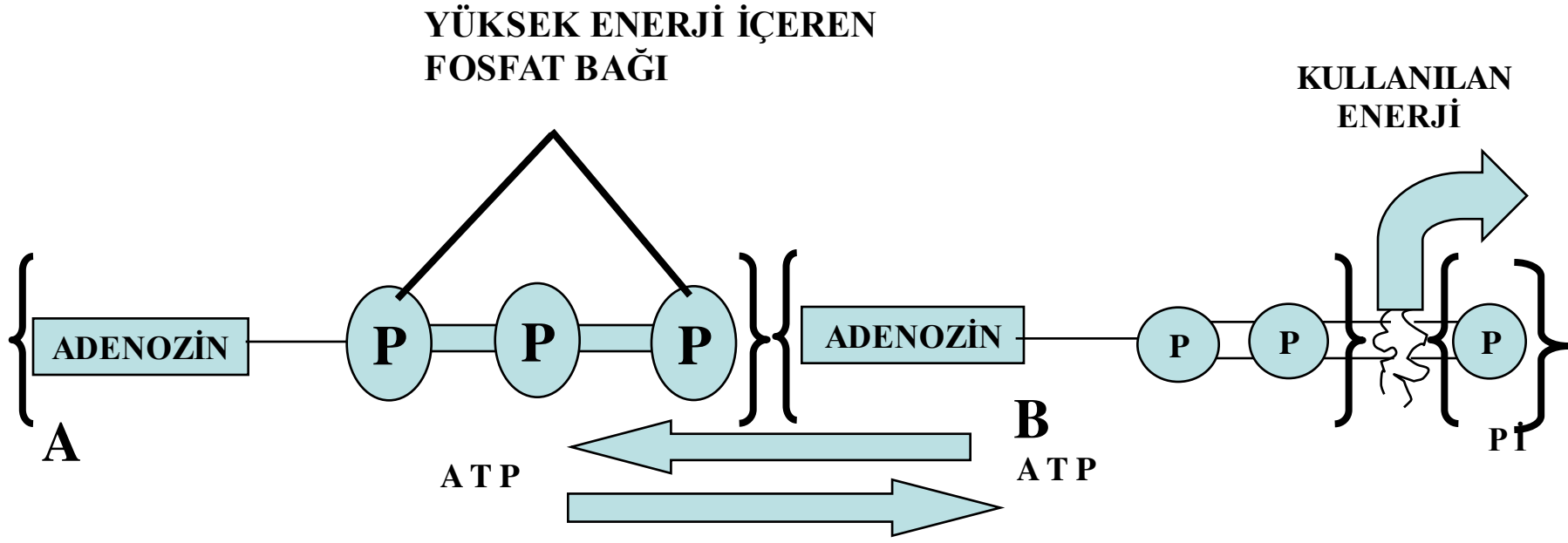
# Kas-Tarihçe

- Kaslar hakkında ilk araştırmalar yaklaşık 2000 yıl önce başlamıştır.
- İlk kez 1842 de Schwann tarafından kasların kemo-mekanik yapılar olduğu belirtilmiştir.
- Kemo-mekanik, kimyasal enerjiyi mekanik enerjiye çeviren demektir. \*\*
- 1930 yılında Straub kasılmanın hem aktin hem de miyozin ile ilgili olduğunu keşfetmiştir.
- 1931 yılında Lohmann kasların kullandığı yakıtın ATP olduğunu göstermiştir.
- 1939 yılında Engelhart ATP' yi kullanan molekülün miyozin olduğunu göstermiştir.

# ***Biyolojik Enerji Devri***

- Yediğimiz besinler, solunum dediğimiz metabolik işlem sırasında  $O_2$  tarafından parçalanarak  $CO_2$ ,  $H_2O$  ve **kimyasal enerjiye** dönüşürler.
- Büyüme ve kasların mekanik çalışması gibi biyolojik etkinliğin oluşması için gerekli enerji bu metabolik solunum aracılığı ile elde edilir.
- Kas kasılması enerji gerektiren bir olaydır ve kas kimyasal enerjiyi mekanik enerjiye çeviren bir mekanizmadır.

- Besin maddelerinin parçalanması ile oluşan enerji iş yapımında kullanılmaz, yani direkt olarak mekanik enerjiye dönüştürülemez.
- Besin maddelerinden elde edilen enerji kasta depo edilebilen bir madde olan ATP (**Adenozin Trifosfat**) nin yapımında görev alır.



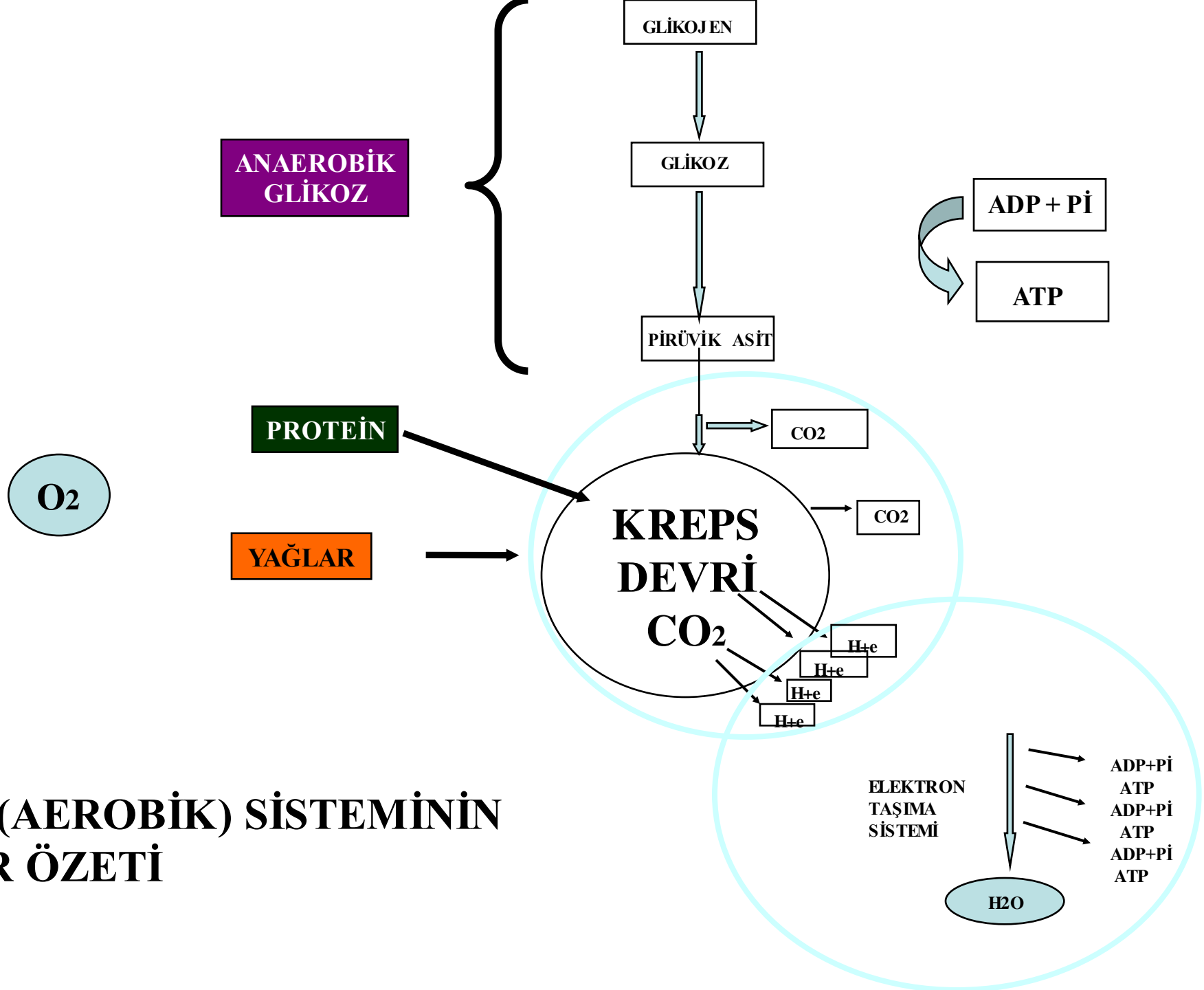
**A: ATP'nin basit yapısı**

**B: ATP'nin parçalanarak ADP (adenozin-di fosfata) dönüşerek enerji açığa çıkması , 1 mol ATP parçalanması ise 7-12 kcal arasında enerji açığa çıkar.**



- Bu dönüşüm neticesinde meydana gelen ısı enerjisi, değişik mekanizmaların araya girmesi sonucu **mekanik enerji** haline getirilip organizma faaliyetleri devam ettirilir.

# O<sub>2</sub> (AEROBİK) SİSTEMİNİN BİR ÖZETİ

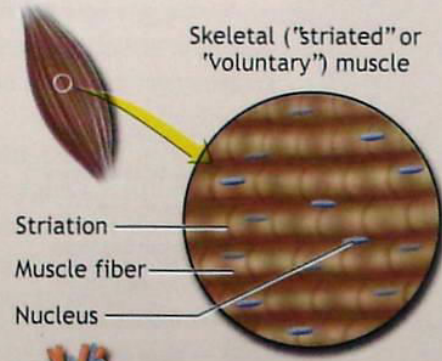
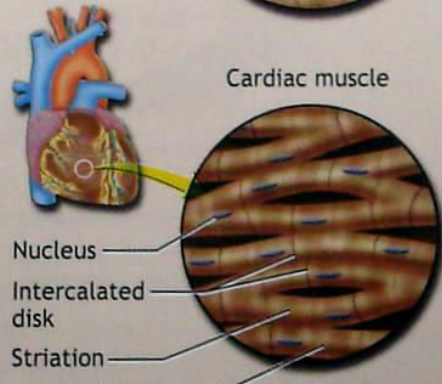
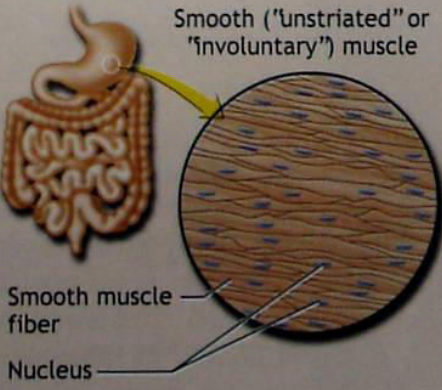


- Kasların 3 tipi de kasılma için özelleşmiş **miyofibril (aktin-miyozin)** ya da kas lifleri denilen uzun hücrelerden oluşur.
- 3 kas tipinde de **ATP** kullanılarak açığa çıkan enerji mekanik enerjiye çevrilir.

- Kuvvet oluşumu ve hareket sağlamak için kimyasal enerjiyi kullanma yetisi değişik oranlarda tüm yaşayan organizmalarda mevcuttur.
- Kuvvet oluşumu için kimyasal enerjiyi kullanma olayı en mükemmel şekline kaslarda ulaşmıştır. \*

# Kas tipleri

Kas tipi	Bulunduğu yer	Kasılma şekli	Hücre-lif tipi	Çizgilenme şekli	görevi
İskelet	<ul style="list-style-type: none"><li>• İskelete yapışan kaslar</li></ul>	İstemli	Uzun silindirik	Belirgin enine çizgilenme	<ul style="list-style-type: none"><li>• İskeletin hareketi</li><li>• Postürün sağlanması</li></ul>
Düz	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sindirim, solunum, üreme ve üriner sistemin içi boş organlarının duvarları</li><li>• Kan damarları</li></ul>	İstemsiz	İğcik şeklinde	Çizgilenme yok	<ul style="list-style-type: none"><li>• İç organlarda ve damarlarda harekete yol açar</li></ul>
Kalp	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kalp</li></ul>	İstemsiz	Kısa dallanmış	Çizgilenmiş	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kalbin kan pompalamasını sağlar.</li></ul>

Muscle type	Location	Appearance	Type of activity	Stimulation
 <p>Skeletal ("striated" or "voluntary") muscle</p> <p>Striation</p> <p>Muscle fiber</p> <p>Nucleus</p>	Named muscle (e.g., the biceps of the arm) attached to the skeleton and fascia of limbs, body wall, and head/neck	Large, long, unbranched, cylindrical fibers with transverse striations (stripes) arranged in parallel bundles; multiple, peripherally located nuclei	Strong, quick intermittent (phasic) contraction above a baseline tonus; acts primarily to produce movement or resist gravity	Voluntary (or reflexive) by the somatic nervous system
 <p>Cardiac muscle</p> <p>Nucleus</p> <p>Intercalated disk</p> <p>Striation</p> <p>Muscle fiber</p>	Muscle of heart (myocardium) and adjacent portions of the great vessels (aorta, vena cava)	Branching and anastomosing shorter fibers with transverse striations (stripes) running parallel and connected end-to-end by complex junctions (intercalated disks); single, central nucleus	Strong, quick continuous rhythmic contraction; pumps blood from the heart	Involuntary; intrinsically (myogenically) stimulated and propagated; rate and strength of contraction modified by the autonomic nervous system
 <p>Smooth ("unstriated" or "involuntary") muscle</p> <p>Smooth muscle fiber</p> <p>Nucleus</p>	Walls of hollow viscera and blood vessels, iris, and ciliary body of eye; attached to hair follicles of skin (arrector muscle of hair)	Single or agglomerated small, spindle-shaped fibers without striations; single, central nucleus	Weak, slow, rhythmic, or sustained tonic contraction; acts mainly to propel substances (peristalsis) and to restrict flow (vasoconstriction and sphincteric activity)	Involuntary by autonomic nervous system

**FIGURE 15.2** • Functional and structural characteristics and mode of activation of skeletal, cardiac, and smooth muscle. (From Moore KL, Dalley AF. Clinically oriented anatomy. 4th ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 1999.)



