

KAS FİZYOLOJİSİ

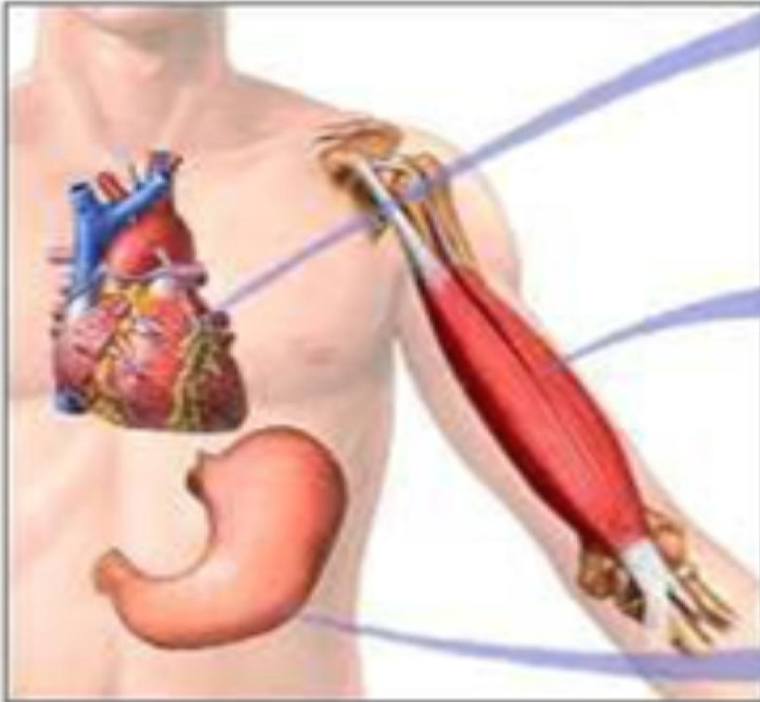
Yrd. Doç.Dr. Aslı AYKAÇ
YDU Tıp Fakültesi
Biyofizik AD

Kas Doku

Vücut ağırlığının yarısı



Üç tip kas vardır:



Kalp kası



İskelet kası



Düz kas

<i>İskelet kası</i>	<i>Kalp kası</i>	<i>Düz kaslar</i>
İstemli kontrol	İstemsiz kontrol	İstemsiz kontrol
Çizgili görünüm	Çizgili görünüm	Çizgisiz görünüm
Çok çekirdekli hücreler	Tek çekirdekli hücreler	Tek çekirdekli hücreler

Kasların Ortak Özellikleri

- Uyarılabilme
- İletibilme
- Kasılabilme
- Elastik olma
- Vizkozite

Kasın Biyokimyasal Yapısı

≈ %72-78' i su

≈ %3 lipid,

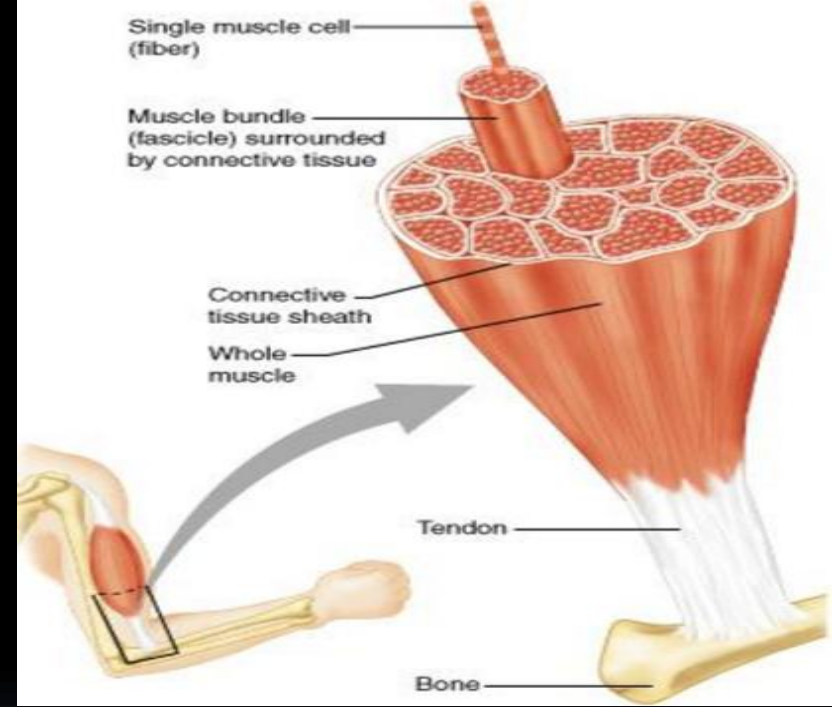
≈ %1 glikojen,

≈ %19-20 protein

çeşitli enzimler, hormonlar,
vitaminler ve inorganik tuzlar da
bulunur

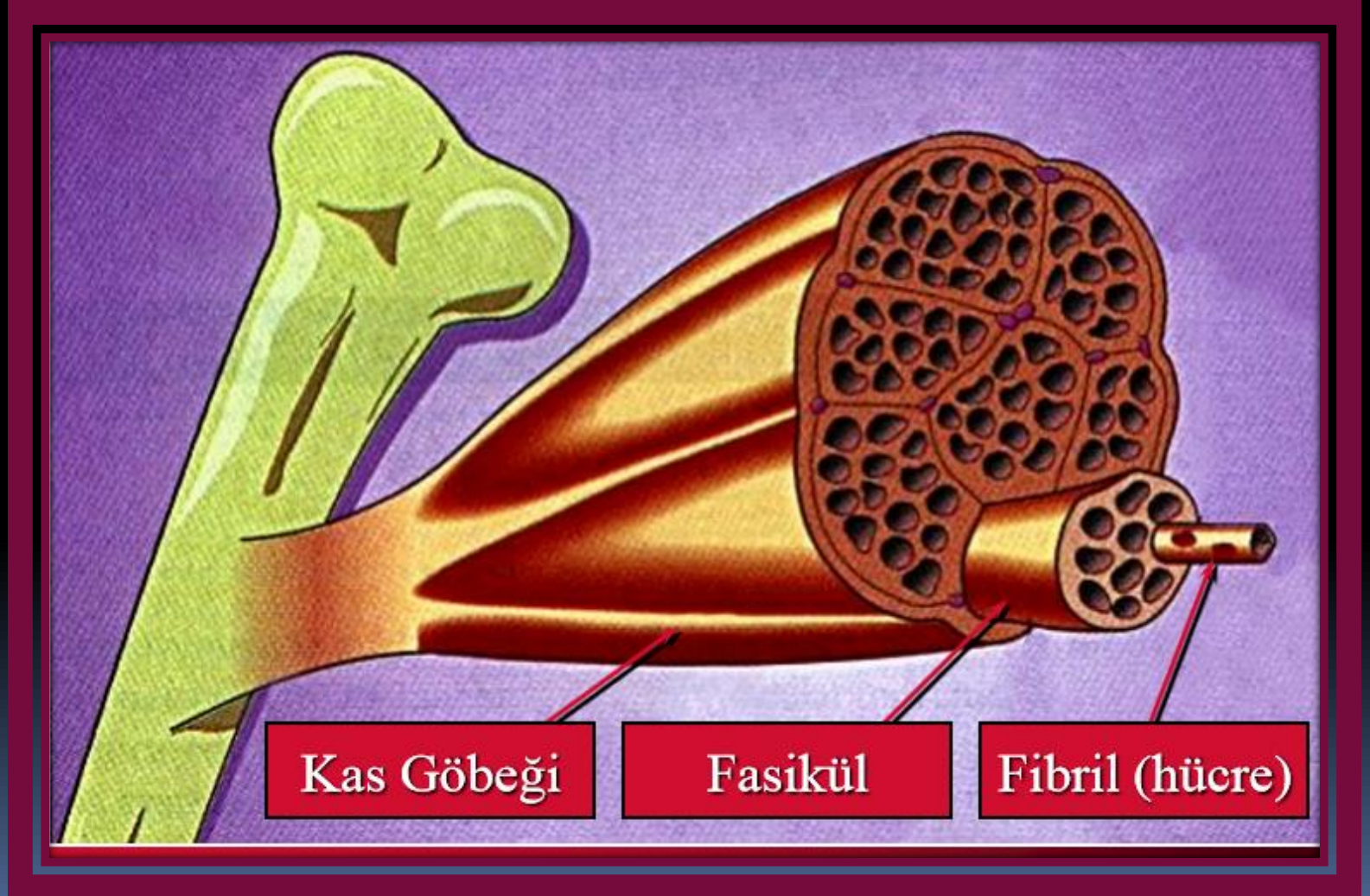
İskelet Kası (Çizgili Kaslar)

- Kas hücrelerine **kas fibrili (lifi)** denir.
- Birden fazla kas lifinin oluşturduğu demetlere **fasikül** denir.
- Her bir kas lifi çok sayıda çekirdek içerir.