**a. İskelet Kası**



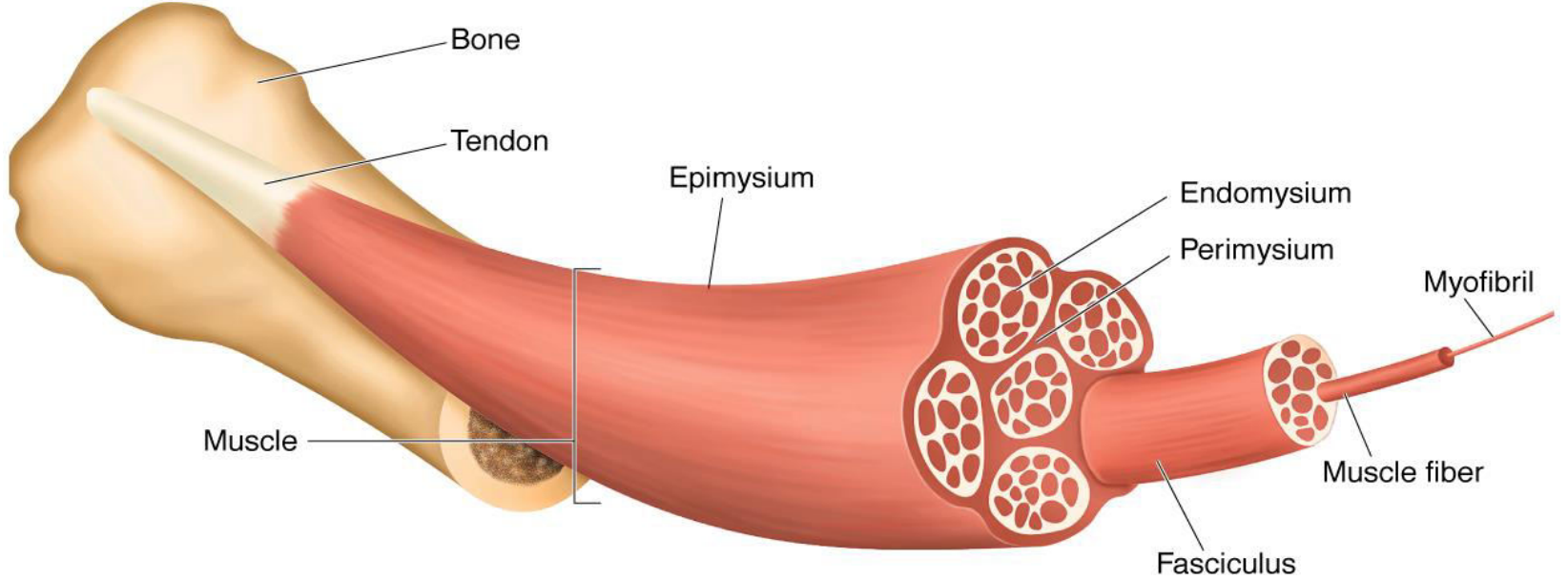
**c. Düz Kas**



**b. Kalp Kası**

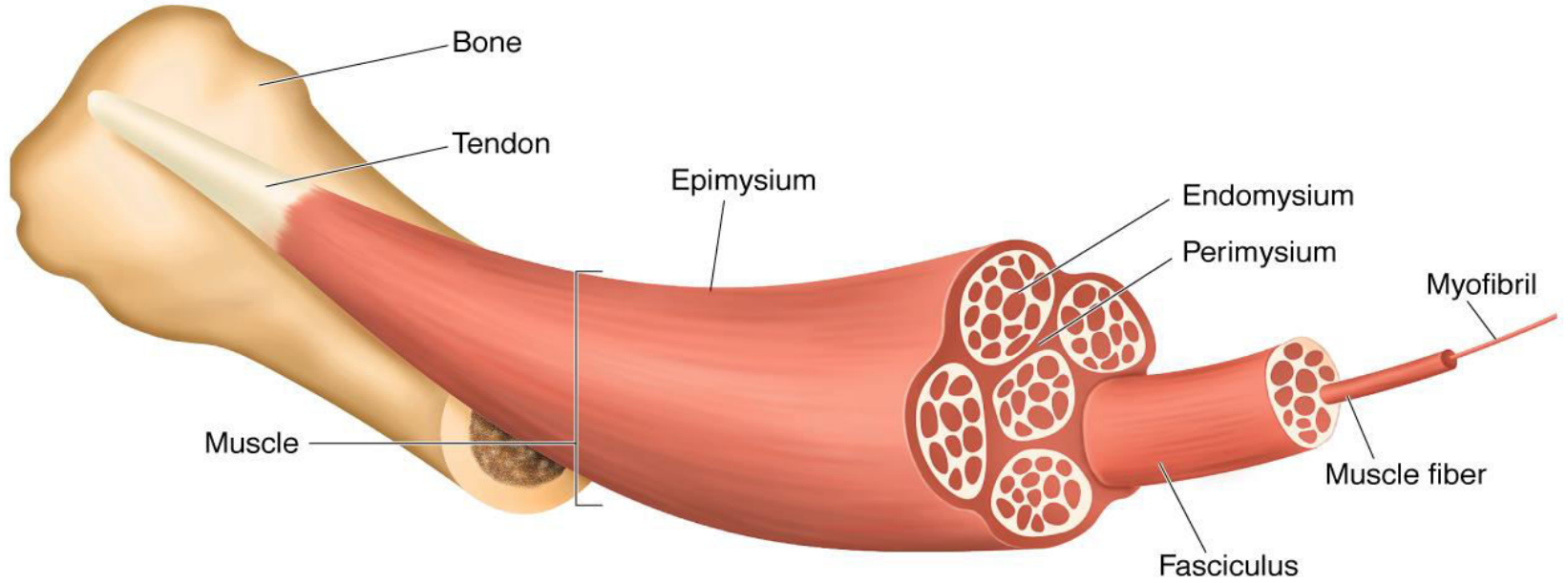


# İSKELET KASI (ÇİZGİLİ KASLAR)



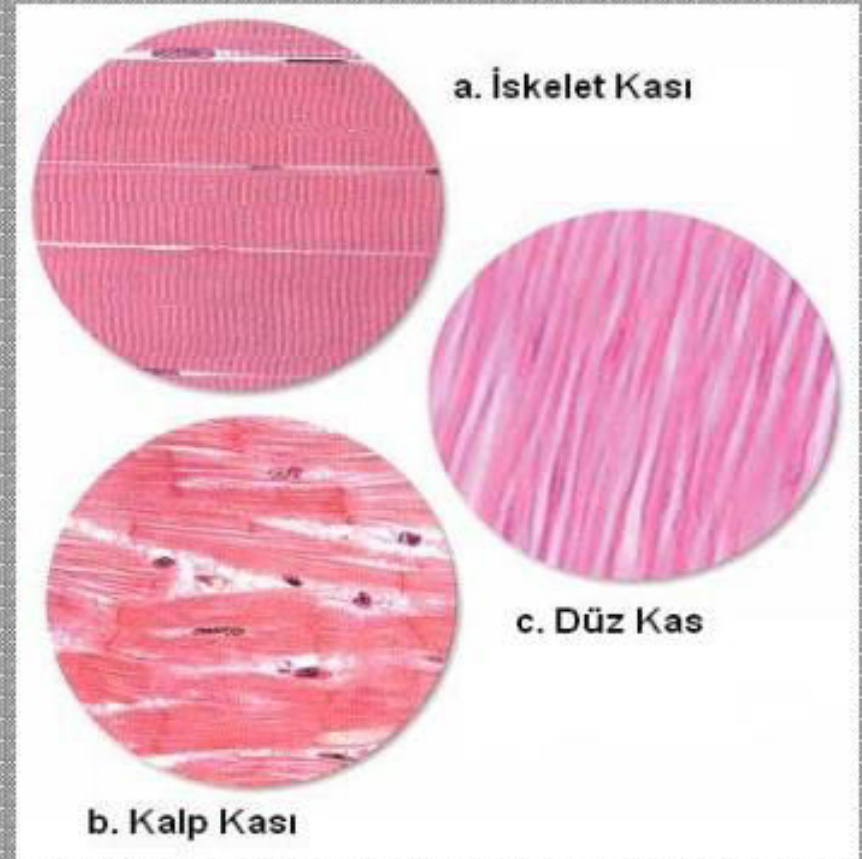
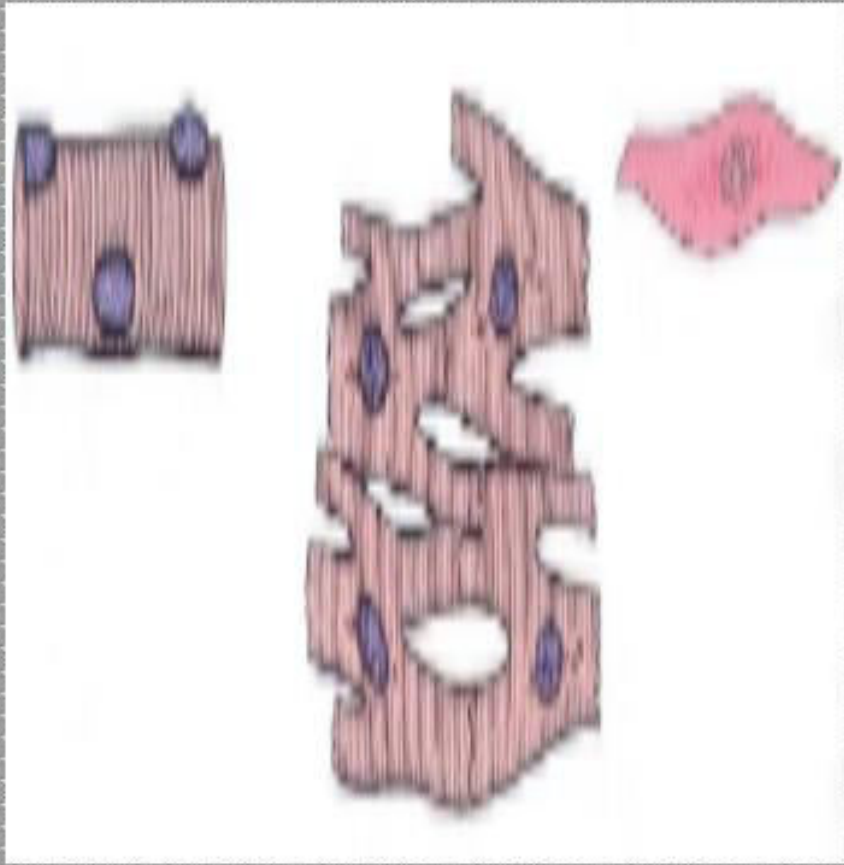
- İstemli kaslardır.
- Vücudun en büyük organıdır.
- Kas hücrelerine ***kas lifi*** denir.
- Birden fazla kas lifinin oluşturduğu demetlere ***fasikül*** denir.
- Herbir kas lifi çok sayıda çekirdek içerir.
- Herbir kas lifi çok sayıda (bir kaç yüz ile bir kaç bin arasında) ince miyofibriller (protein filament iplikcikleri) taşır.
- **Kas hücresi= kas lifi**

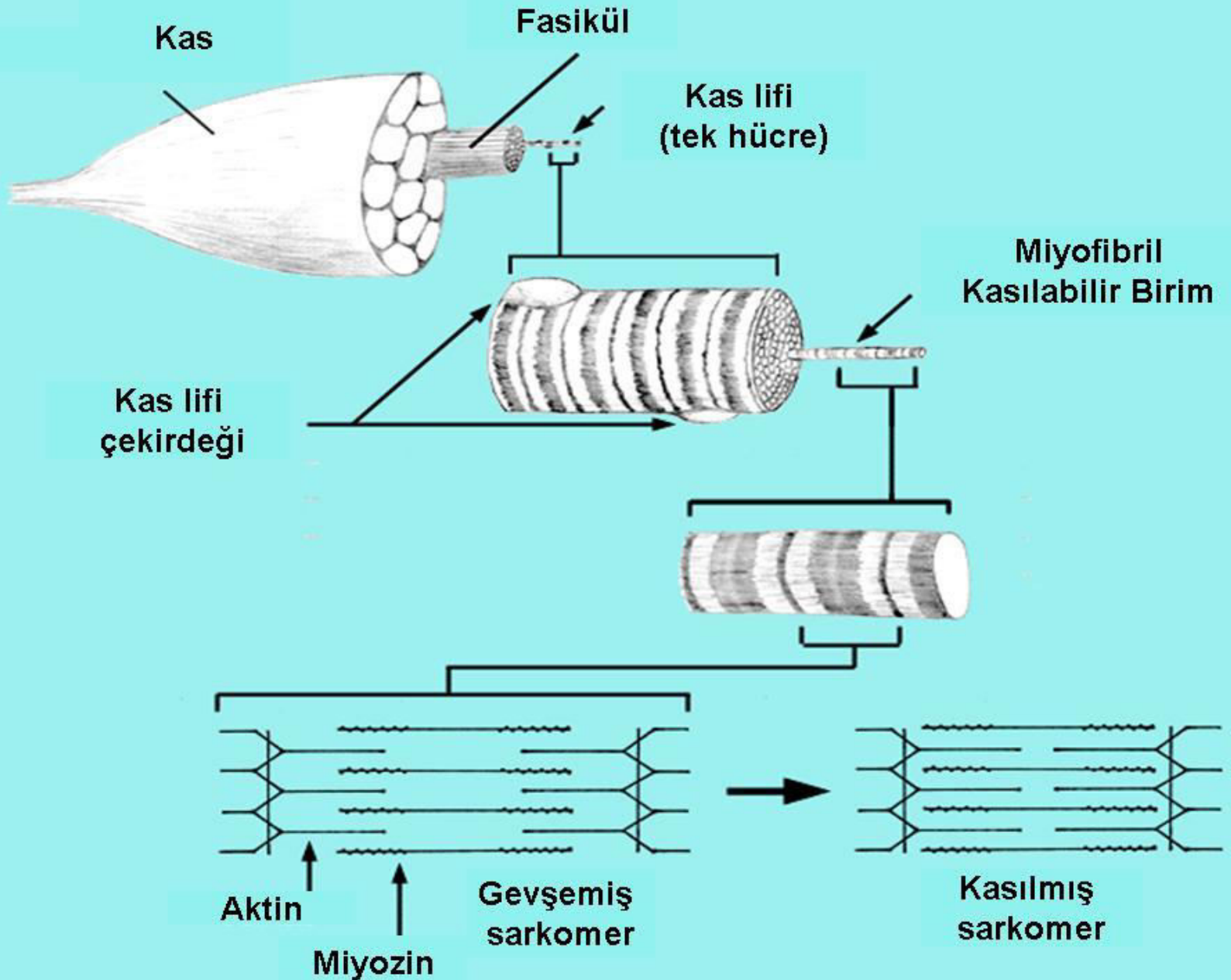




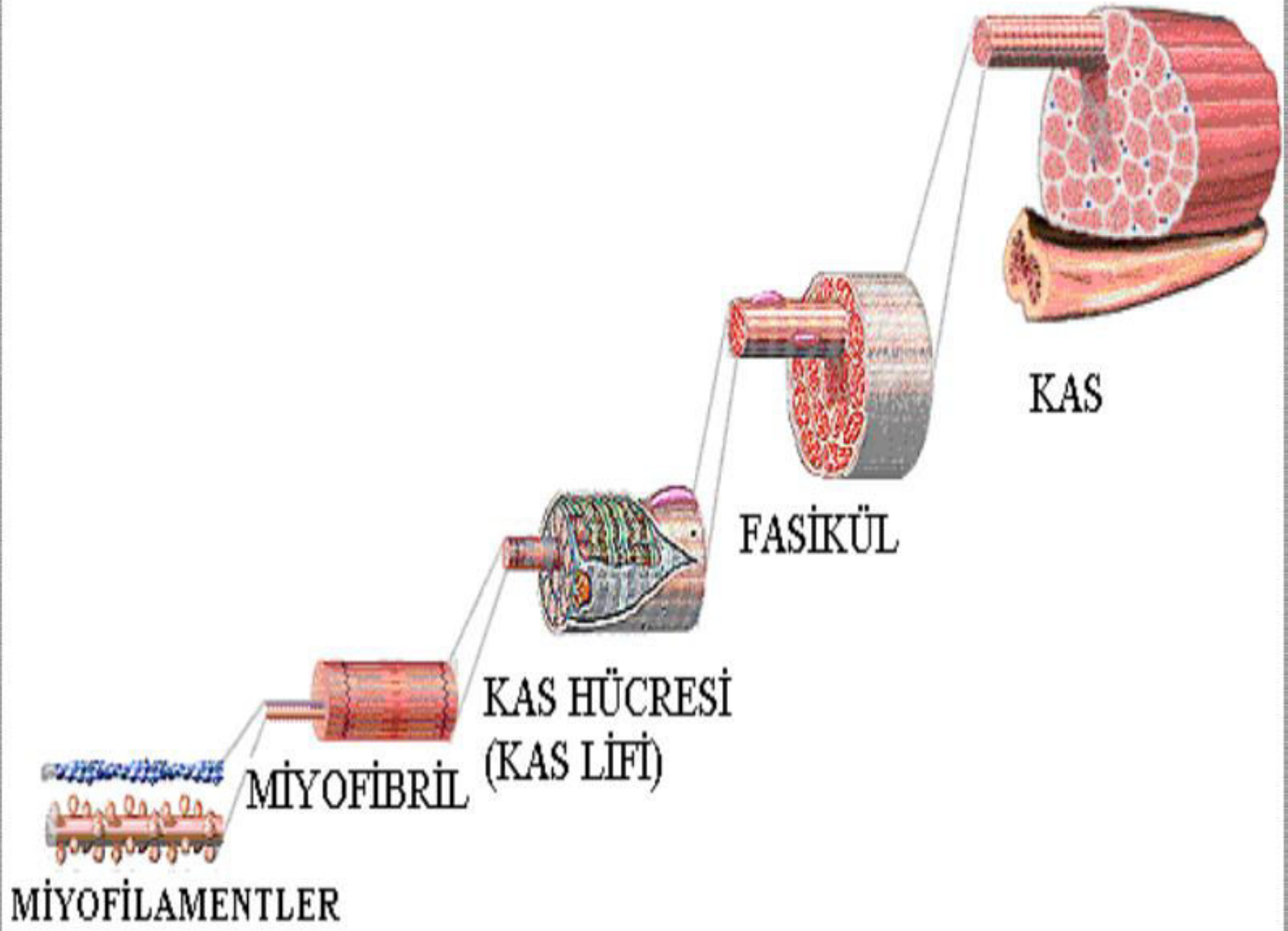
- **Epimisyum;** Tüm kası saran sıkı bağ doku tabakasıdır.
- **Perimisyum;** Kas hücre fasiküllerini çevreler.
- **Endomisyum;** Her bir kas hücrelerini saran ince ekstraselüler matriks tabakasıdır.

# İskelet kası hücresi çok çekirdeklidir.

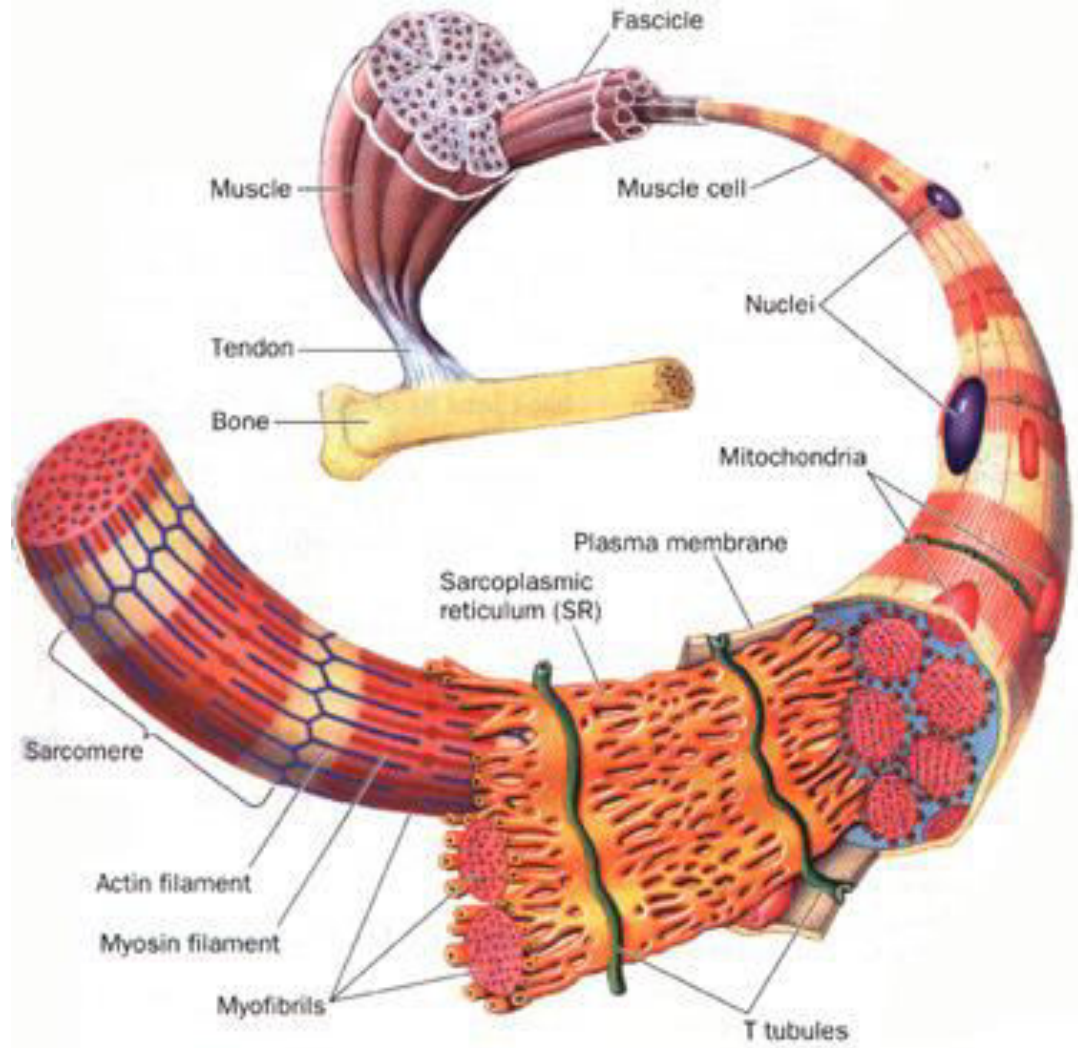


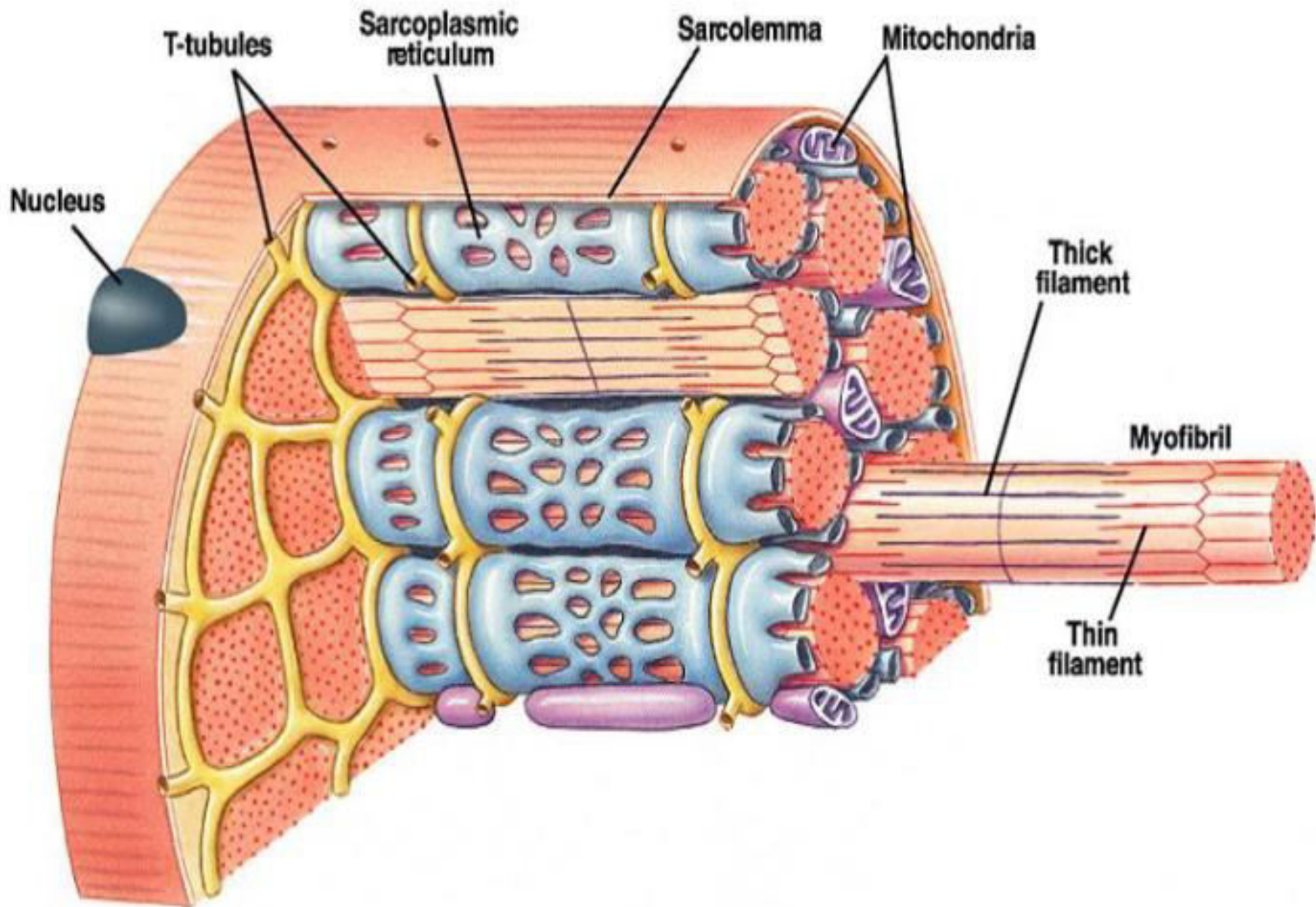




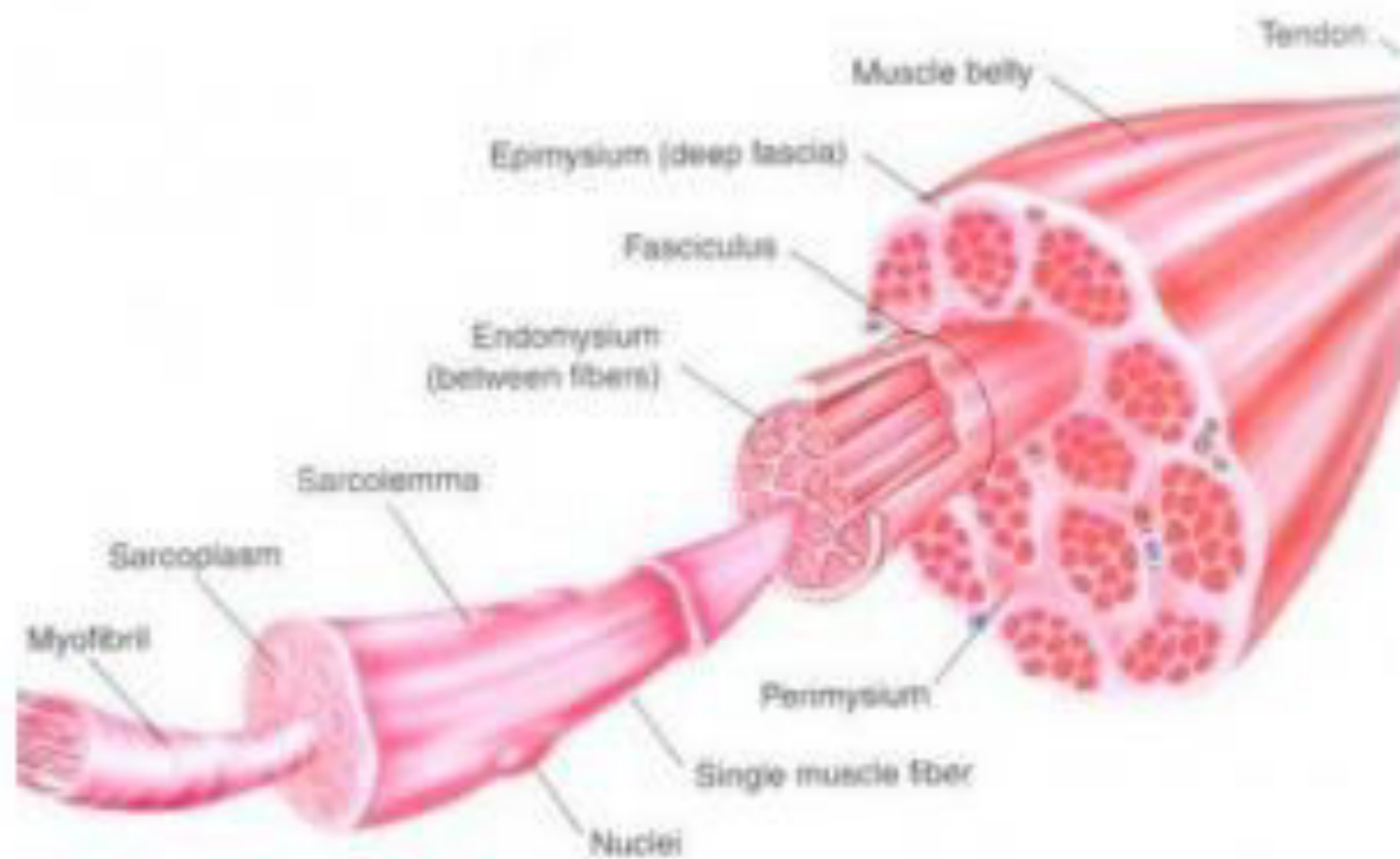


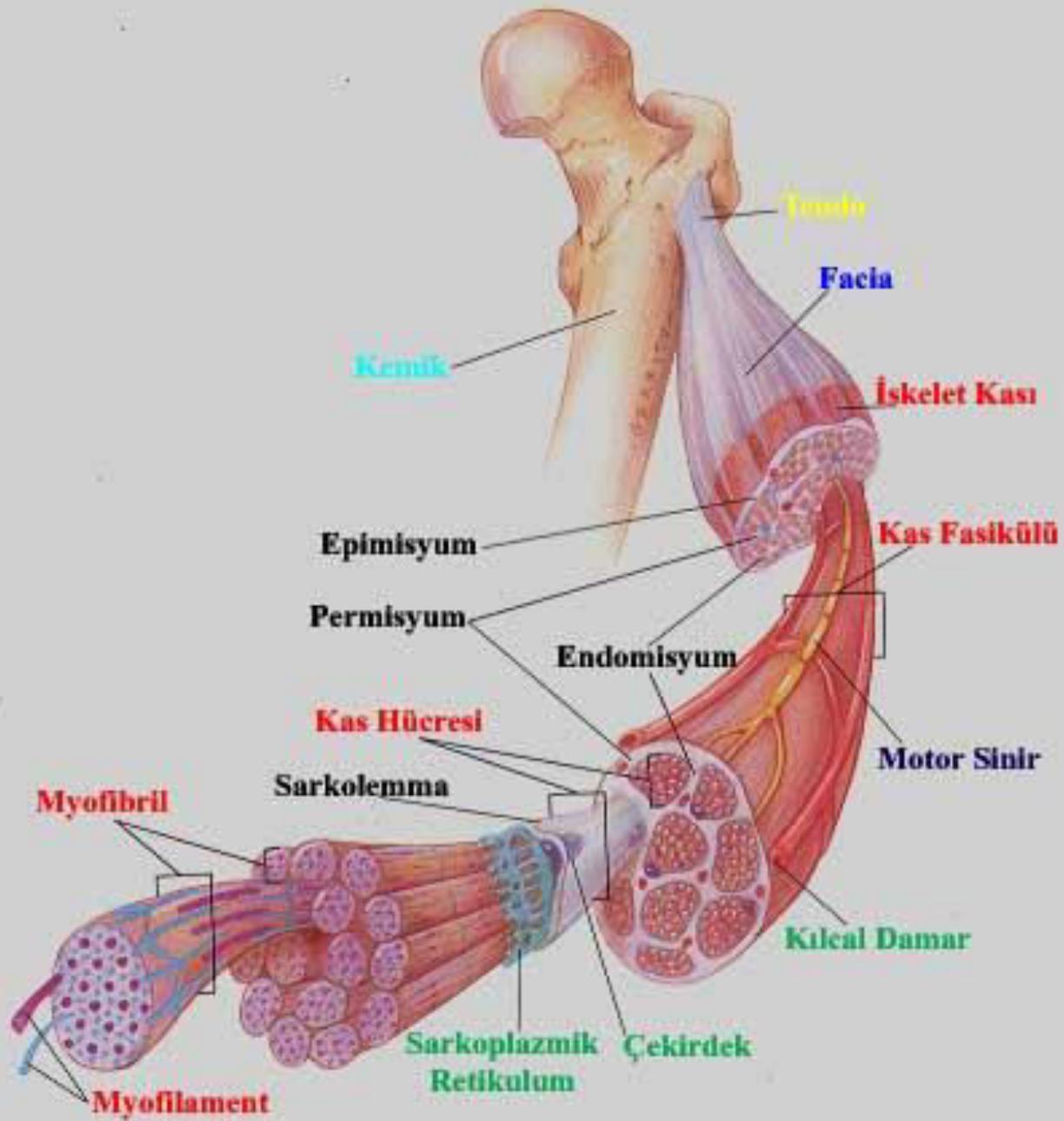
Kas lifi zarına  
\***Sarkolemma**,  
sitoplazmasına ise  
\***Sarkoplazma**  
denir.  
Kas liflerindeki  
endoplazmik  
retikuluma  
\***sarkoplazmik**  
**retikulum** denir.





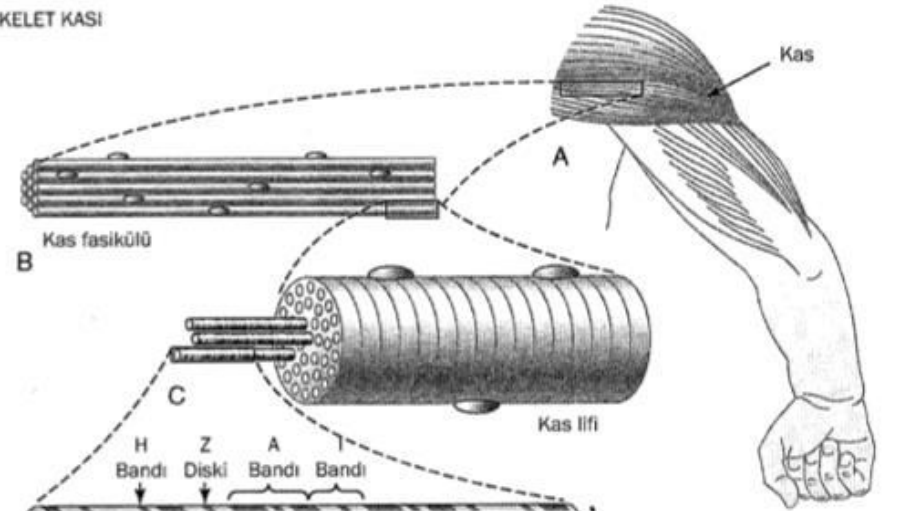








## İSKELET KASI



### **Miyofibriller**

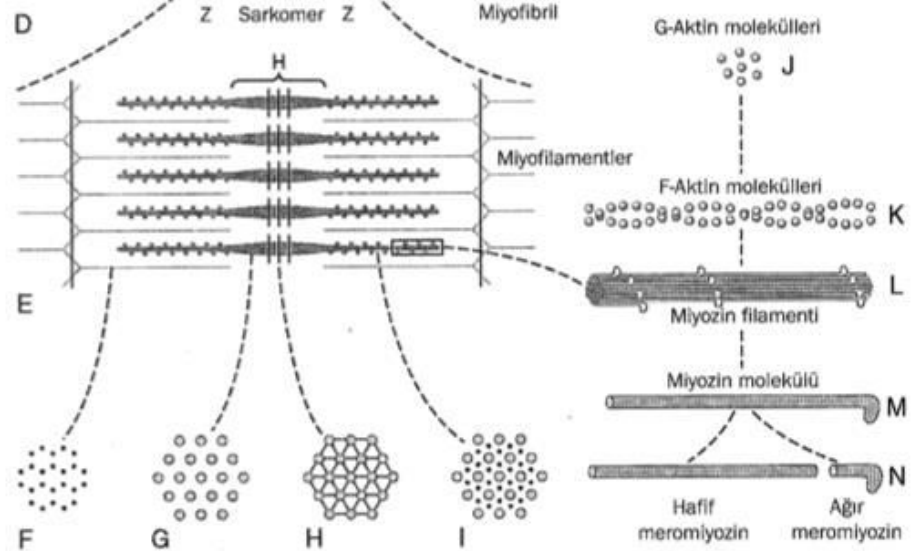
“miyofilament” adı verilen ince ve kalın uzantılardan oluşur.

Miyofilamentler kasılabilir proteinlerden oluşmuştur.

***Miyozin, aktin, tropomiyozin, troponin***

### ŞEKİL 6.1

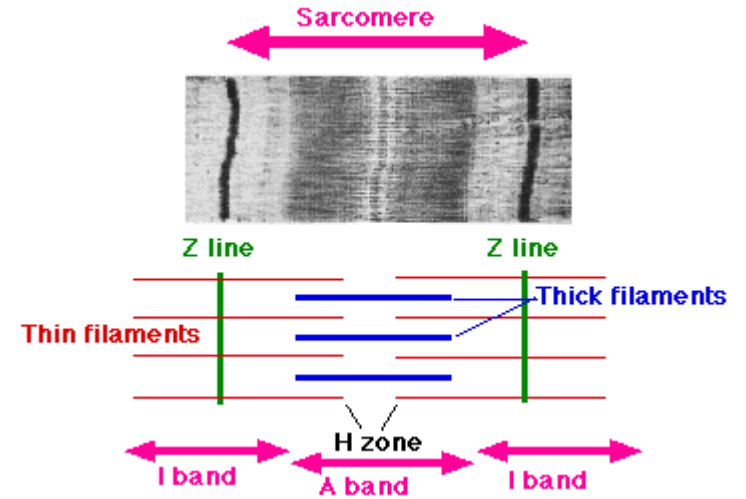
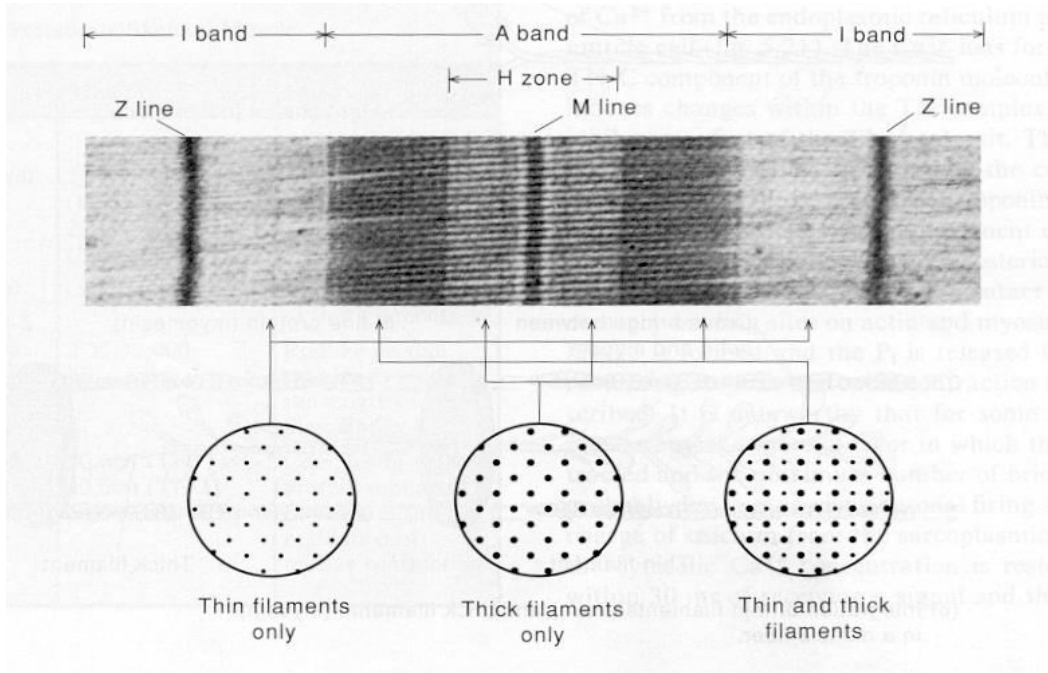
Bütünden moleküler düzeye kadar iskelet kasının organizasyonu. F, G, H ve I ile belirtilen düzeylerde enine kesitlerdir. (Sylvia Colard Keene tarafından çizilmiştir. Fawcett: Bloom ve Fawcett: A Textbook of Histology. Philadelphia, W.B. Saunders Company, 1986'dan modifiye edilmiştir.)



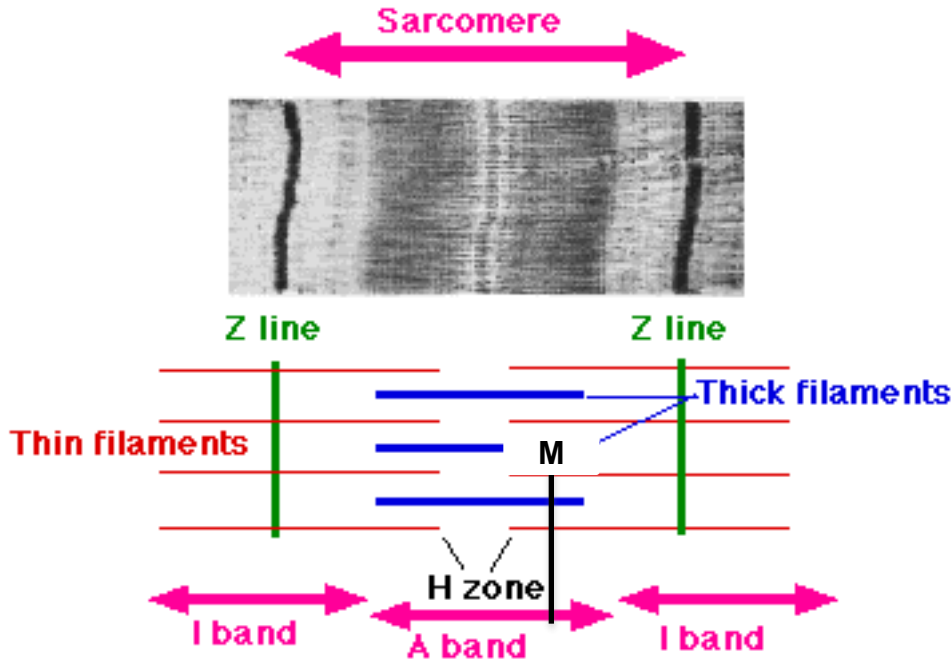
Bloom ve Fawcett: A Textbook of Histology. Philadelphia, W.B. Saunders Company, 1986'dan modifiye edilmiştir.)