Kas göbeği → fasikül → kas fibrili

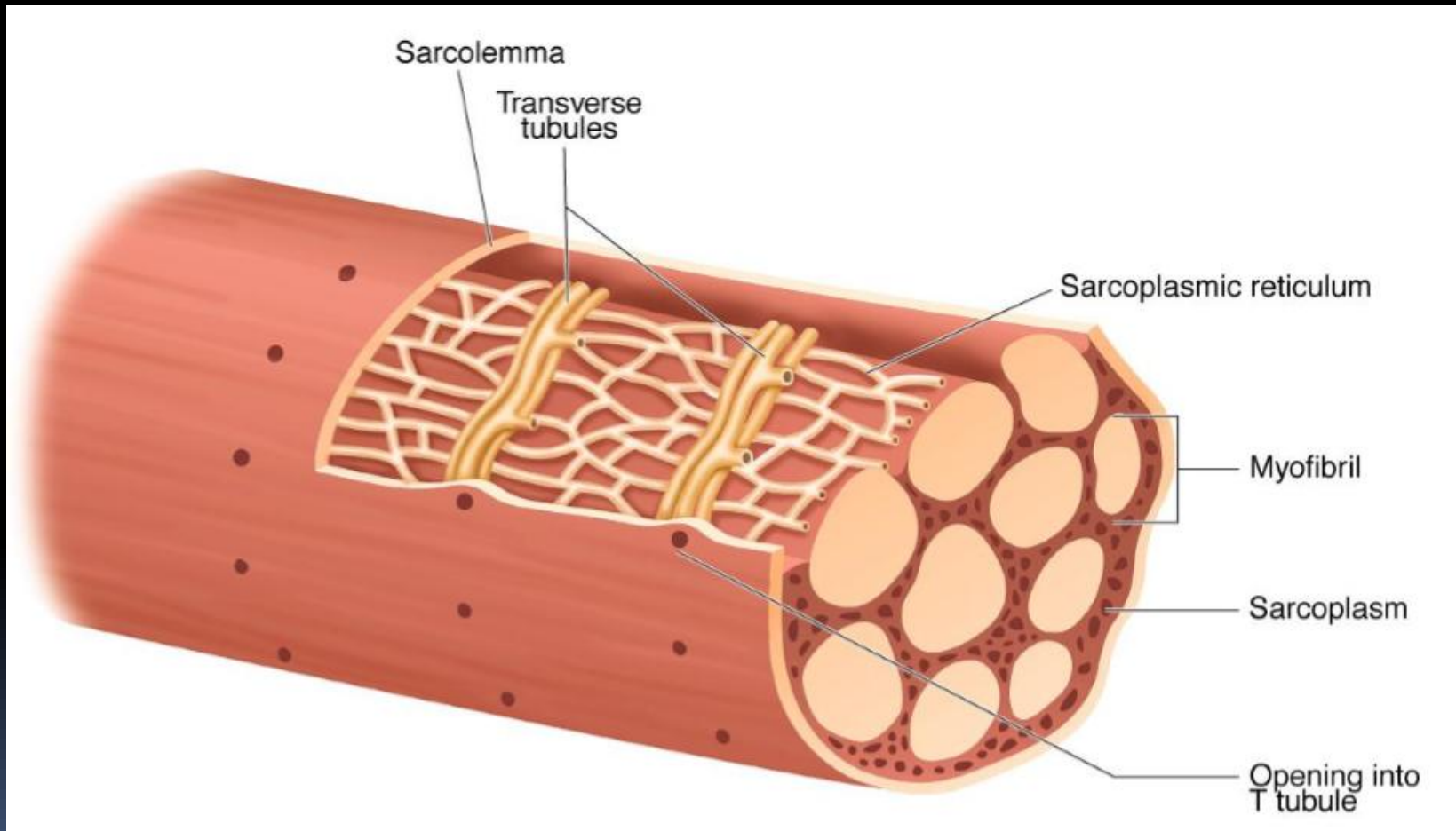
İskelet Kasının Yapısı



Tek bir kas fibrili

- Tek bir kas hücresi
- Silindirik yapıda
- 10-80 μm çapında
- Uyarılma ve impuls yayılımını mümkün kılan membran ile çevrili
- Miyofibril demetleri içerir

Kas Fibrili



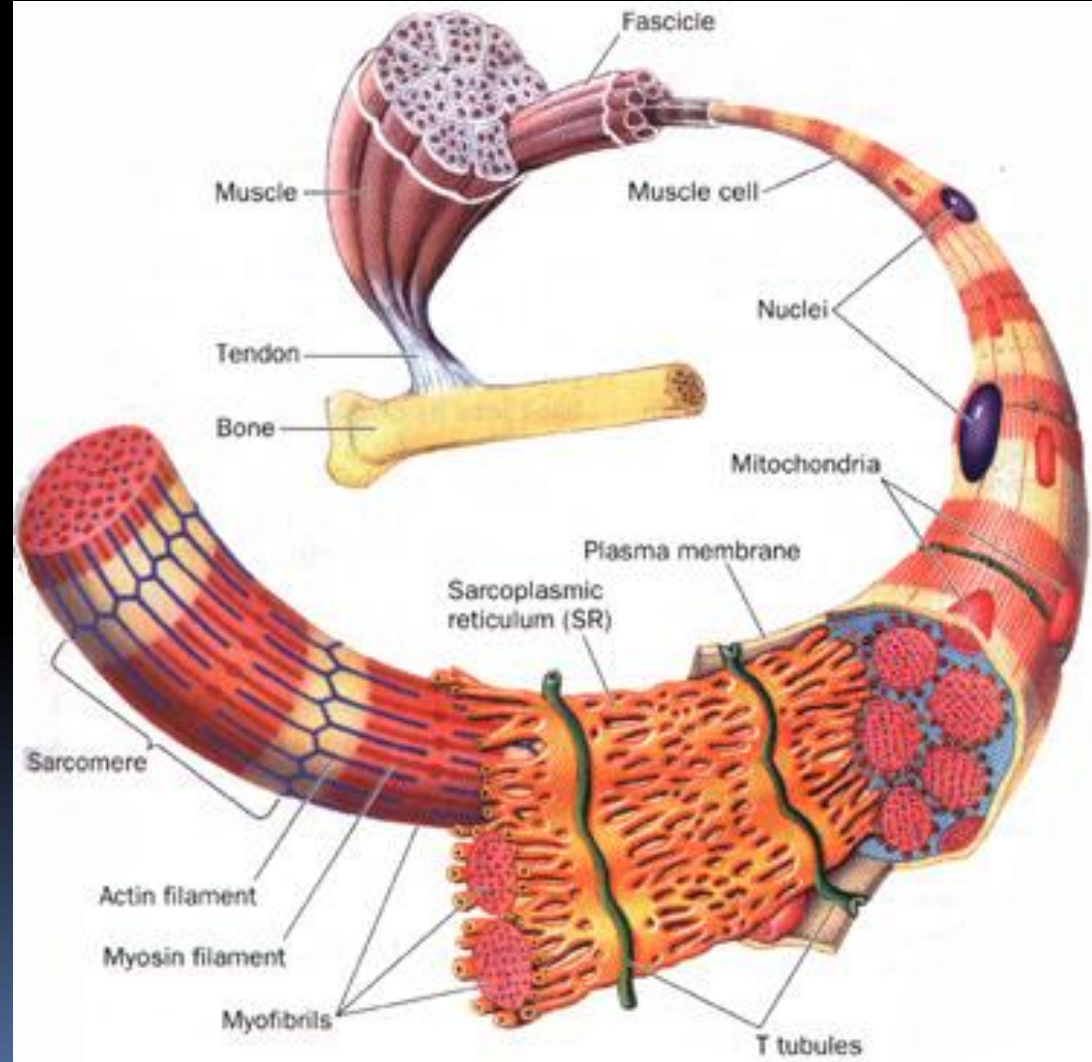
İskelet Kas Fibrilinin Temel Bileşenleri

Sarkolemma

Kas hücresi
membranı (kas
lifi zarı)

Sarkoplazma

Sarkolemmanın
içini dolduran kas
hücresi
sitoplazması

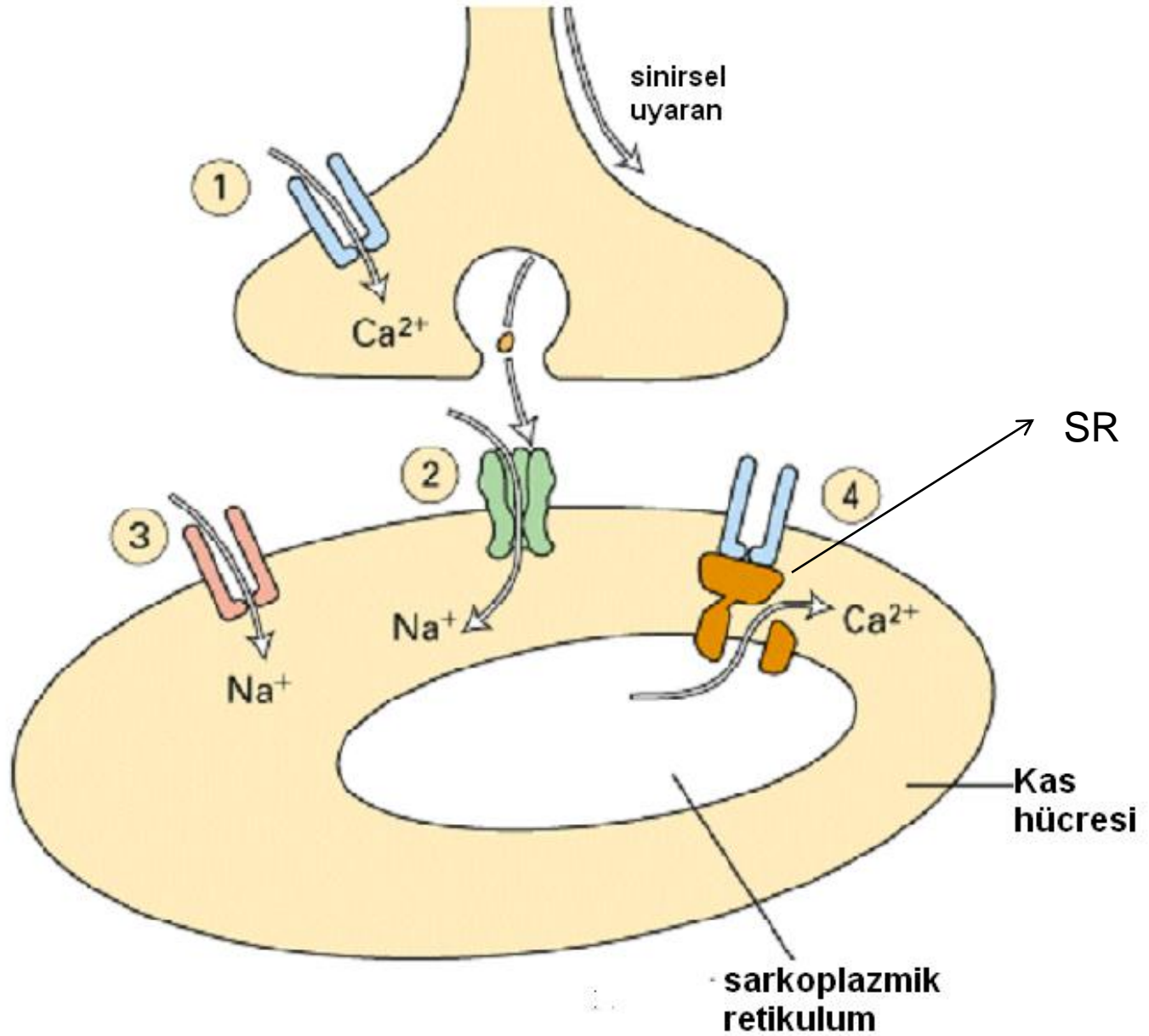


Transvers Tübüller (T-Tübüller)

- Kas içine doğru bükülerek giren ve kasın bir tarafından diğer tarafına doğru enine keserek (transvers) ilerleyen tübüler bir sistemdir.
- *T tübüllerin sağladıkları:*
 - Sinirsel uyarıların,
 - glikozun,
 - O₂'nin
 - iyonların hücre içine daha hızlı girmesini

Sarkolemma ve T tüplerinin görevi

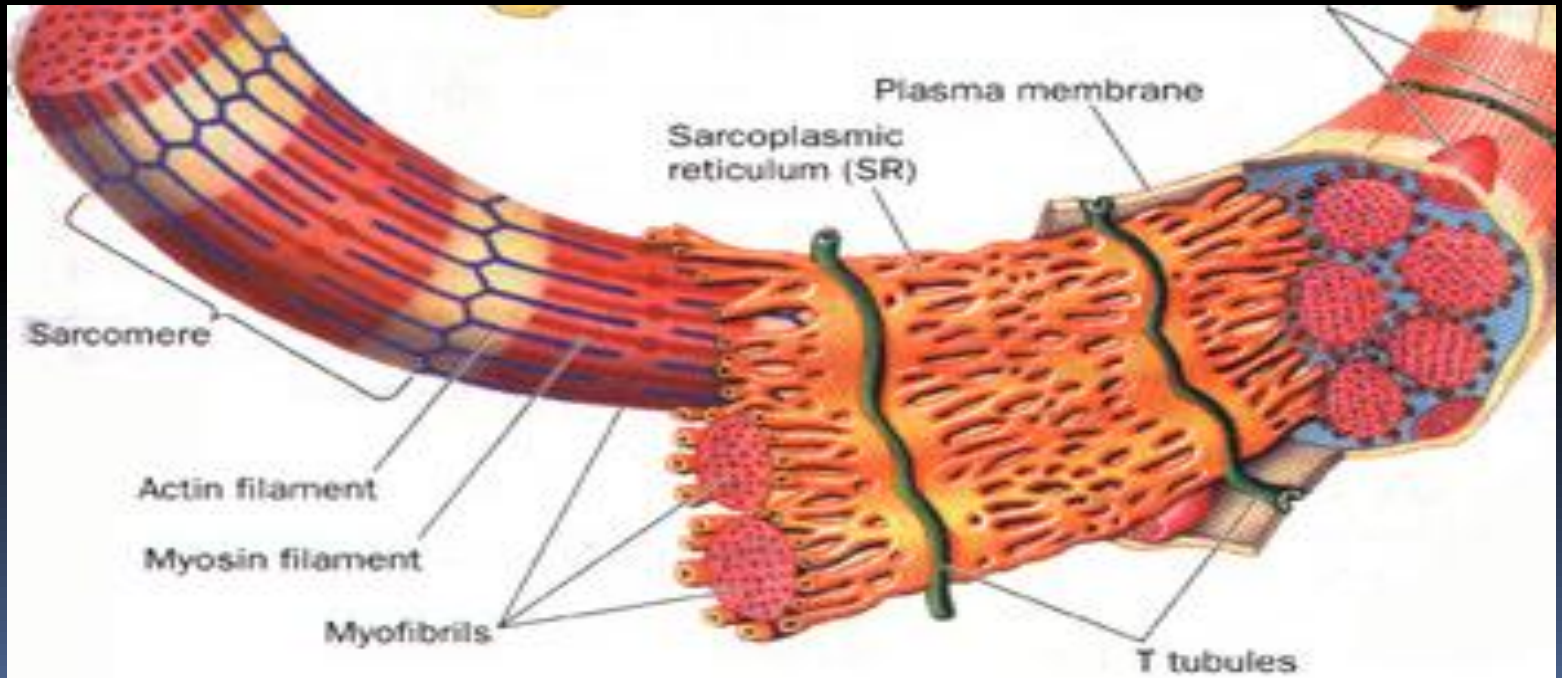
- Sarkolemmada oluşan aksiyon potansiyelini hücre içine ileterek kasılmanın başlamasını sağlamaktır.