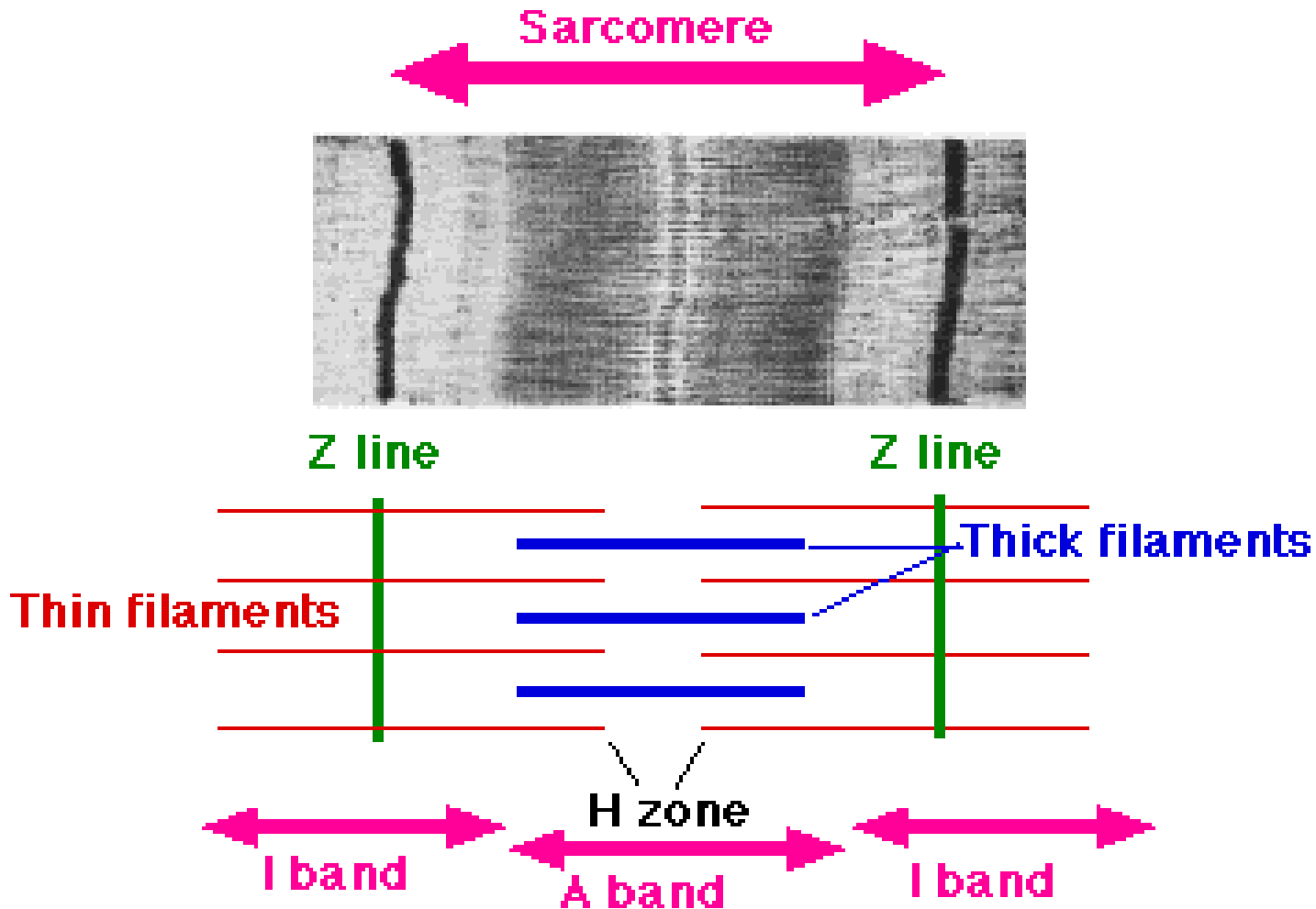
- Elektron mikroskobu ile boyuna kesitte incelendiğinde birbiri ardına gelen koyu “A” ve açık “I” bandları gözlenir.
- Bu durum kasa çizgili bir görünüm kazandırır.



- I bandı açık renklidir ve ince filamentlerden oluşmuştur. ince filamentler **aktin\***, **troponin\*** ve **tropomiyozin\*** kompleksinden oluşur.
- A bandı daha koyu görünür ve kalın filamentlerden oluşmuştur. Kalın filamentler **miyozinden\*** oluşmuştur.
- H bandı A bandının ortasındadır.
- I bandı Z çizgisi ile ikiye bölünmüştür.
- A bandı ise M çizgisi ile ikiye bölünmüştür.

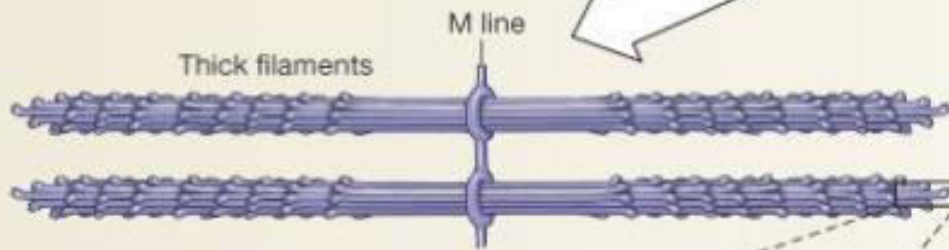
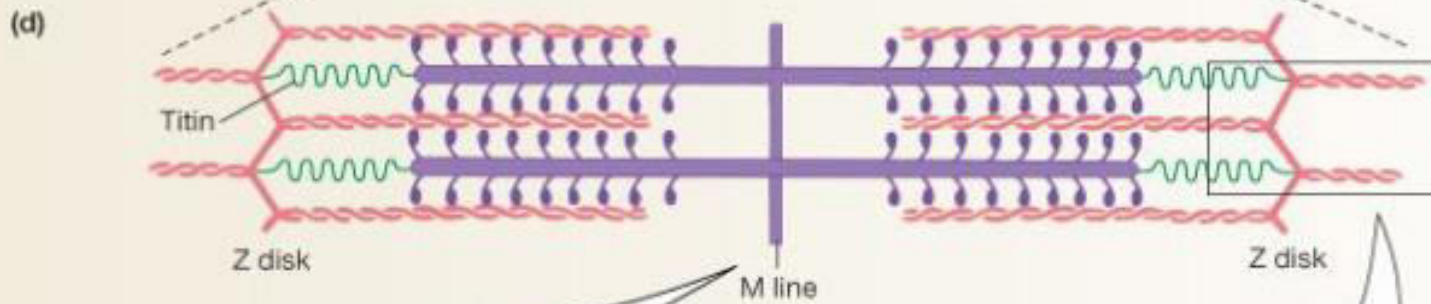
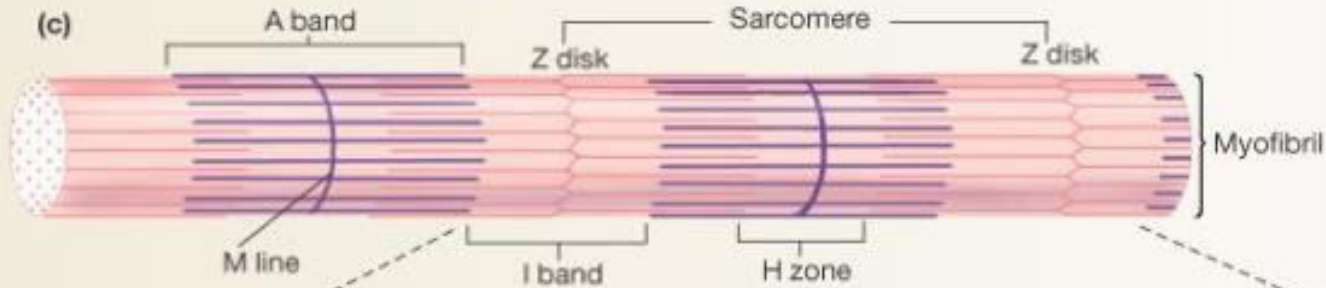


- İki Z çizgisi arasında kalan bölüme **sarkomer\*** denir.
- Sarkomer kastaki en küçük kasılma birimidir.
- Bir kasta işlev gören kısım sarkomerdir. \*\*

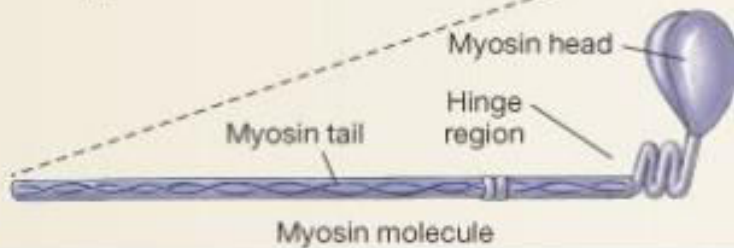
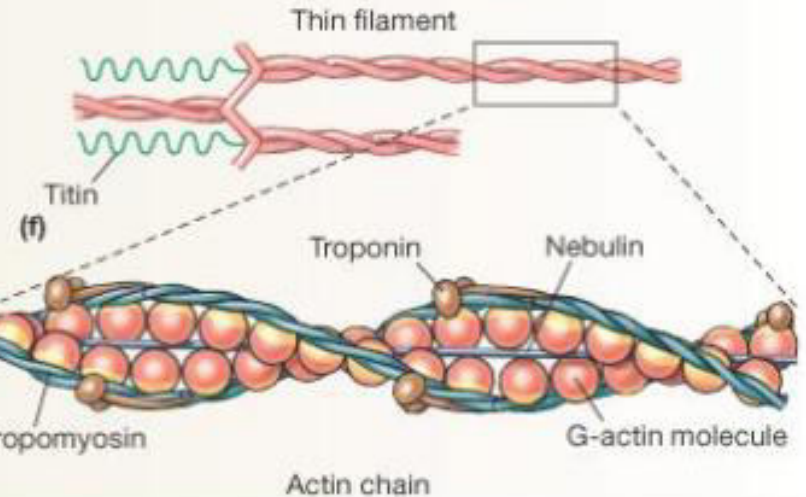


## ULTRASTRUCTURE OF MUSCLE FIBER

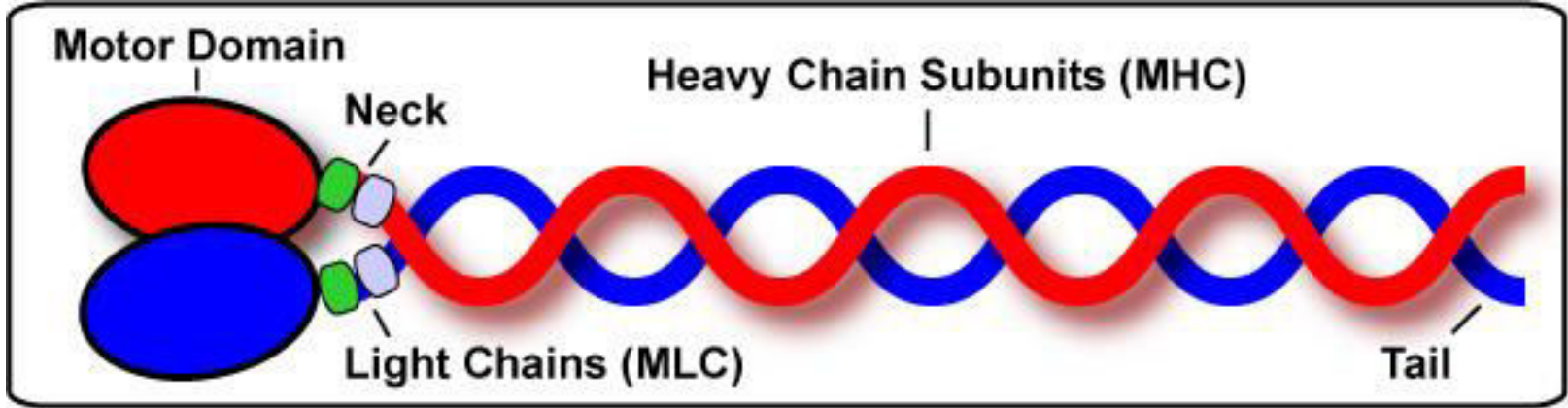
Titin, çizgili kas dokularının kasılmasında önemli olan bir proteindir. Sarkomerdeki Z çizgisini M çizgisine bağlar.



Nebulin, Aktin filamentlerini Z diskine bağlar.



# Miyozin

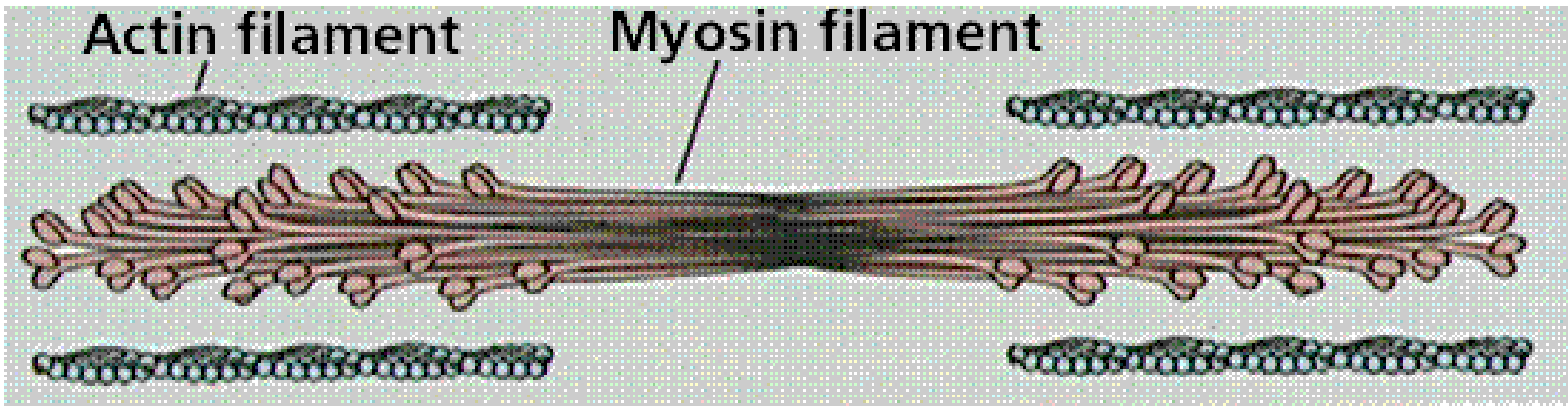
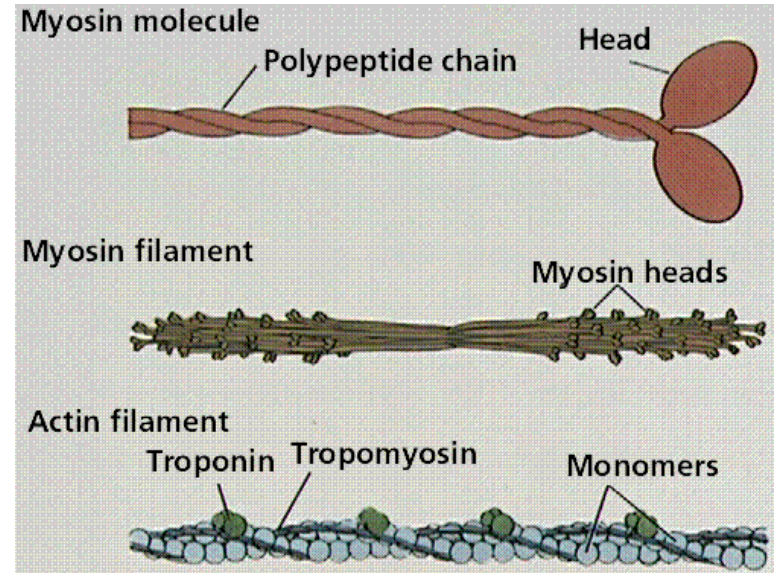


- Baş, boyun ve kuyruk kısmından oluşur.
- Her bir baş bölgesi 2 hafif zincir ile birleşir.
- Kuyruk kısmında 2 ağır zincirin kuyrukları birbiri üstünde dönerek birleşir.
- Kalın filaman oluşturur.\*\*



# Aktin, Tropomiyozin, Troponin

- Boncuk yapısına benzer bir yapıdadır.
- Aktin filamenti uzun ve çift sarmal oluşturan 2 globüler aktin zincirinden oluşur.
- Tropomiyozin aktin molekülünün 2 zincirinin arasında bulunur.
- Troponin, tropomiyozin molekülleri arasında bulunan küçük globüler yapılarıdır.