Sarkoplazmik Retikulum (SR)

Kas liflerindeki endoplazmik retikulumu

- Ca^{++} alımı
- Ca^{++} düzenlemesi
- Ca^{++} salınımı
- Ca^{++} depolanması



Sarkoplazmik Retikulum (SR)-1

- T-tüpleri ile ilişkili olan bir düz endoplazmik retikulumdur.
- Kas hücresi içinde yaygın bir kanal ağı oluşturur.
- SR' da kasılmayı başlatacak olan Ca^{+2} iyonu depoları vardır.

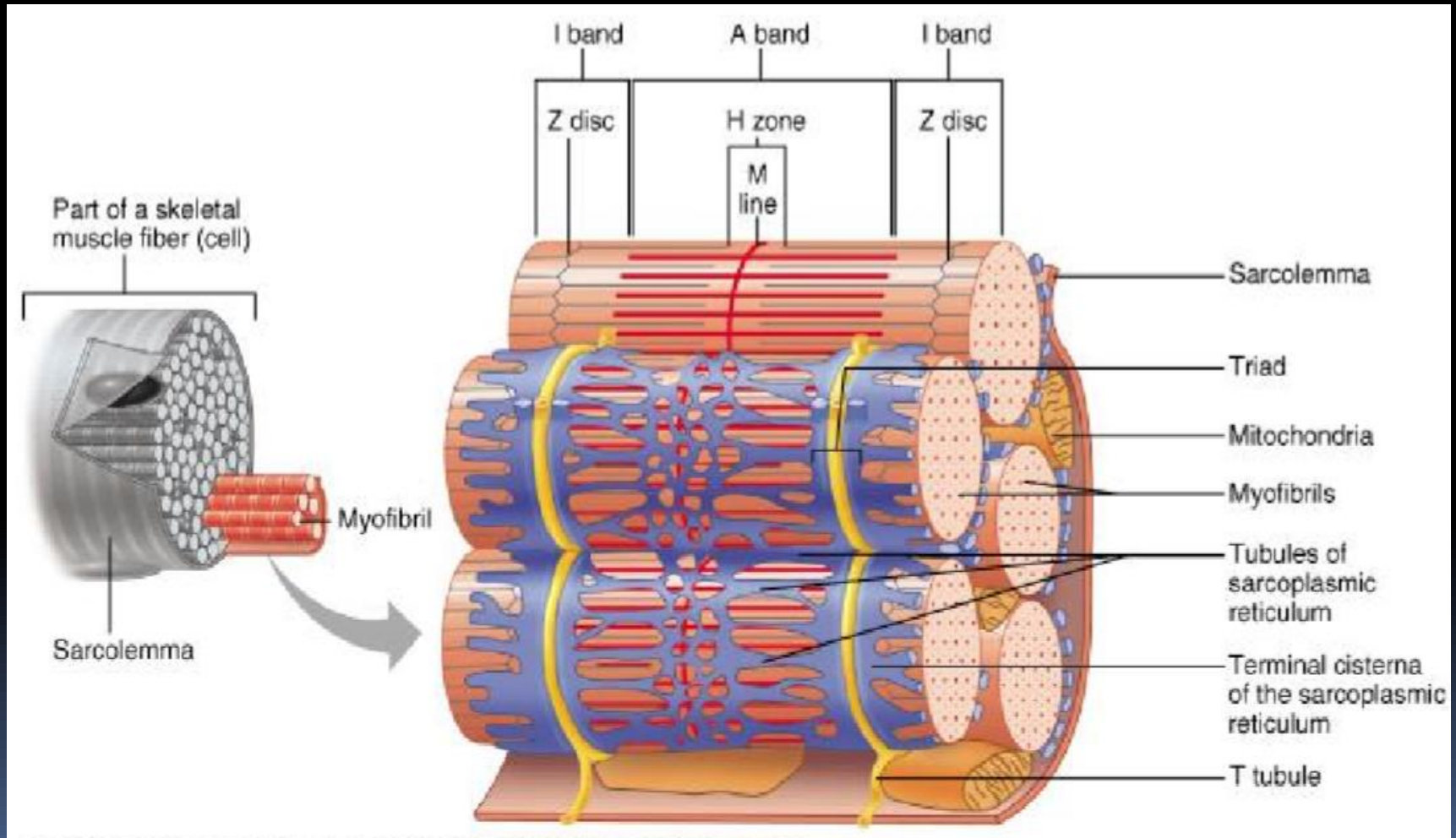
Sarkoplazmik Retikulum (SR)-2

- Kas hücresinde meydana gelen uyarın sarkolemmada her iki yöne doğru yayılır ve T-tüpleri ile hücre içine geçer.
- SR membranından Ca^{+2} ' un sarkoplazmaya salınmasına neden olur.
- Ca^{+2} kasılmayı başlatır.

T-tübül ile SR ilişkisi

- T-tüplerindeki voltaj sensörleri (DHP), aksiyon potansiyeli sarkolemmada yayılırken oluşan elektriksel akımı algılar.
- SR membranında Ryanodin Reseptörü, DHP'den gelen sinyalleri ile açılarak Ca^{+2} salınımına neden olur.
- Ca^{+2} SR'den sarkoplazmaya salınır ve kasılma başlar.

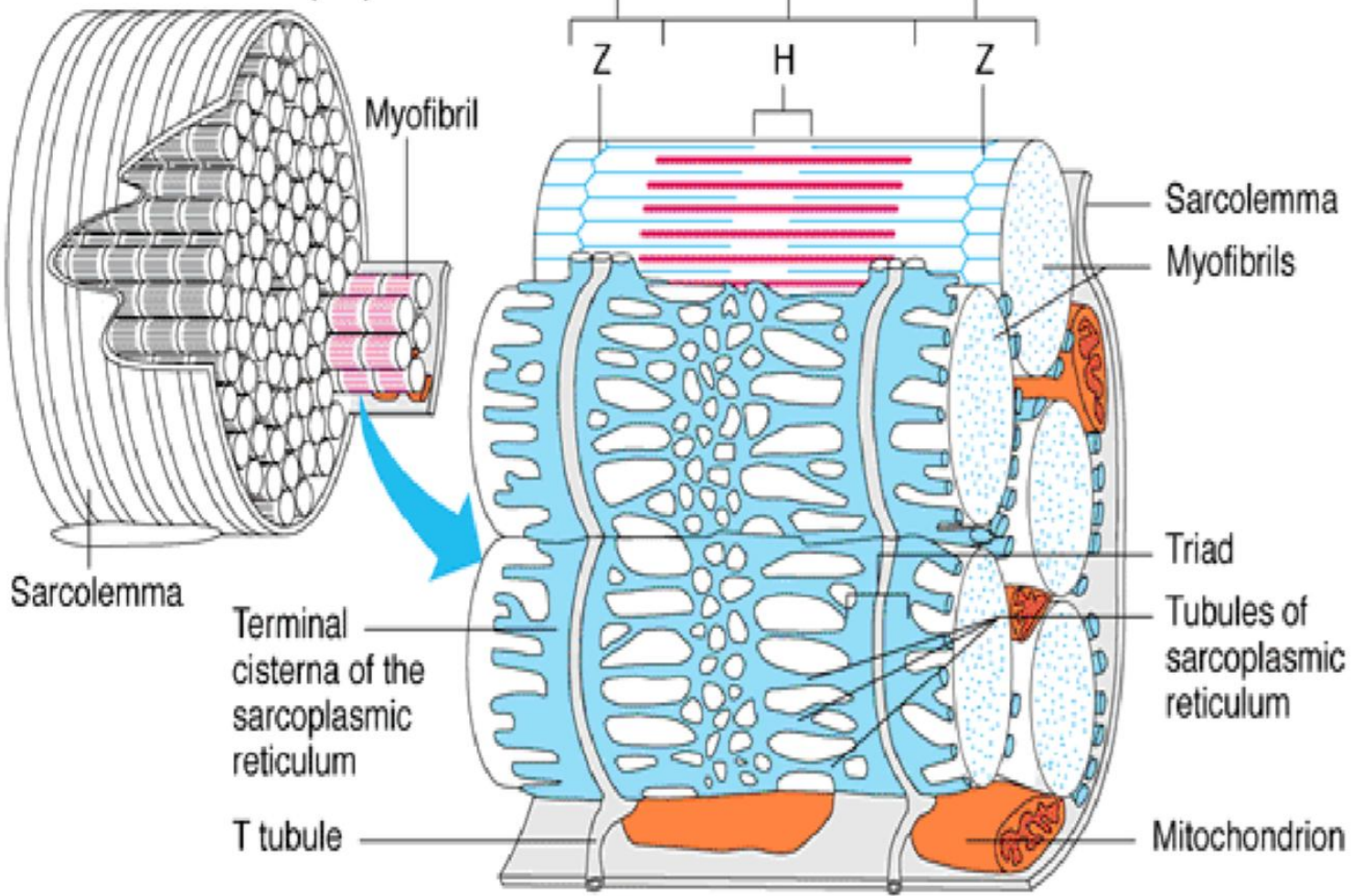
Bir iskelet kasının kısımları



Sarkomer

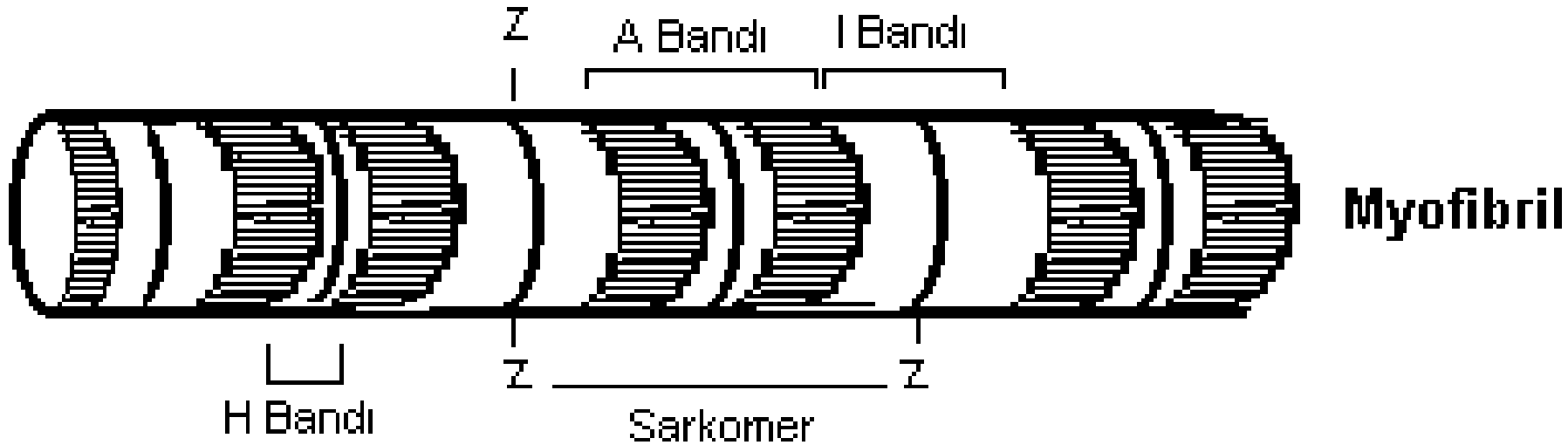
- İskelet kasına çizgili bir görüntü verir
- İşlev gören-Kasılmanın temel birimidir.
- Her miyofibrilde 10 ile 100,000 uç uca dizilmiş sarkomer bulunur.
- Sarkomerin boyu istirahat koşullarında 2 mikron kadardır.

Part of a muscle fiber (cell)



Sarkomer-1

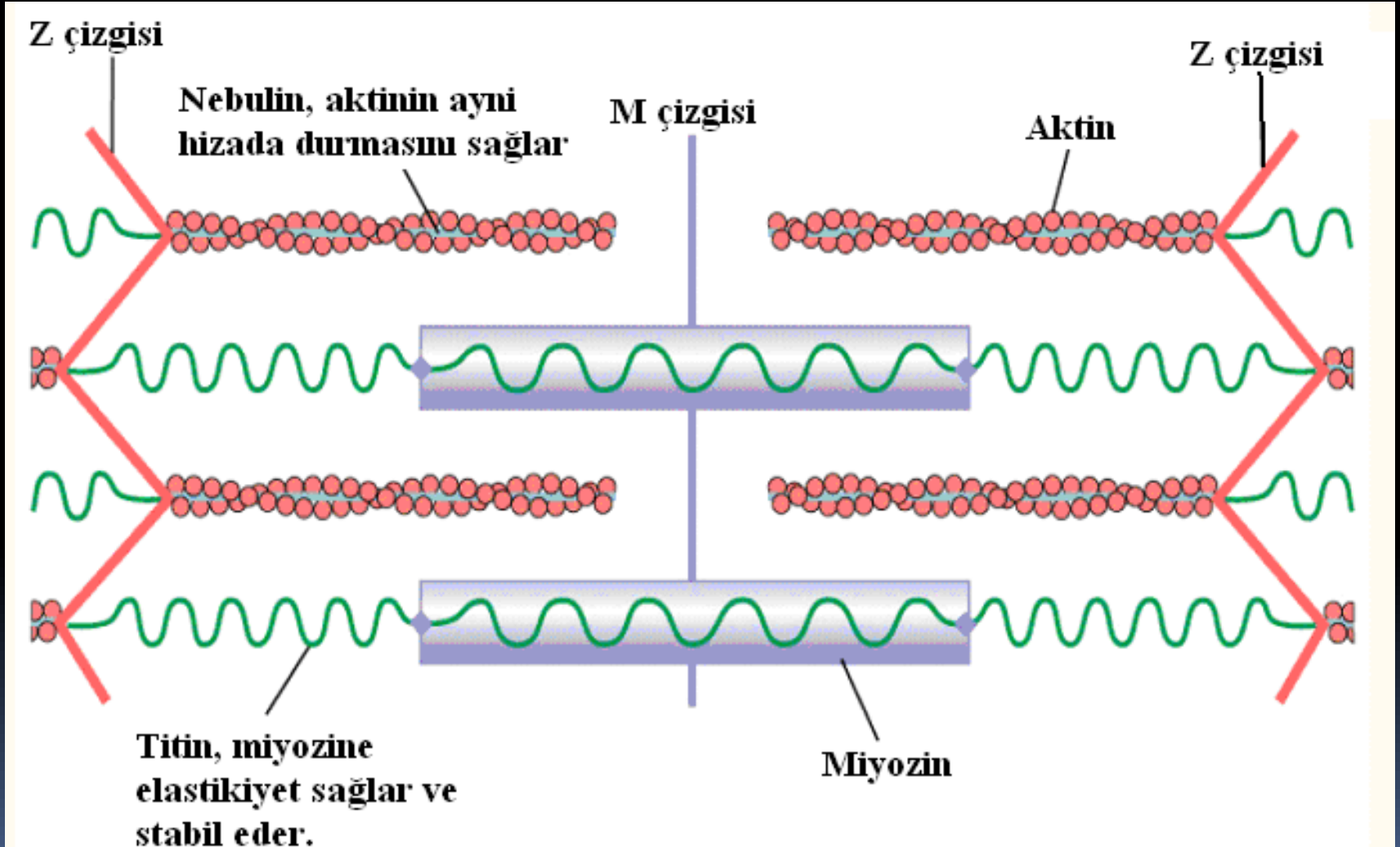
- İki Z diski (çizgisi) arasında kalan kısımdır.
- Sarkomerler Z diskleriyle hem birbirlerine bağlanırlar hem de ayrılırlar.