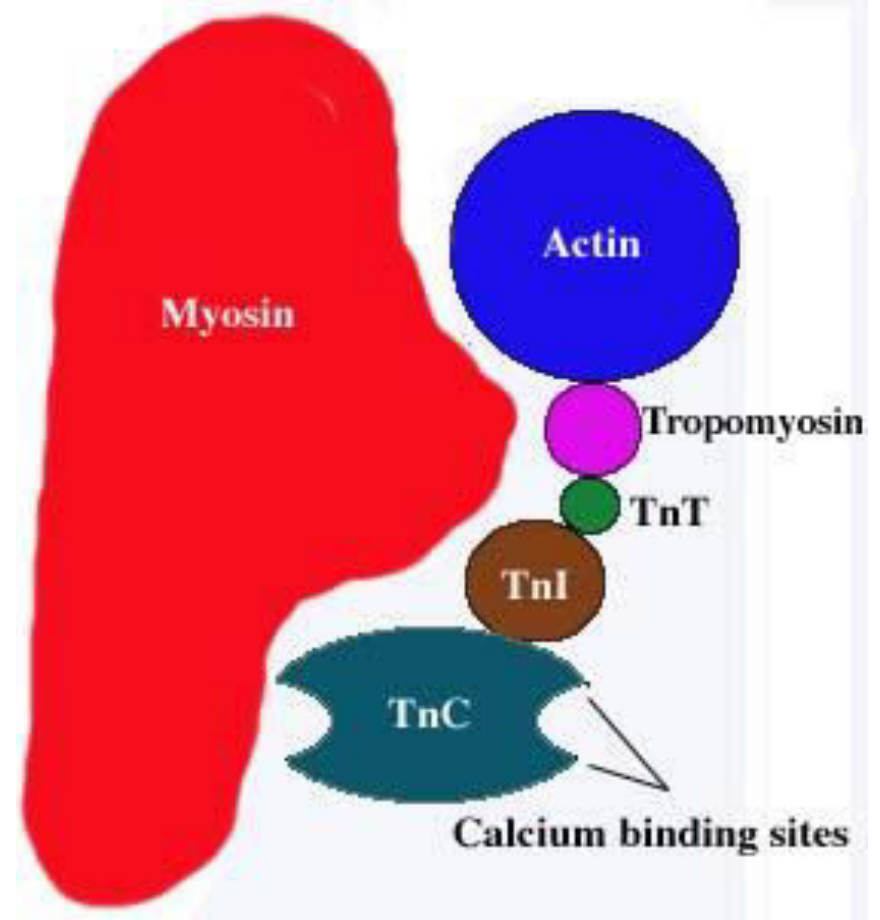
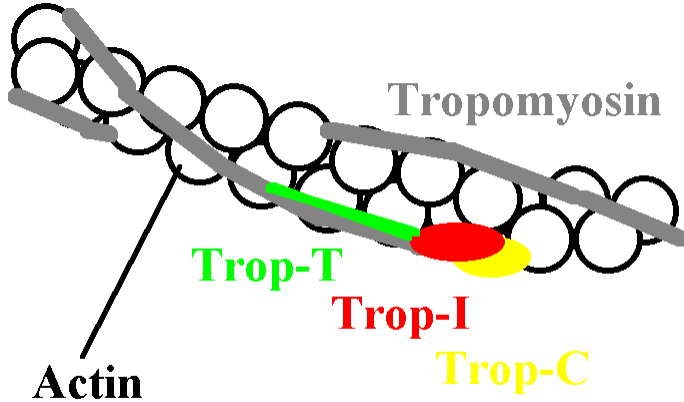
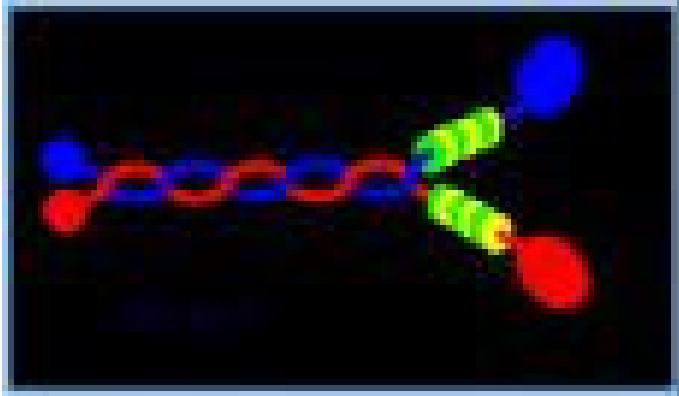


**Troponin;** Tro I, Tro T ve Tro C olmak üzere üç alt birimden oluşur.

Tro T; troponini tropomiyozine bağlar

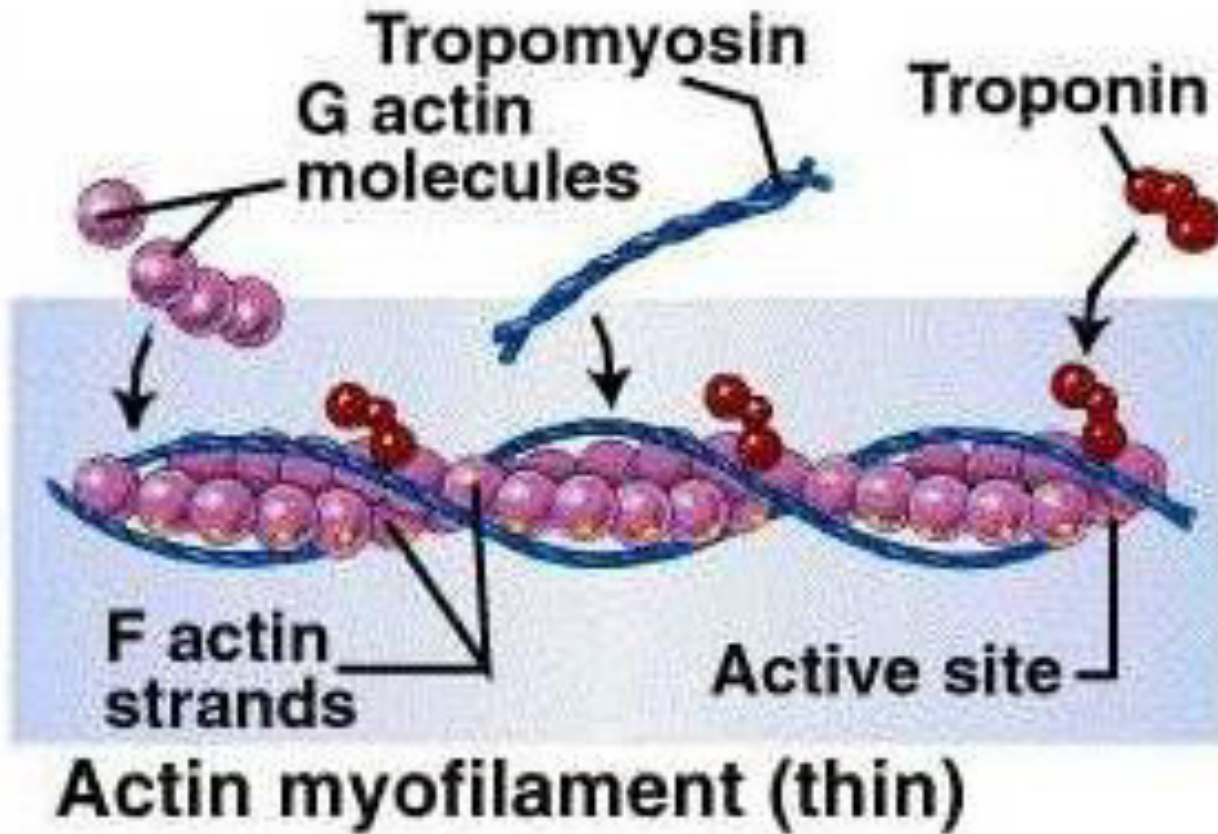
Tro I; miyozin ile aktinin etkileşimini inhibe eder.

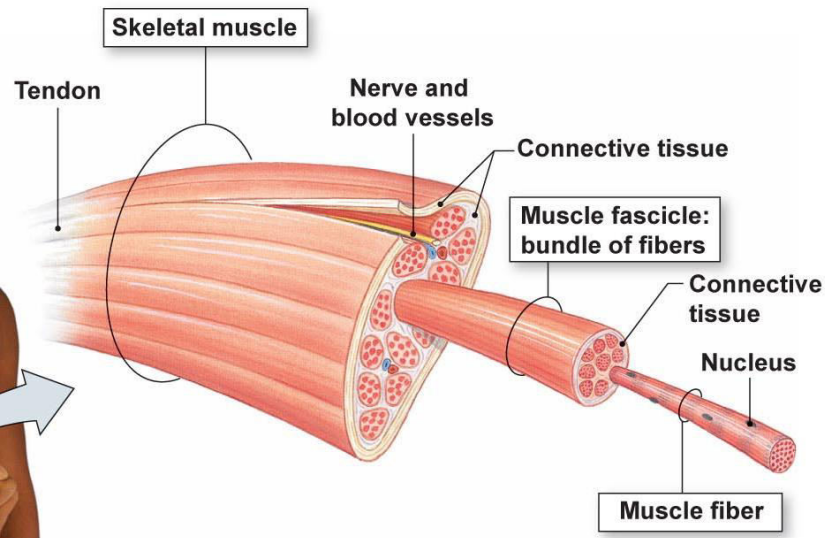
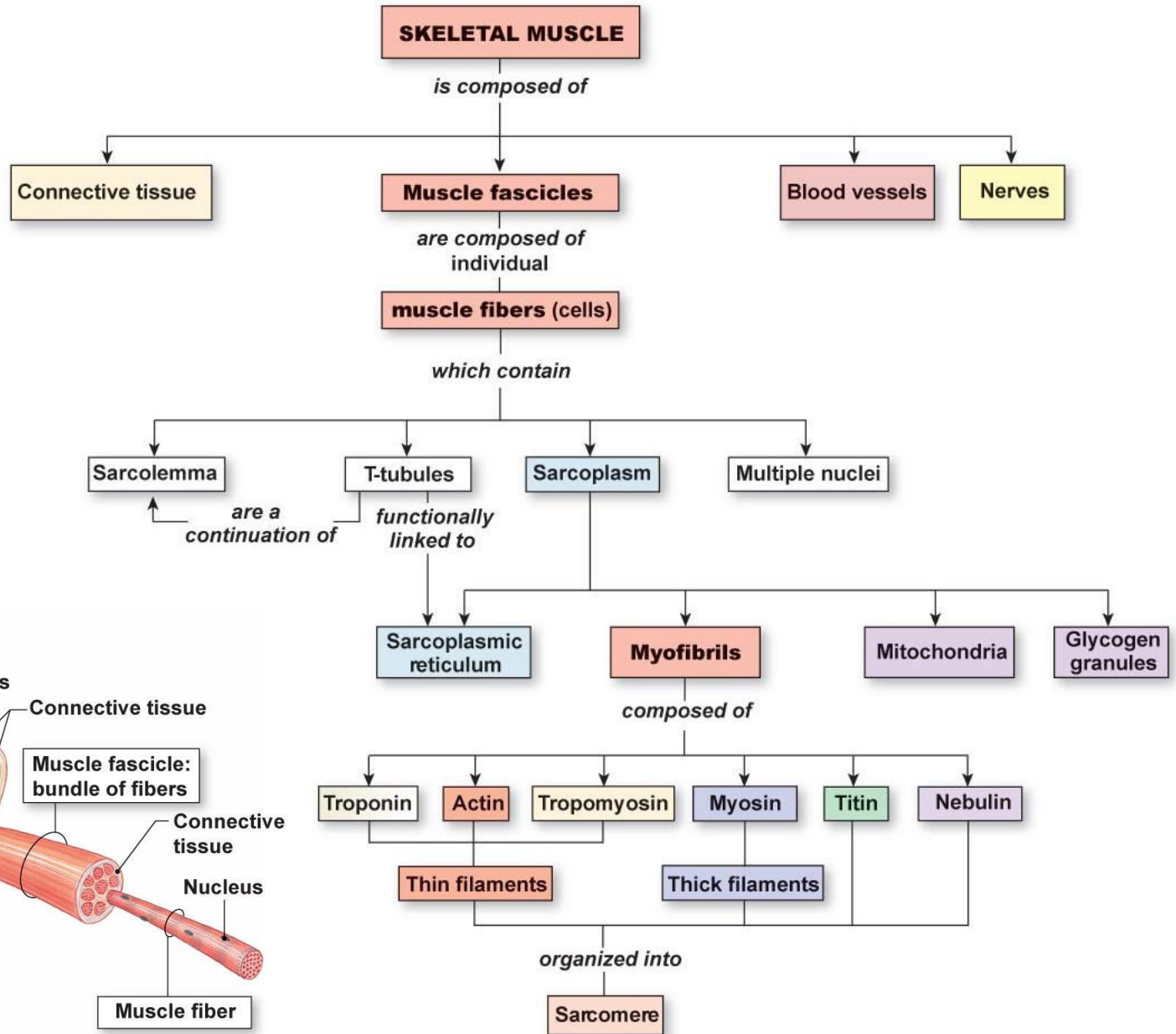
**Tro C; kasılmayı başlatan iyon olan kalsiyum bağlar.\*\***





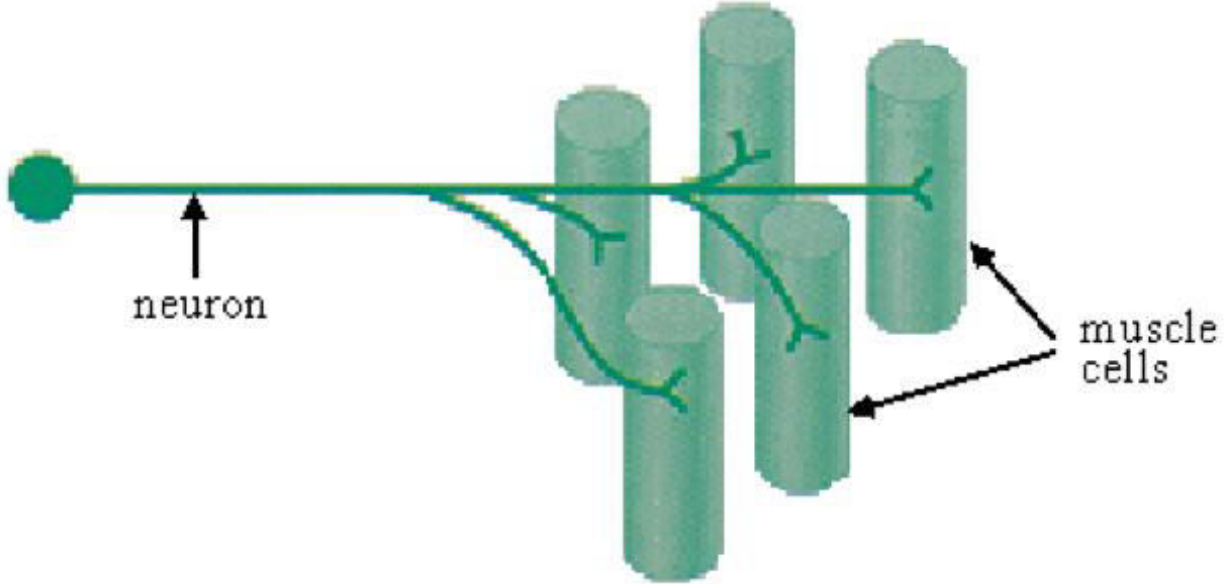
# *Aktin, tropomyozin ve troponin* proteinlerinin yapısı



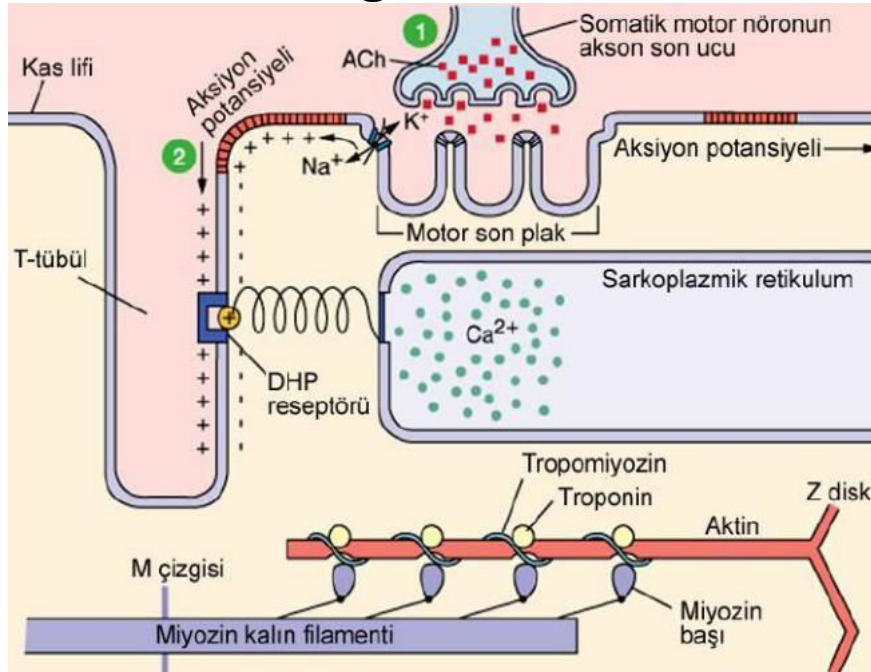




- *Her bir kas lifi bir motor sinir ucu ile bağlantılı olmak zorundadır.*
- Bir motor nöron ve onun innerve ettiği kas lifleri beraberce **motor ünite** olarak isimlendirilir.
- Bir motor sinir lifi aynı anda çok sayıda kas lifini uyarabilir.

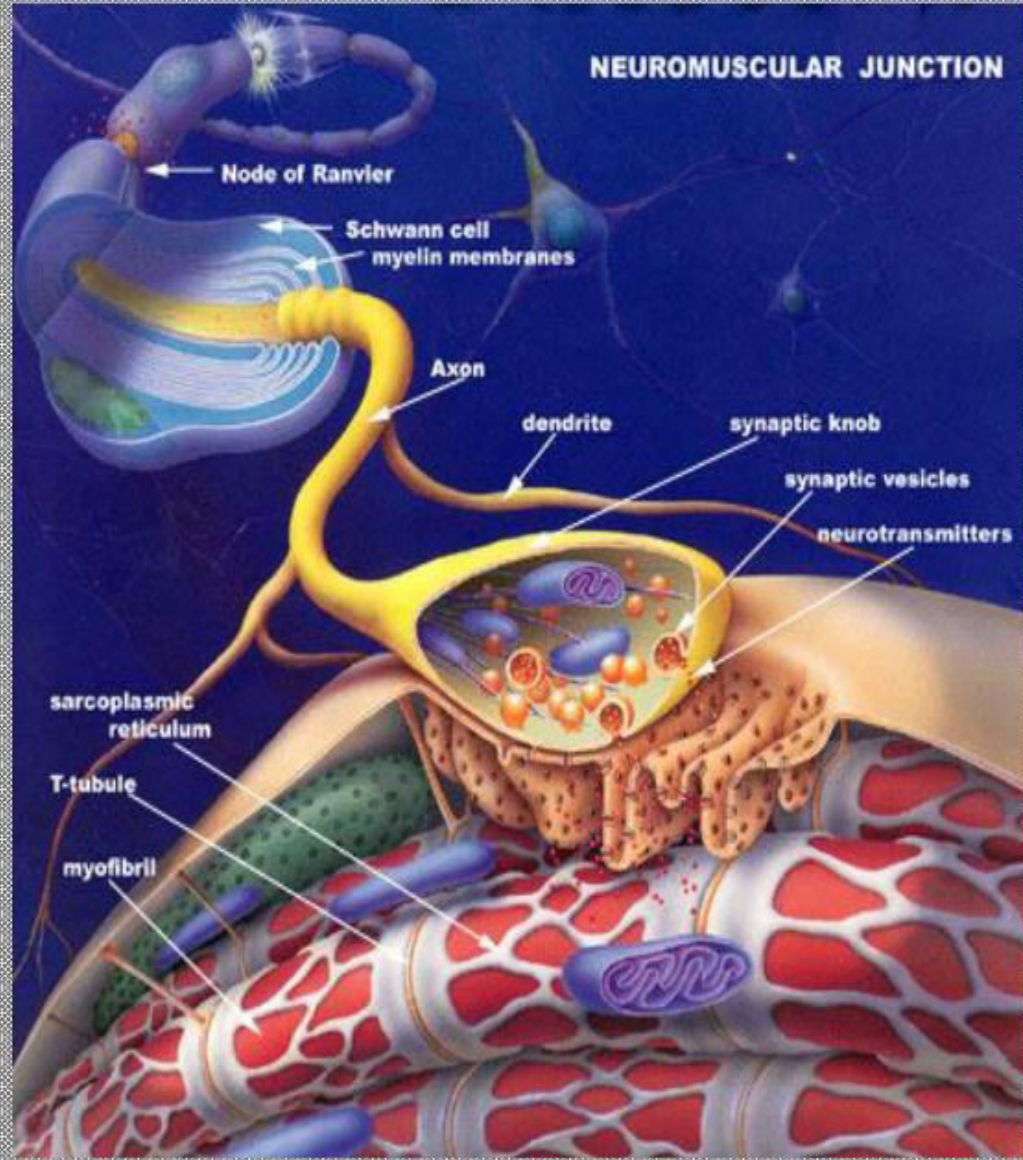


- Sinir ve kas gibi uyarılabilen dokuların istirahatten, uyarılmış hale geçmesi **aksiyon potansiyelleri** ile gerçekleştirilir.
- Kası uyararak sinirin aksonu kasa yaklaştığı zaman dallara ayrılır.
- Bu dallar sinirden kasa uyarı iletimini sağlayan nörotransmitter madde (asetilkolin)\*\* vezikülleri bulunur.
- Bu sinir uçları kas hücre zarında bulunan ve motor son plak adı verilen kalınlaşmış bölüme yerleşir.
- Bu yapıya **sinir kas bağlantısı** denir.