Sarkomer-2

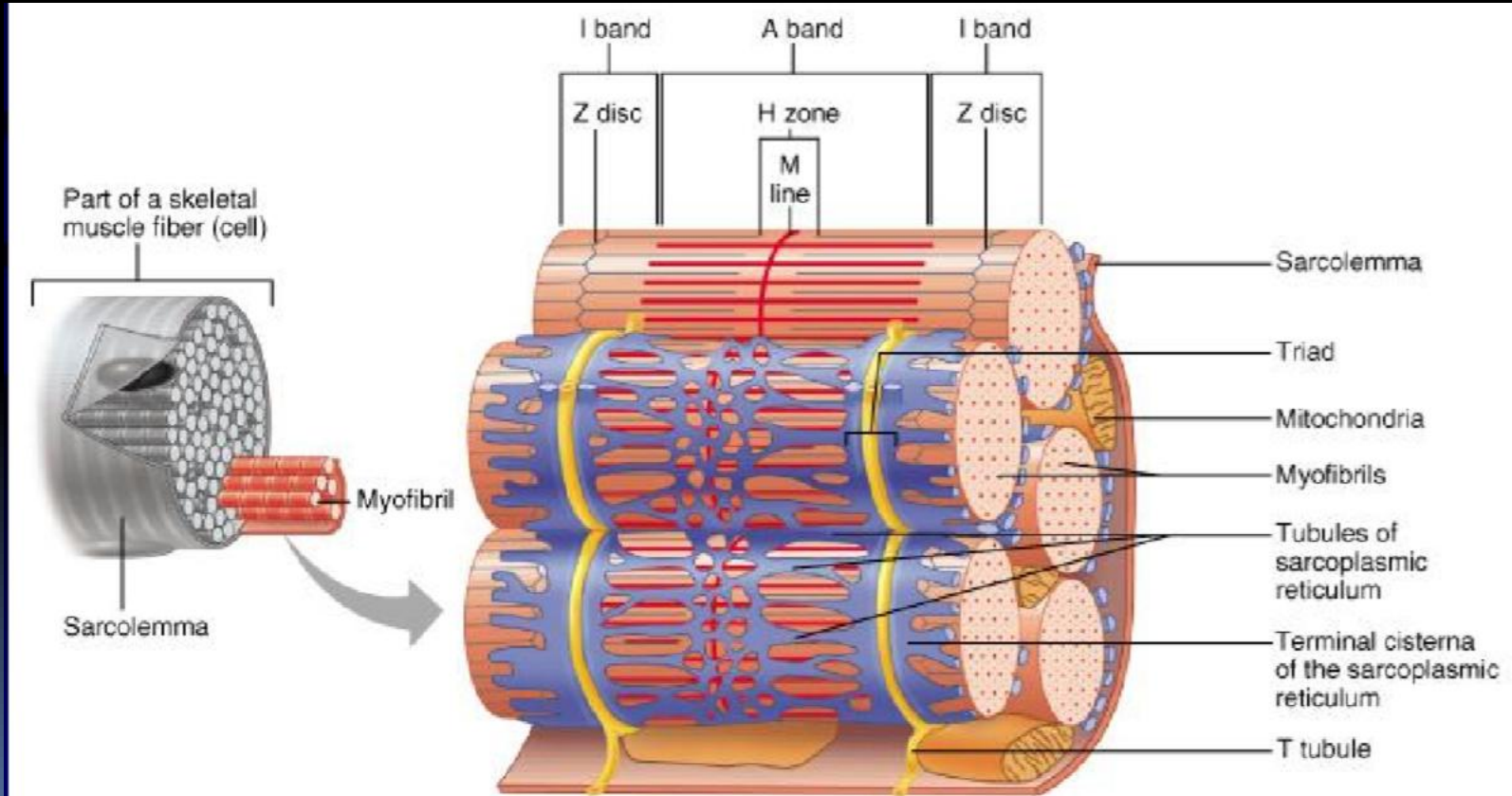
- Sarkomer kontraktıl proteinlerden oluşur
 - Aktin (İnce filamentler)
 - Miyozin (Kalın filamentler)
 - Troponin-tropomiyozin bileşığı (Aktin molekülü üzerinde yer alır)

Sarkomer: Liflerin yapısı



Miyofibril

- Fibrilin kontraktil kısımdır. Her biri çok sayıda sarkomerden oluşur.

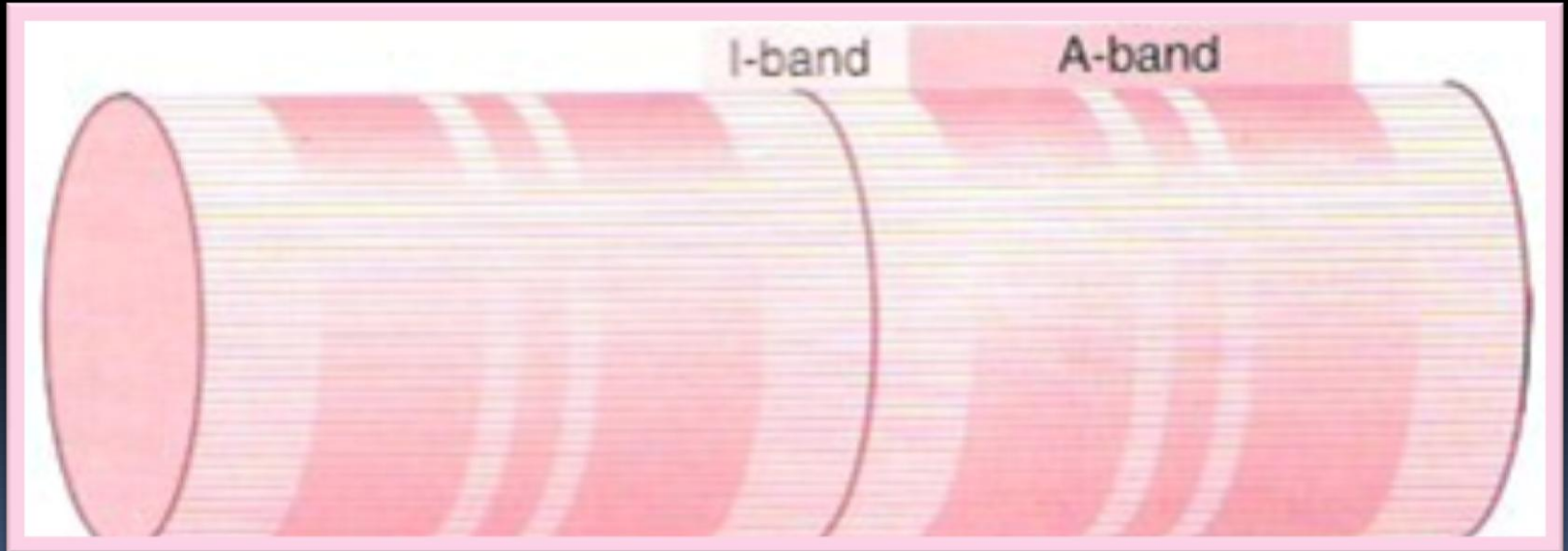


Miyofibriller

- Kas fibrilinin alt birimleridir.
- Herbiri 2 μm çapındadır
- Kas fibrili boyunca uzanır
- Kas hacminin % 80-90'ını oluşturur
- Kas kasılmasının fonksiyonel birimidir
- Her miyofibrilin etrafını sıvı dolu SR çevreler
- Seri olarak birbirlerine bağlı sarkomerlerden oluşur.
- ~1500 miyozin ve ~3000 aktin proteini içerirler

Elektron mikroskobu **miyofibrillerin** boyuna kesitleri incelendiğinde birbiri ardına gelen

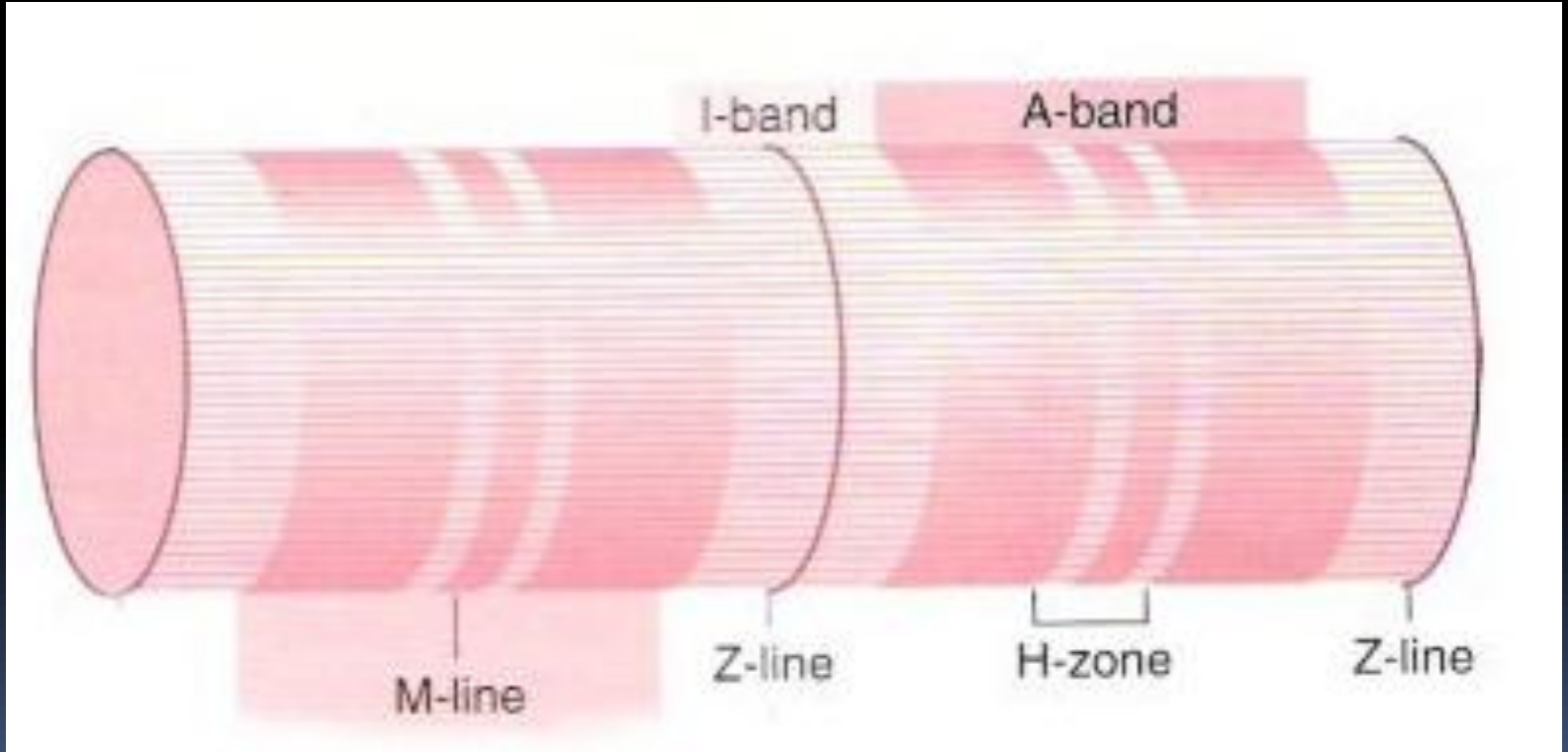
- **koyu bandlar A**
- **açık bandlar I**

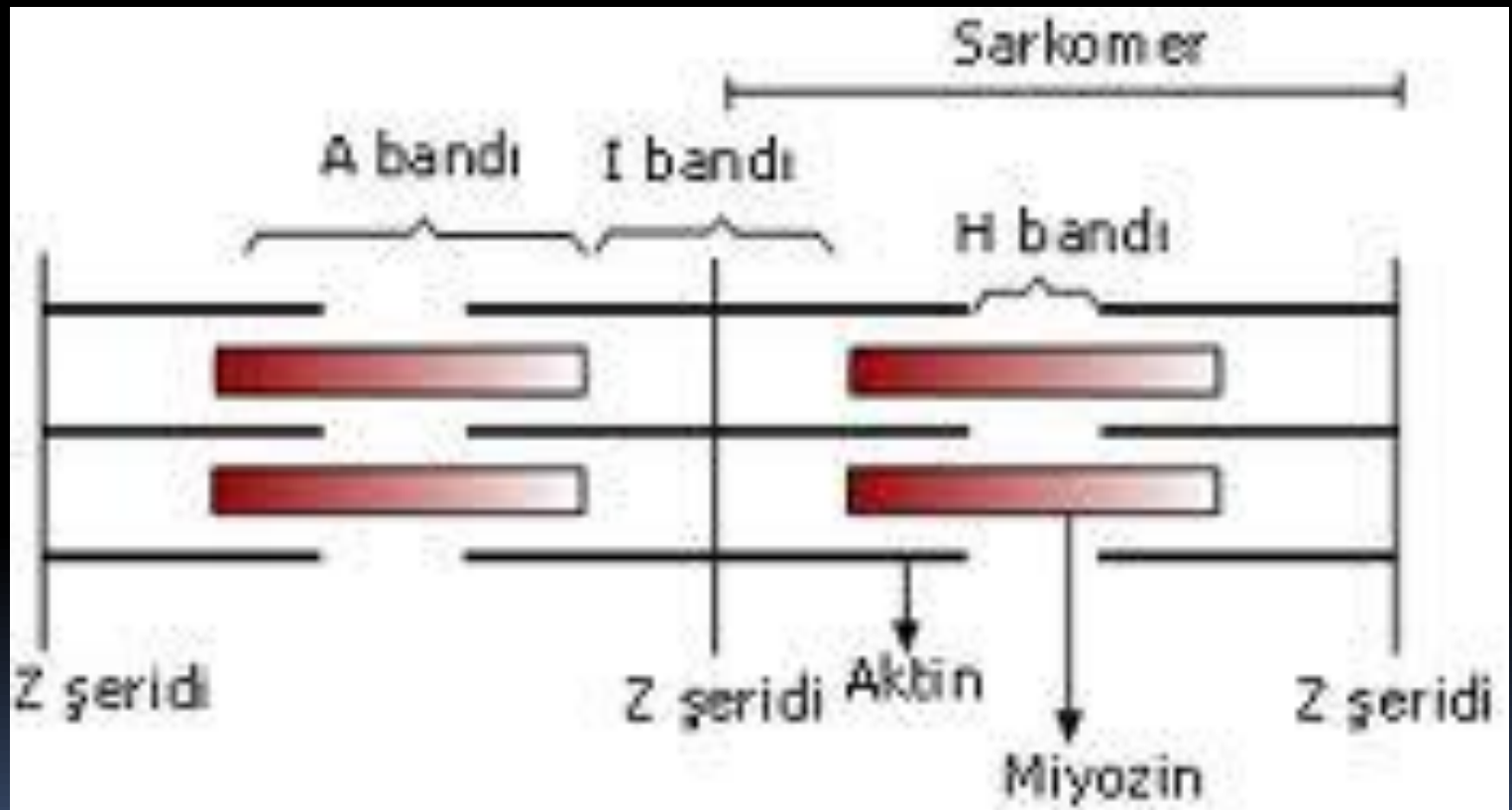


H Bölgesi: A bandının merkezi kısmı (daha az yoğun)

M çizgisi: H bandının ortası

Z çizgisi: I bandının merkezi kısmı (daha çok yoğun)