Sinir ve kas hücreleri arasında iletişimin gerçekleştiği bölge



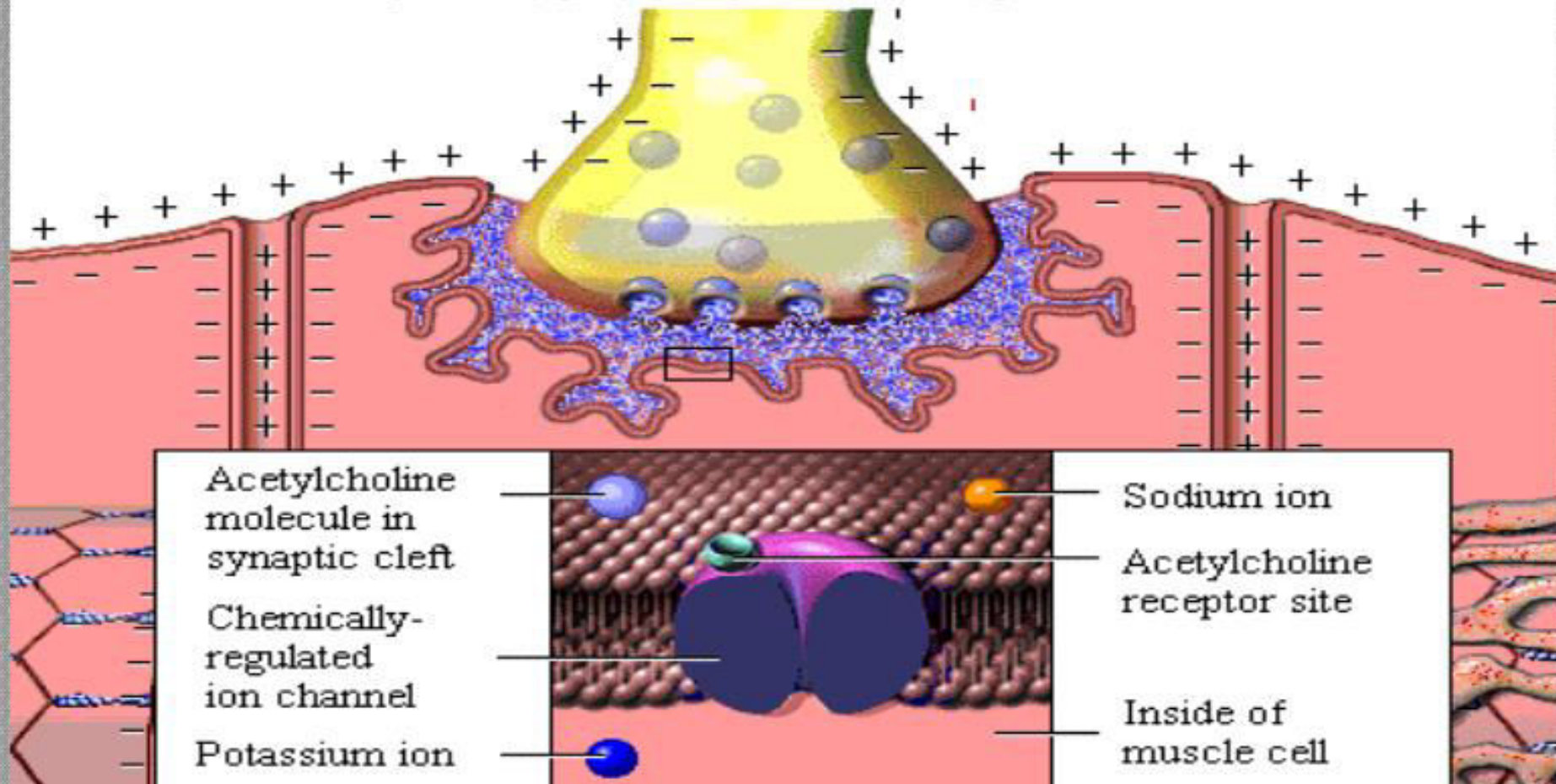
# Sinirden Kasa Uyarı İletimi\*\*\*

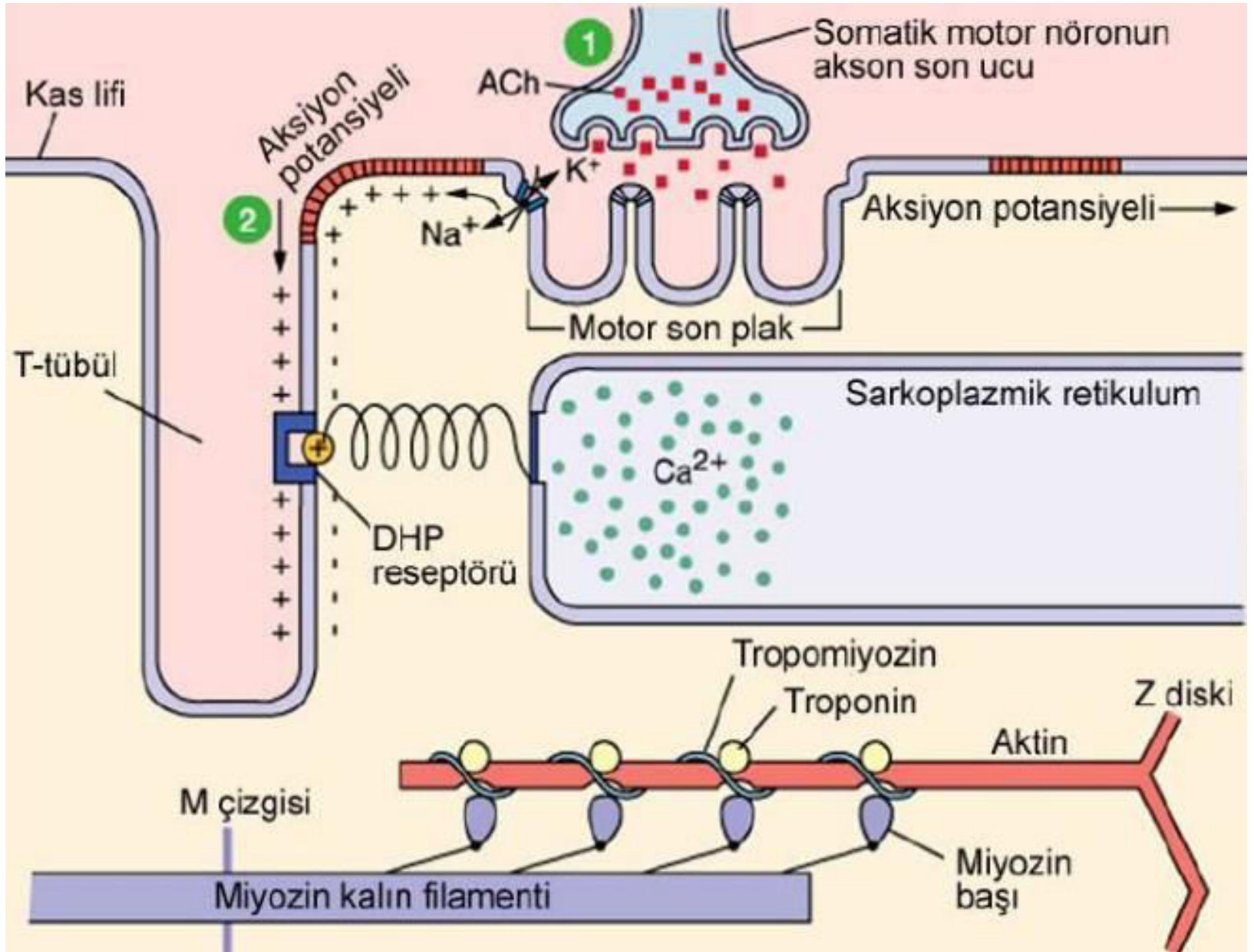
- 1) Motor sinirin ucuna gelen uyarı kalsiyumun\*\* sinir hücresi içerisindeki kalsiyum miktarının artmasına neden olur.
- 2) Hücre içindeki kalsiyum miktarının artması asetil kolin veziküllerinin\*\* salgılanmasını artırır.
- 3) Asetil kolin sinir kas bağlantısındaki boşluğu geçerek motor son plaktaki asetil kolin reseptörüne bağlanır.
- 4) Asetil kolinin reseptörüne bağlanması zarın  $Na^*$  ve  $K$  geçirgenliğini değiştirir ve bunun sonucunda  $Na$  hücre içine girer, motor son plak potansiyeli meydana gelir.
- 5) Bu potansiyel sonucu aksiyon potansiyeli \*\*başlar.
- 6) Oluşan aksiyon potansiyeli her iki yönde kas hücre zarı boyunca iletilir ve kas kasılması ile ilgili süreçler başlar.\*



# Ach membranin $\text{Na}^+$ geçirgenliğini binlerce kat artırır.

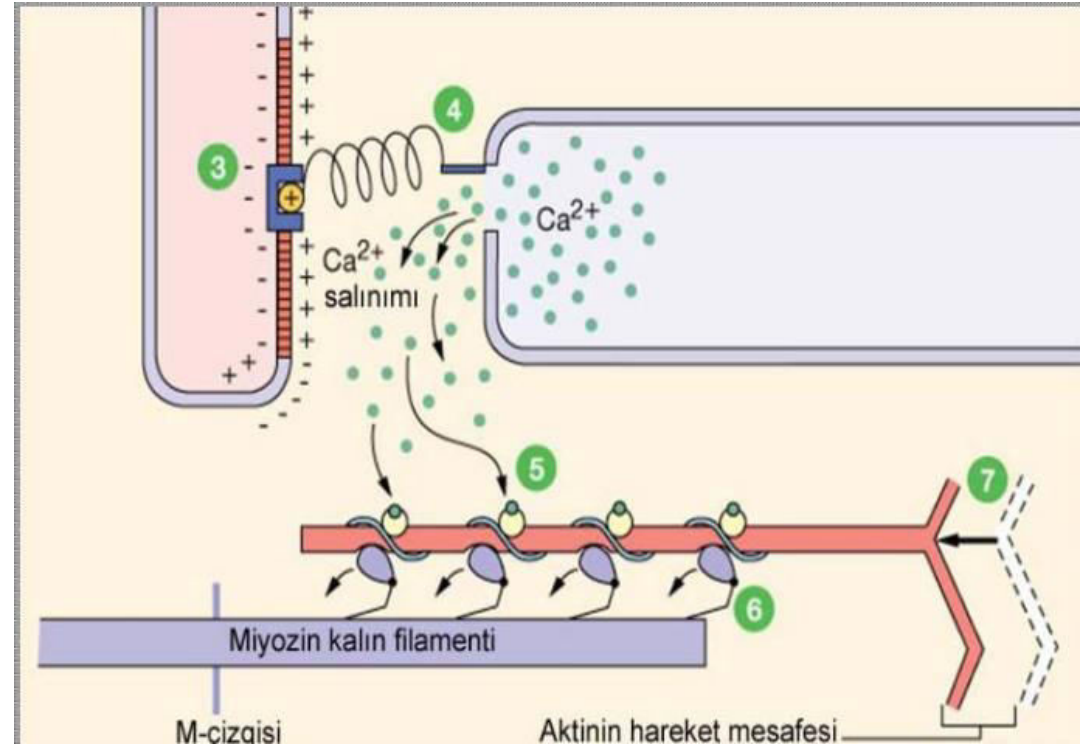
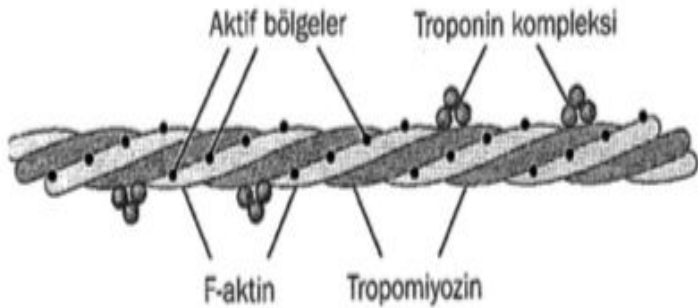
## ACETYLCHOLINE BINDS TO RECEPTOR SITES

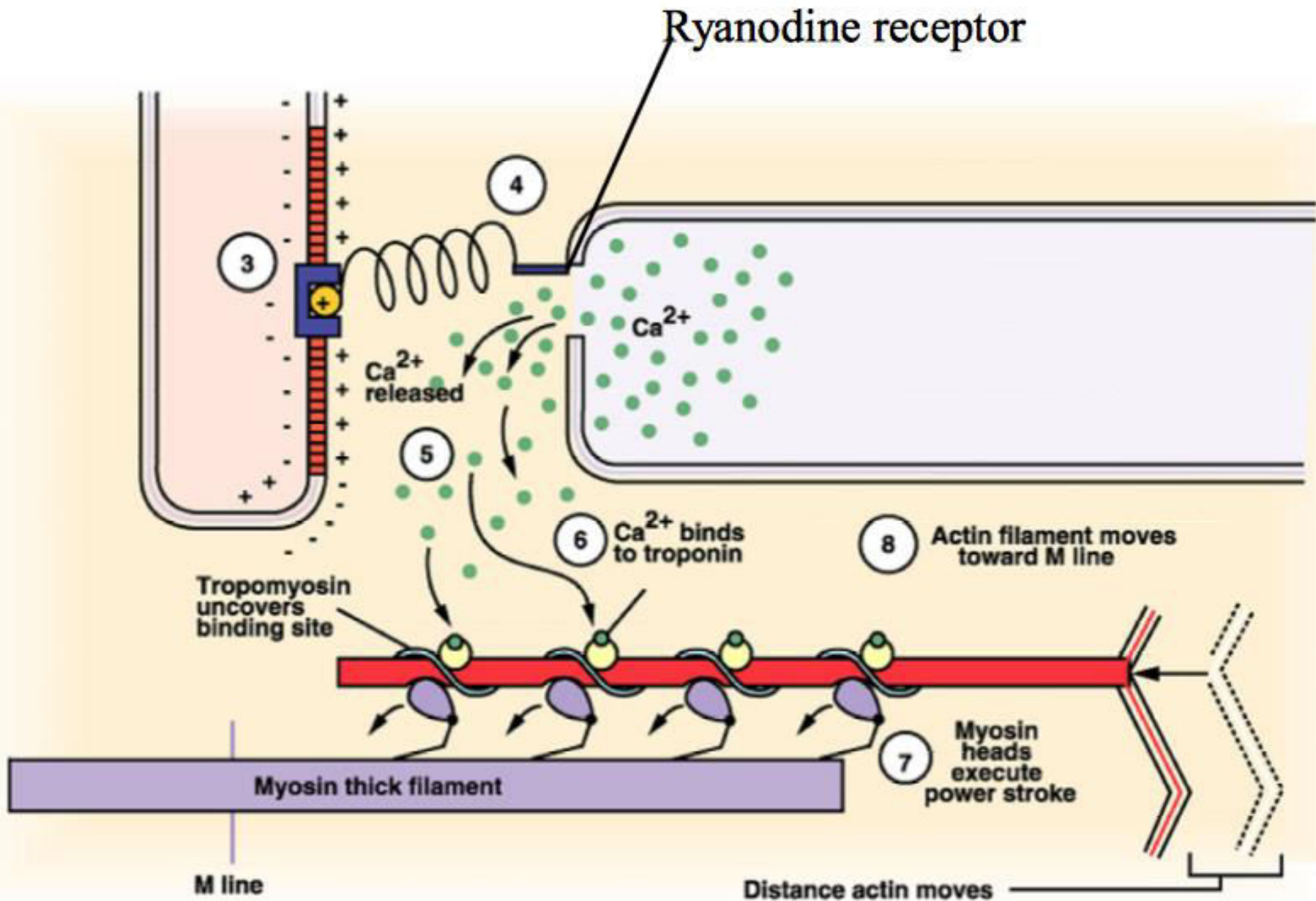


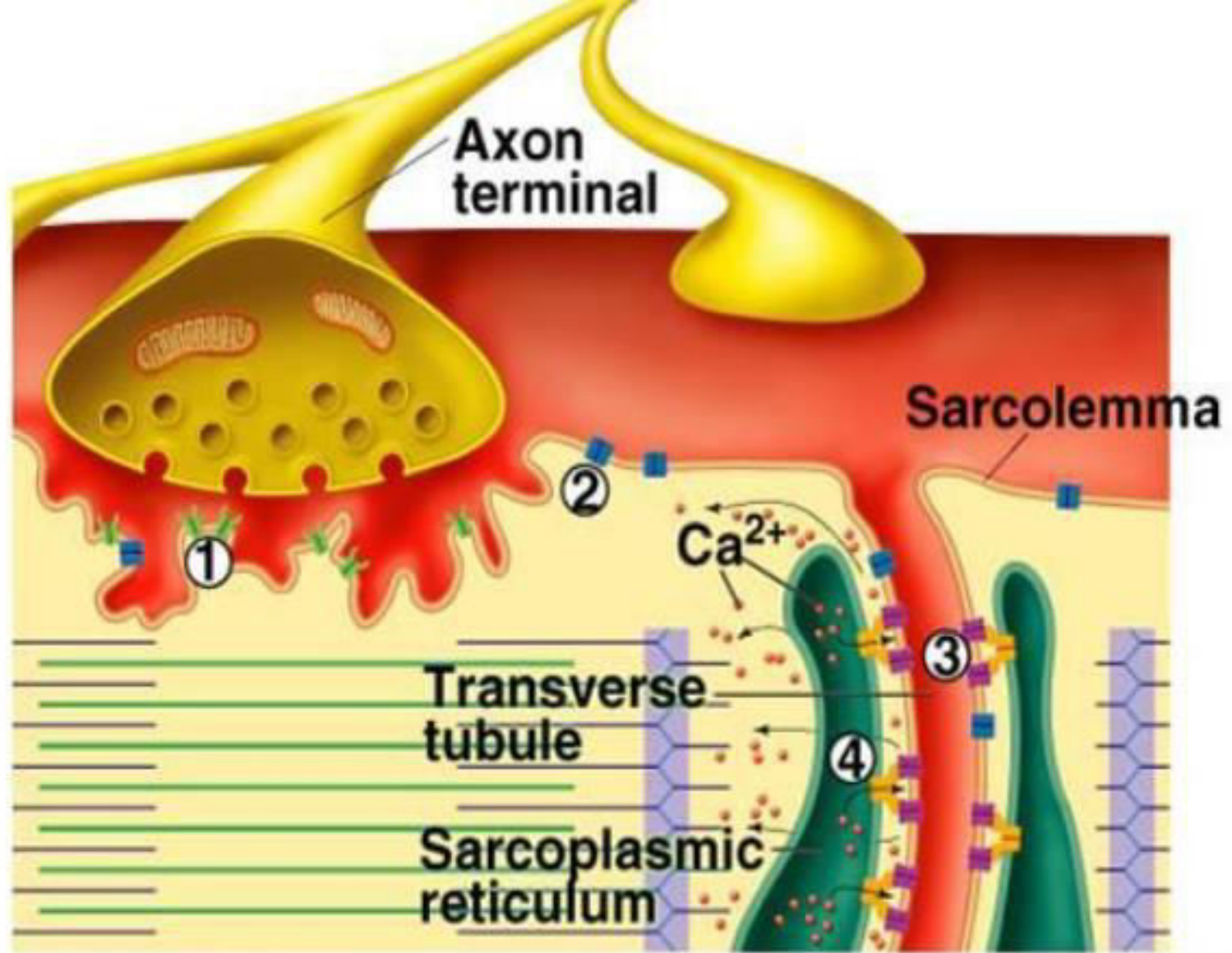




- Aksiyon potansiyeli kasa ulaşınca, T-tübül kalsiyum kanalları (dihidropiridin reseptörleri) sarkoplazmik retikulum kalsiyum kanallarının (riyanodin reseptörleri) mekanik olarak açılmasını sağlar.
- Bunun sonucu olarak sitozolde artan kalsiyum troponine bağlanarak troponin kompleksi biçim değişikliğine uğrar ve tropomyozin kompleksine uyguladığı kuvvetle onu 2 aktin ipliği arasındaki oluğa çeker.
- Bu durum aktinin aktif bölgeleri açığa çıkar ve kasılma gerçekleşebilir.
- **Tropomyozin-troponin kompleksi ile aktin arasındaki normal ilişki kalsiyum iyonları ile değişir ve bu durum kasılmaya neden olmaktadır.**





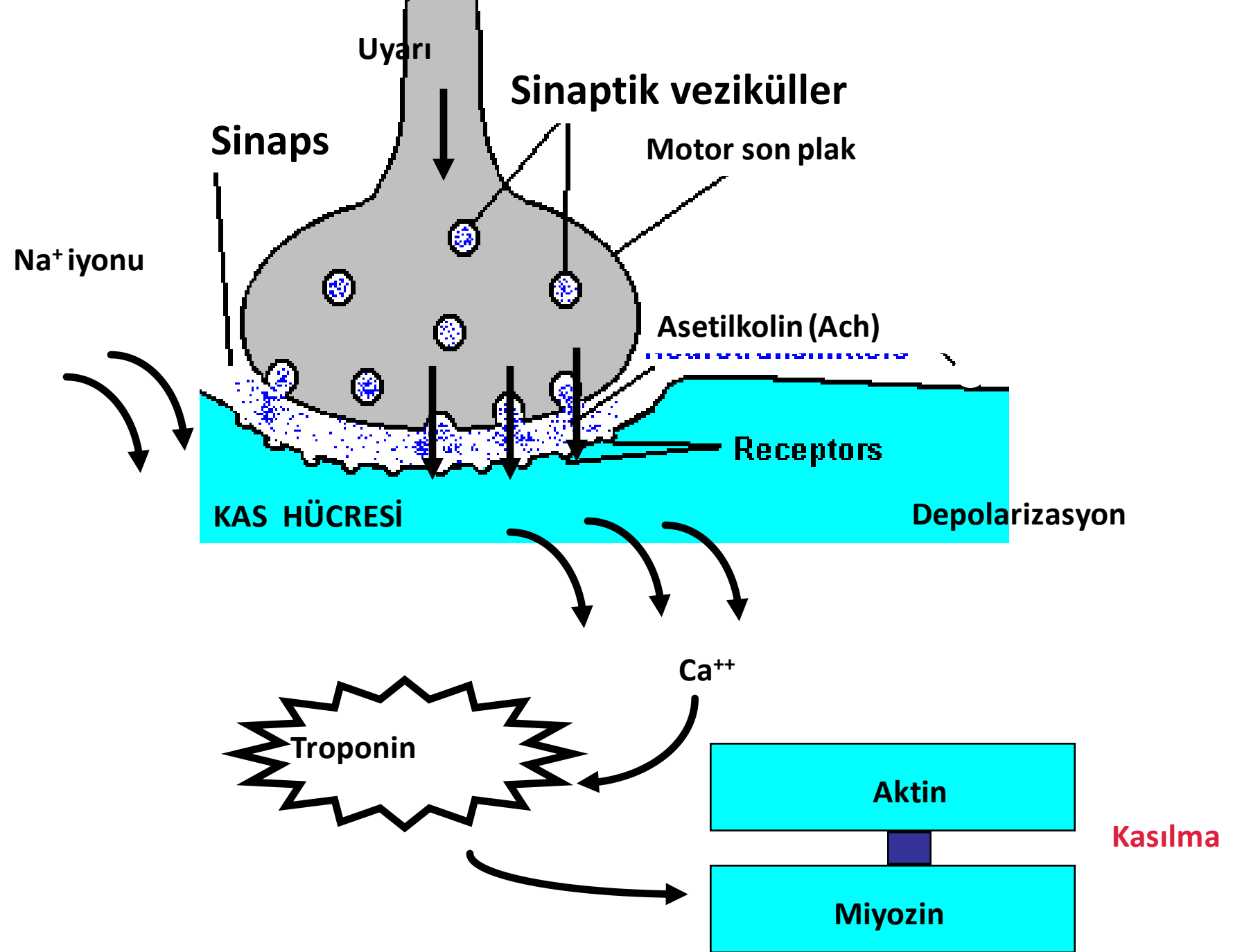


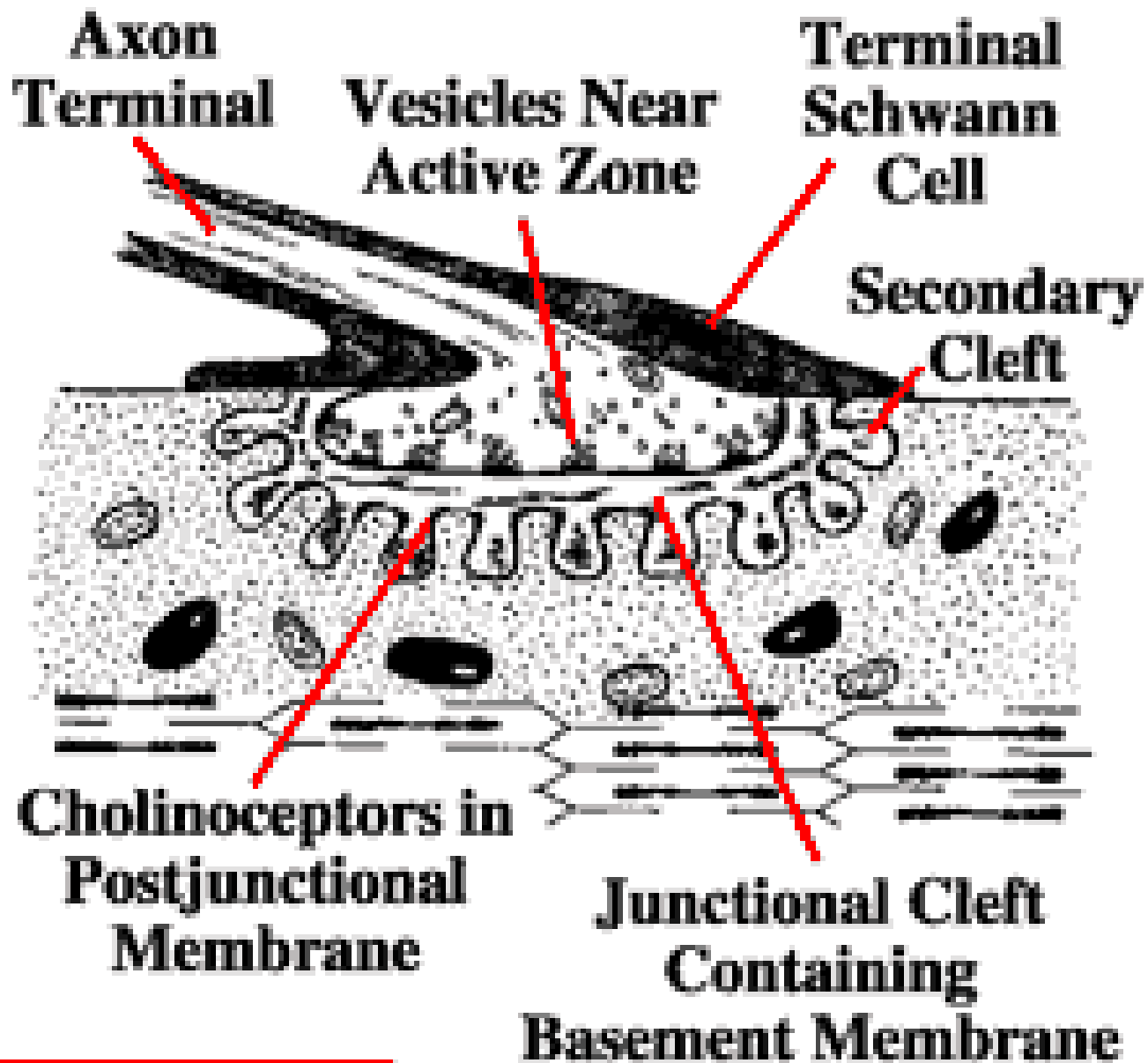
① Nicotinic acetylcholine receptor

② Skeletal muscle voltage-gated sodium channel

③ Transverse tubule voltage-gated calcium channel

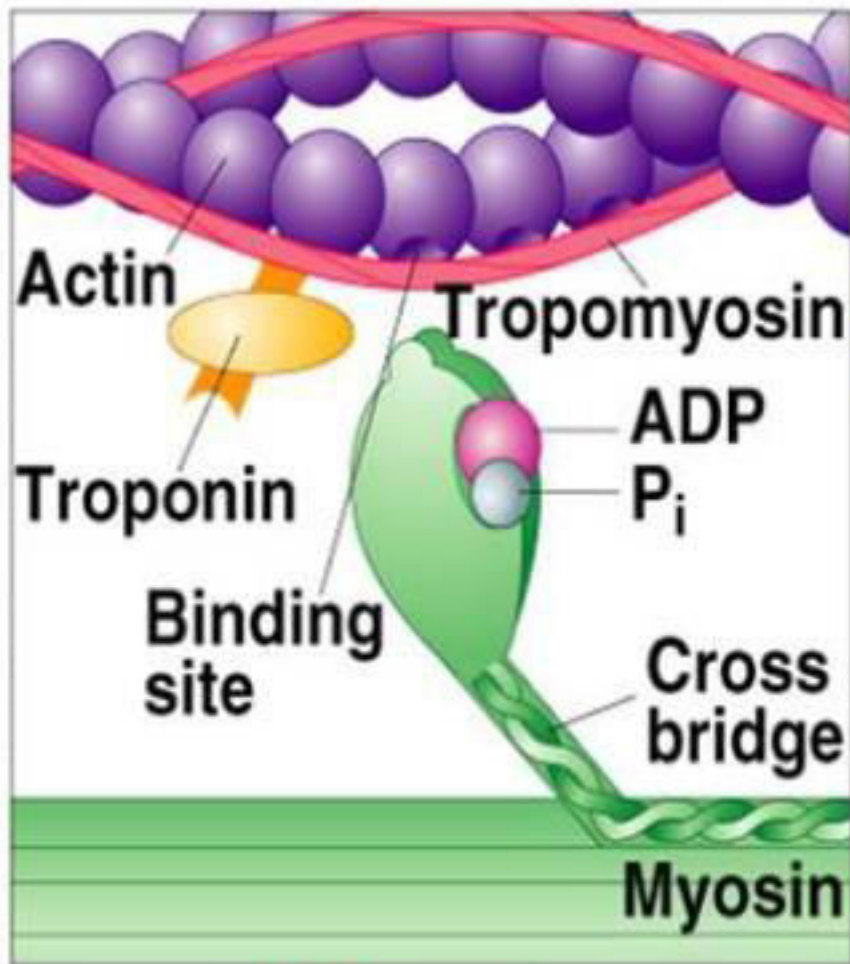
④ Sarcoplasmic reticulum calcium release channel



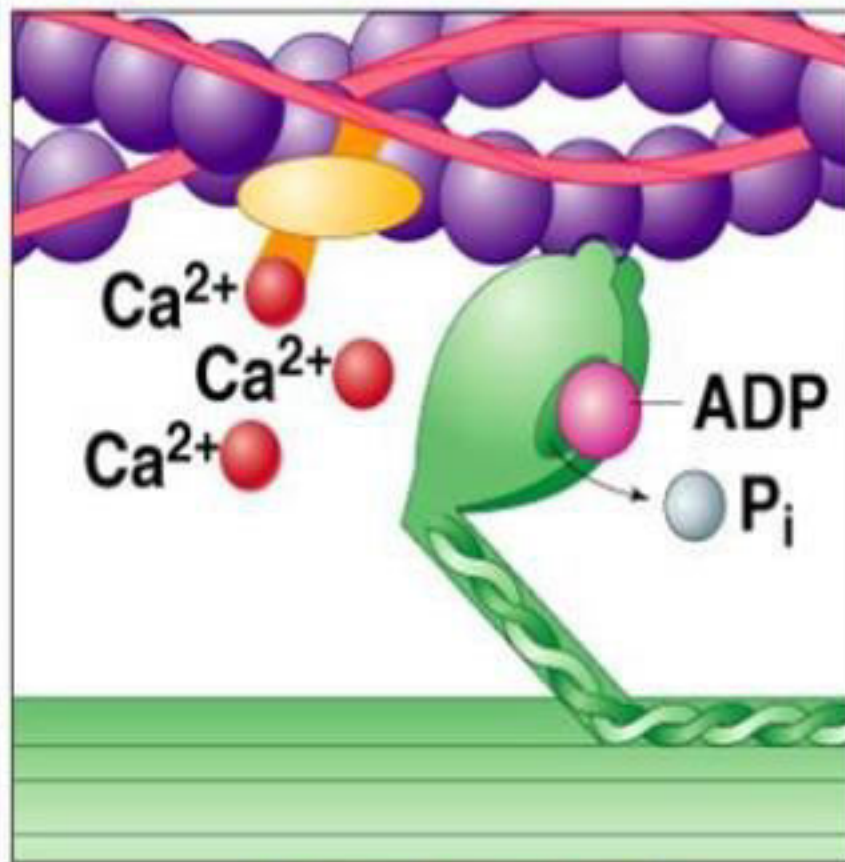


**Figure 1**





Relaxed muscle

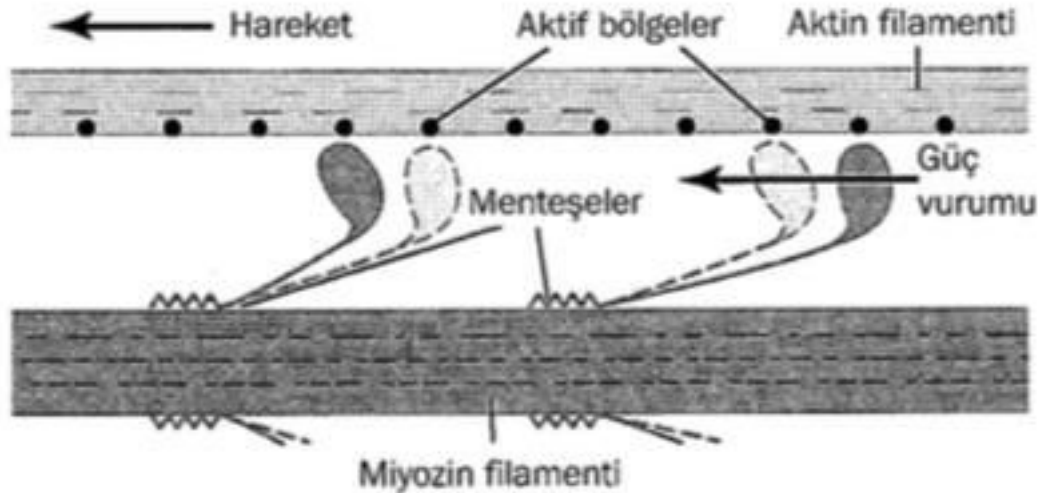


Contracting muscle



# Kas kasılması

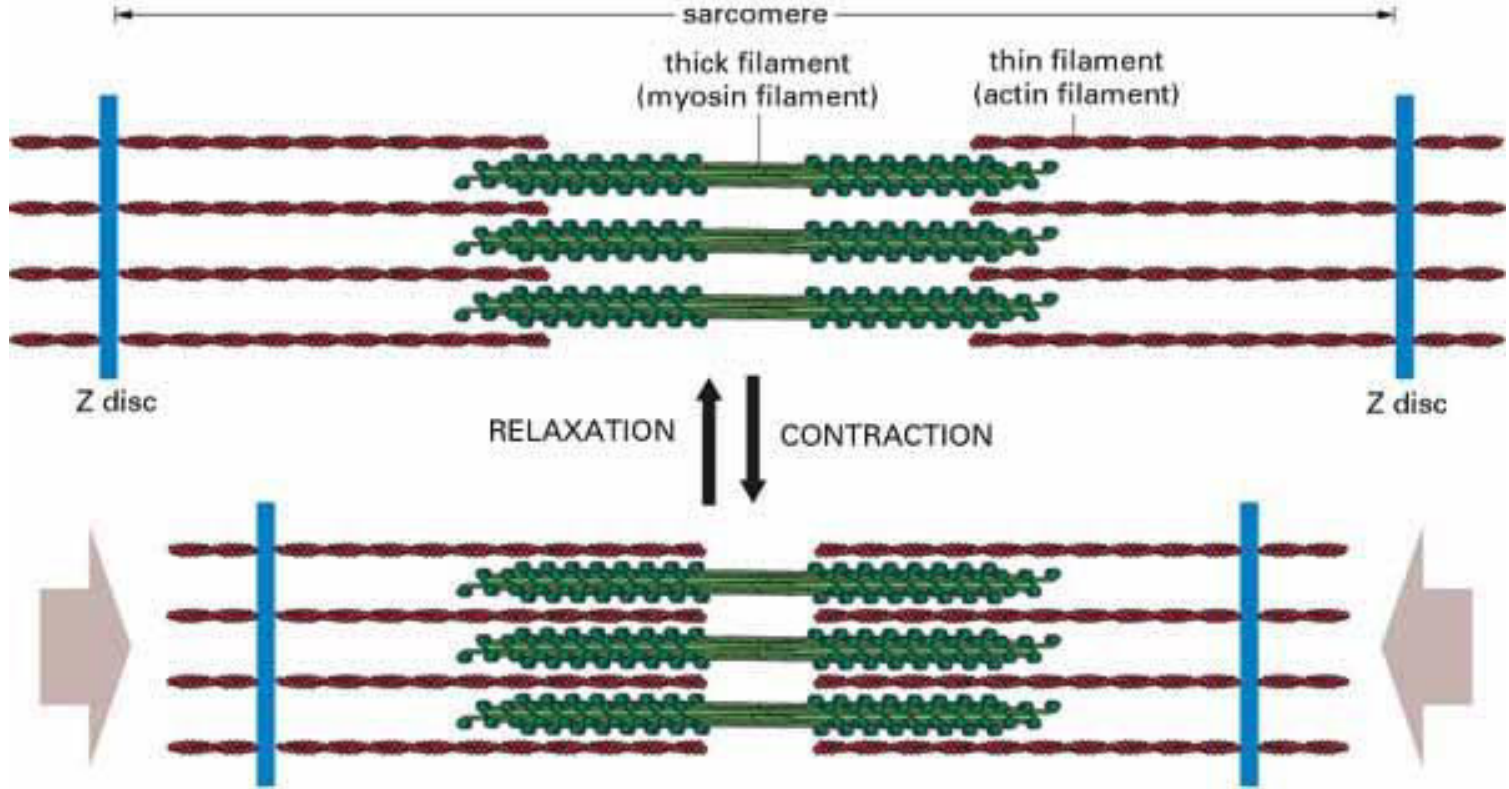
- Kas kasılmasında aktin ile miyozin filamentlerinin etkileşimi ile aktin filamentleri ortaya doğru çekilir.
- Aktin ile miyozin arasında **aktomyozin köprücükleri** kurulur.



SEKİL 6.7

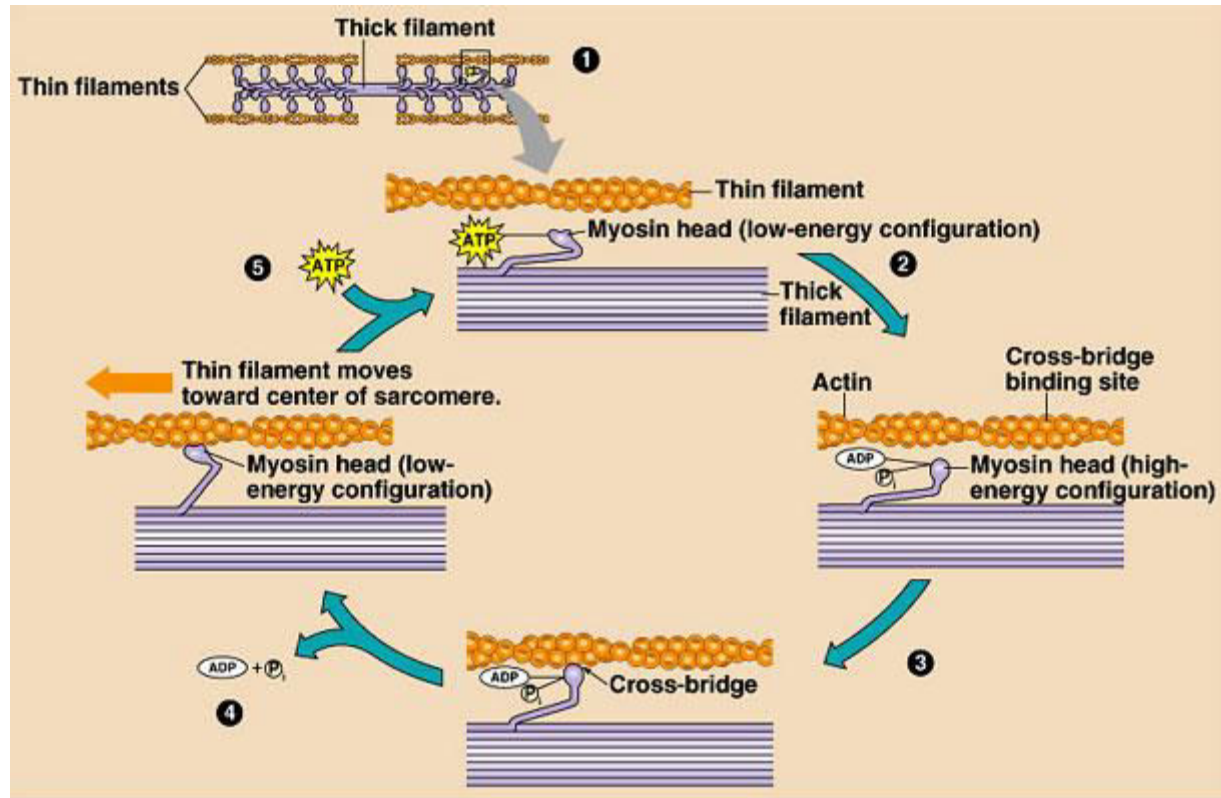
Kas kasılmasında "boyunca yürüme" mekanizması.

- Kas kasılması I bandının A bandı arasında diğer bir deyişle ince filamentlerin kalın filamentler arasına girerek/kayarak olduğu açıklanır.
- Buna kas kasılmasında **kayan filamentler\*** teorisi denir.



# Kas kasılması ve gevşemesi

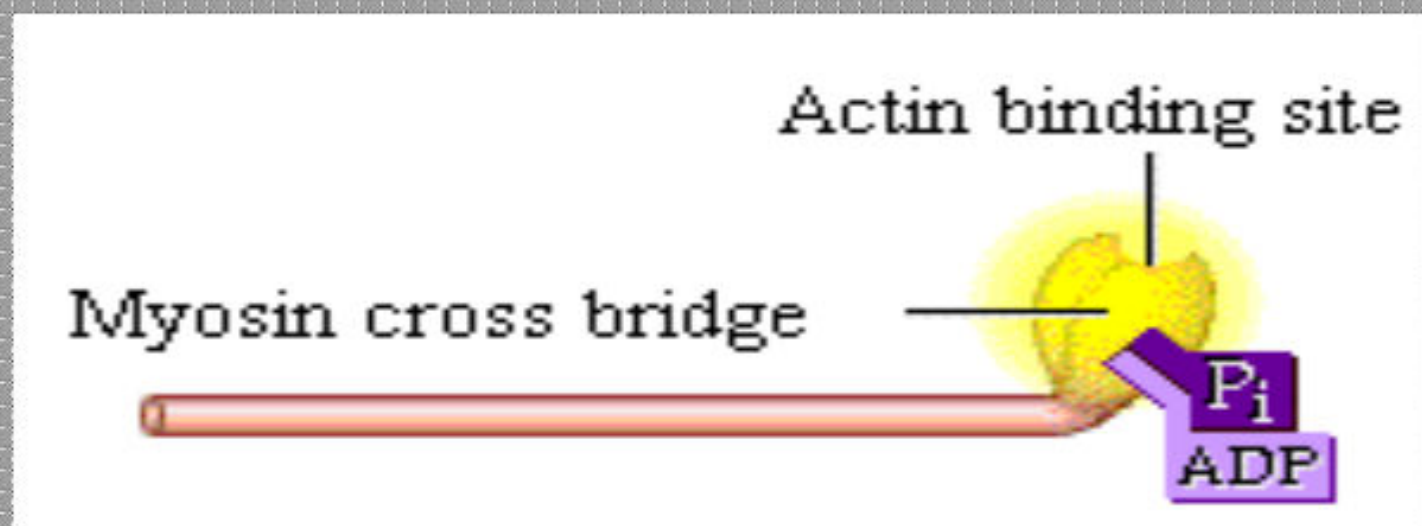
- Kas kasılma-gevşemesi, miyozinin globuler baş kısmının aktine yapışması ve ayrılması suretiyle gerçekleşir. ADP ve Pi içeren miyozin başı, aktine bağlanarak **aktin·miyozin·ADP·Pi** kompleksini oluşturur.





## Kontraksiyon için enerji gereklidir.

- ATP (adenozin trifosfat)'in yüksek enerjili bağlarının parçalanarak ADP'a yıkılması sırasında açığa çıkan enerji kullanılır.



- Dinlenimde miyozin ile aktin arasında herhangi bir etkileşim yoktur.
- Kasa uyarı gelmesiyle hücre içine kalsiyum girişi artar.
- Kalsiyum troponin C ile birleşir ve aktin üzerinde troponin tropomiyozin kompleksinin kapattığı etkin noktalar açılır.
- Miyozin başları aktine bağlanır, akto-miyozin çapraz köprüleri kurulur.

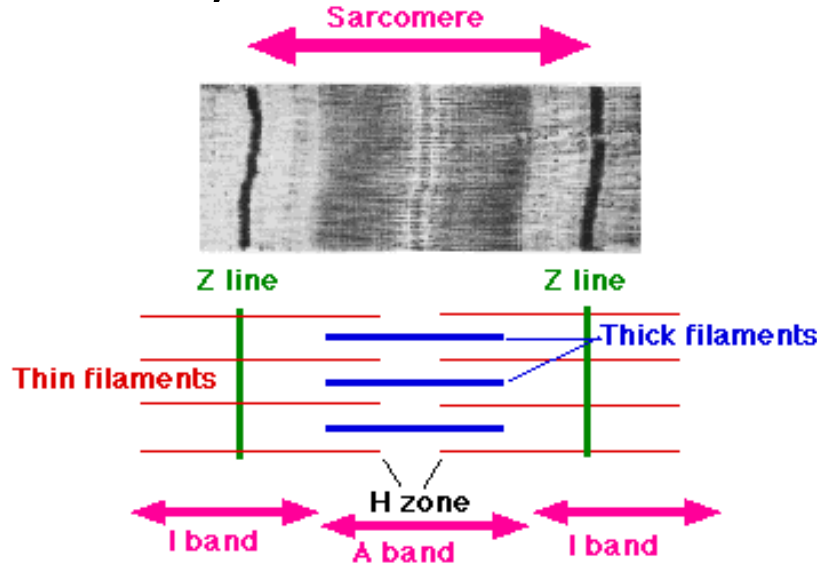
- Miyozin\*\* başındaki ATP az enzimi ATP yi parçalar, açığa çıkan enerji miyozin başlarında bükülmeye yol açar ve ince filamentler ortaya çekilir.
- ATP yeniden sentezlenir ve miyozin başı yeni bir etkin noktaya bağlanır ve kıvrılır.
- Gevşemede sürecinde ise, hücre içindeki kalsiyum aktif transport ile sarkoplazmik retikuluma geri pompalanır, Ca-Mg ATP az enzimi bu olayı düzenler (ATP harcanır).
- Etkin noktalar kapanır, çapraz köprücükler çözülür ve kas gevşer.



*Aktinin miyozin üzerinde kayması ile kas kasılması gerçekleşir.  
Gerekli enerji ATP 'den sağlanır.*

Kas kasılırken;

- Sarkomer kısalır
- A bandı değişmez
- I ve H bantları daralır
- Filamentlerin (aktin, miyozin) boyu değişmez
- Kas liflerinin boyu kısalır.



# DÜZ KASLAR

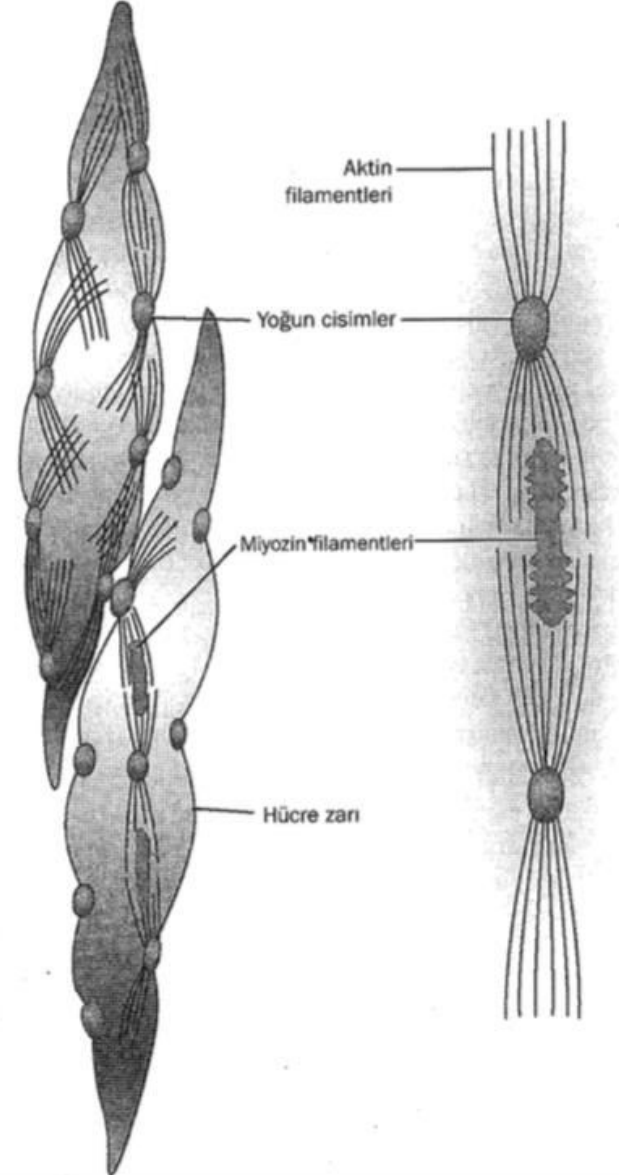
- İskelet kasındaki kasılma ilkelerinin çoğu düz kaslara da uygulanabilir.
- Düz kasta da aktin ve miyozin arasındaki aynı çekici güçler kasılmayı sağlar.
- Düz kas liflerin de aktin ve miyozin ipliklerinin düzenlenmesi iskelet kasından tamamen farklıdır.
- 20-500 mikrometre boyunda **küçük liflerden** oluşur.
- Aksine iskelet kası liflerinin çapı 30 kat fazla ve boyu yüzlerce kat uzundur.

# DÜZ KASLAR

- İç organlar (barsak duvarı, safra kanalı, mesane, uterus) ve damar çeperlerinde bulunur.
- **İstemsiz\*** çalışırlar.
- **Merkezi çekirdekli mekik şeklindeki hücrelerdir.**
- **T tubul yoktur\***, küçük oldukları için T tubullerine ihtiyaç yoktur.
- T tubul yerine **kaveol\*** içerirler.
- Düz kasta kaveoller membran potansiyel değişikliklerinin olmasıyla birlikte, hücre dışından hücre içine Ca geçişi olur, aktin miyozin üzerinde kayarak kasılma meydana gelir.
- **Düz kaslar minimal enerji tüketimi ile yavaş ve uzun süre kasılır\*.**
- İnnervasyonları **otonom sinirlerle\*** sağlanır.

# DÜZ KASLAR

- İskelet kaslarındaki gibi **aktin ve miyozin filamentleri** arasındaki çizgili dizilenme gözlenmez\*\*.
- Aktin ve miyozin filamanları sarkomerler içinde organize olmamıştır, hücrenin her tarafına yayılmıştır\*\*.
- Düz kaslarda **troponin bulunmaz\*\***.
- Kasılmanın kontrol mekanizması farklıdır.
- Çok sayıda aktin\*\*
- Yoğun cisimler
- Yoğun cisimlerin bazıları hücre membranına tutunmuş, diğerleri hücre içine dağılmıştır.
- Kasılmanın gücü bu bağlarla bir hücreden diğerine geçmektedir.
- Az sayıda miyozin\*\*



# DÜZ KASLARIN KASILMASI

- Düz kasta da kasılma için gerekli olan uyarılar kalsiyum iyonlarını artırır.
- **Troponin bulunmadığı için farklı bir mekanizma ile uyarılırlar\*\*\*.**
- **Kalmodulin\*\*** proteini içerir.
- Uyarı gerçekleşti.
- Ca artışıyla birlikte Ca iyonları kalmoduline bağlanır.
- **Ca iskelet kasındaki kaynak olan SR'den değil de ekstraselüler sıvıdan kas hücresi içerisine girer.**
- Bu kompleks miyozin kinaz denilen enzimle birleşerek onu aktive eder.
- Miyozin kinaz enzimi miyozin başının hafif zincirlerinden birini fosforile eder.
- Fosforilasyon sonrasında miyozinin baş kısmı aktinle birleşir.
- Bu bağlanma sonrası kasılma gerçekleşir.

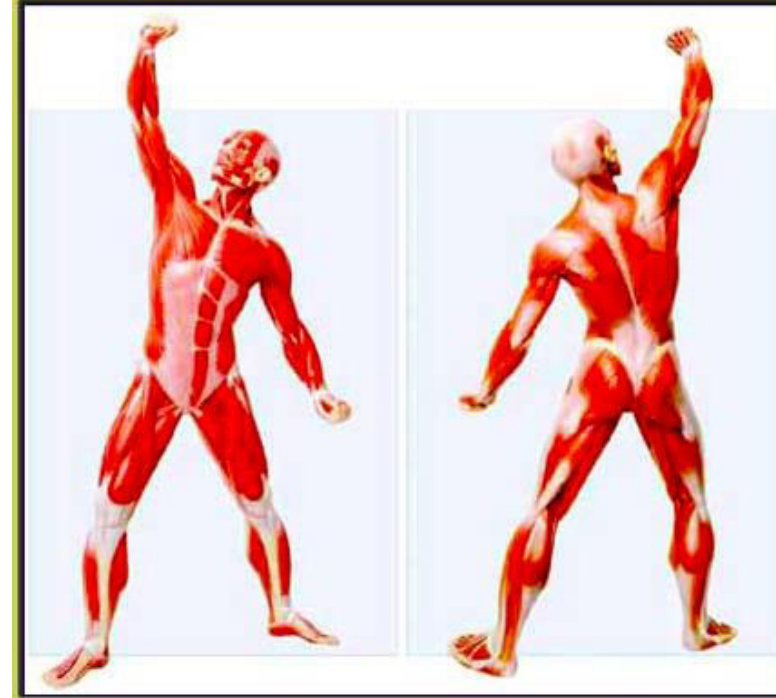


# DÜZ KASLARIN UYARIMI

- Düz kasların uyarımı sinir sinyalleri,
  - Hormonal (vücutta kanla dolaşan anjiyotensin, vazopressin, oksitosin, serotonin, histamin vb)
  - Kasın gerilmesi
  - Çeşitli diğer yollar ile gerçekleşir.
- 
- Sinir sinyalleri ile uyarı; otonom sinir sistemi
  - **Transmitter maddeler asetilkolin ve norepinefrin**
  - Her 2 transmitter madde aynı anda salınmaz.
  - Biri uyarıcı diğeri inhibitör görevi görür.

# Kas liflerinin tipleri

- Kaslar farklı metabolik ve fonksiyonel özelliklere sahip kas liflerinin bir araya gelmesiyle oluşmuştur.
- Kasların hepsi aerobik ve anaerobik metabolizma özelliklerine sahip olsalar da bazı kas lifleri ve o liflerin bulunduğu kaslarda metabolik özelliklerin birisi daha gelişmiştir (aerobik yada anaerobik).
- Bu nedenle;
- Aerobik metabolik özelliği yüksek liflere Tip I, **kırmızı yada yavaş kasılan kas lifleri**, (bol mitokondrileri vardır, çap olarak küçüktürler ve yorgunluğa dirençlidirler.).
- Anaerobik metabolik özellikleri yüksek olan liflere de Tip II, **beyaz yada hızlı kasılan kas lifleri** denir (daha az mitokondri bulundururlar, çapları geniştir, hızlı kasılırlar, hareketten sorumludurlar).
- **Ara lifler**; kırmızı ve beyaz lifler arasında bir özellik gösterirler.



# Kaynaklar

- *Arthur C. Guyton, John E. Hall, Medical Physiology, 11th edition*
- *Elaine N. Marieb, Human Anatomy & Physiology, Global Edition 10th Edition*
- *Vander İnsan Fizyolojisi 13. Baskı, 2013*