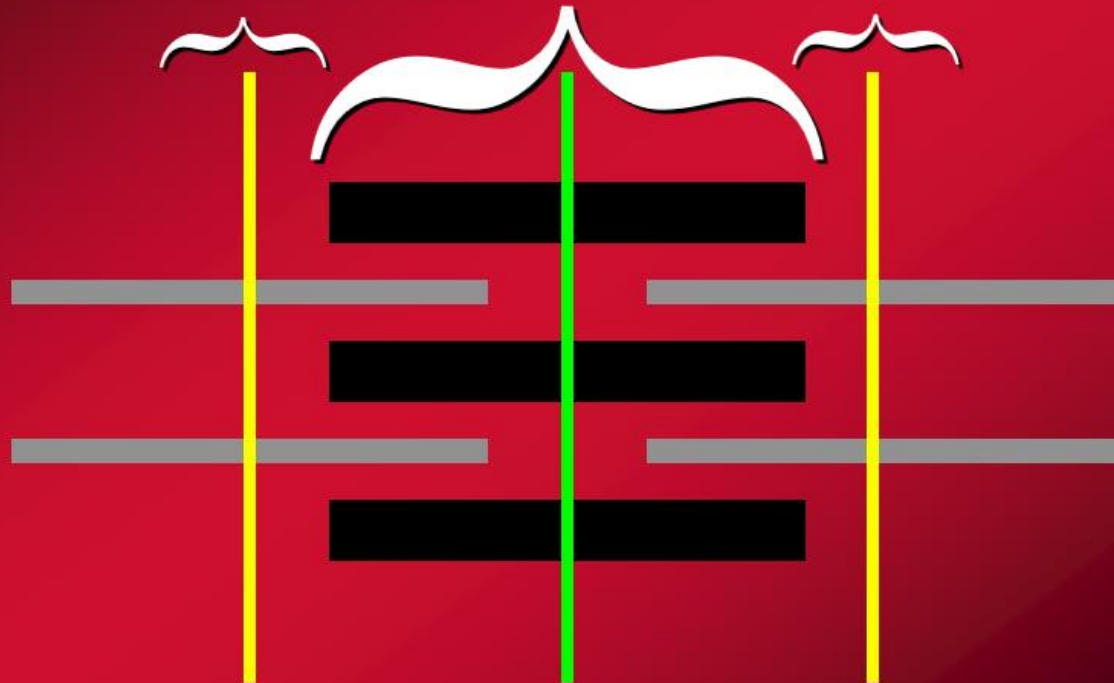




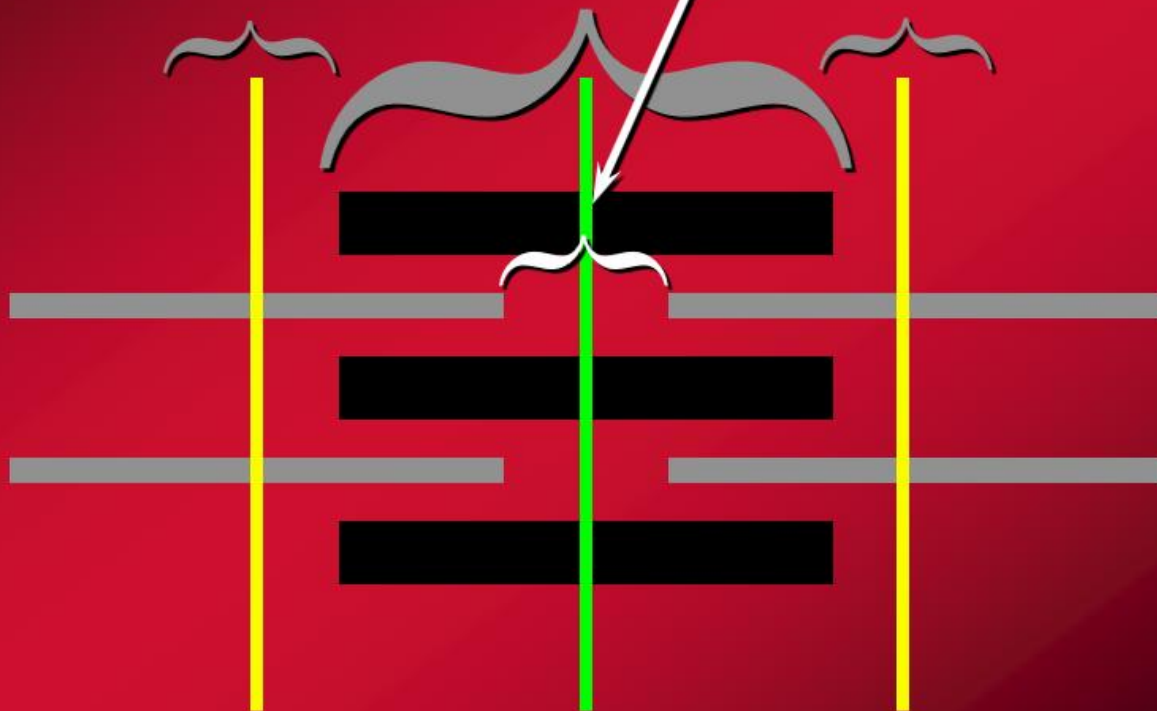
I Bandı

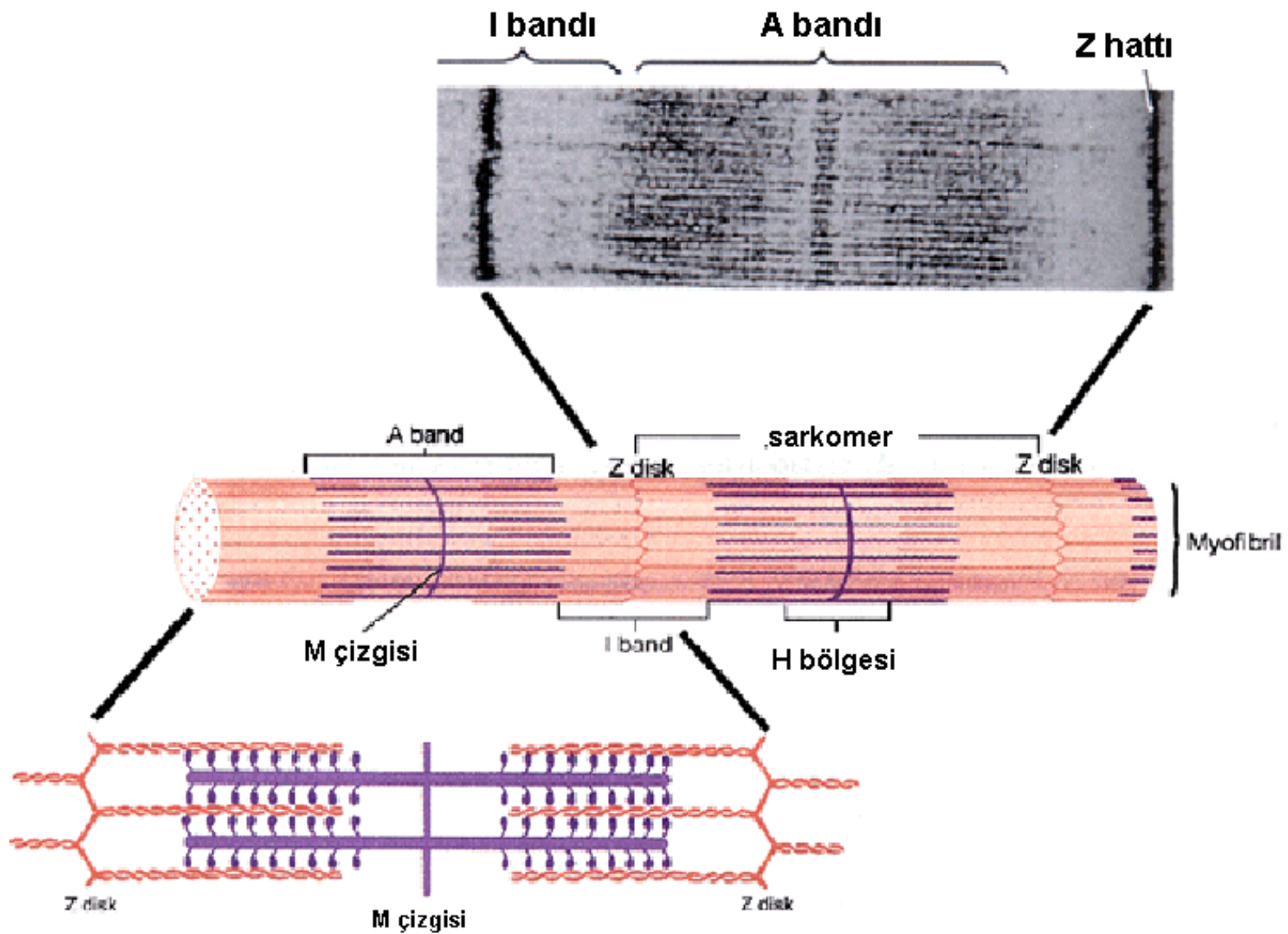
A Bandı

I Bandı

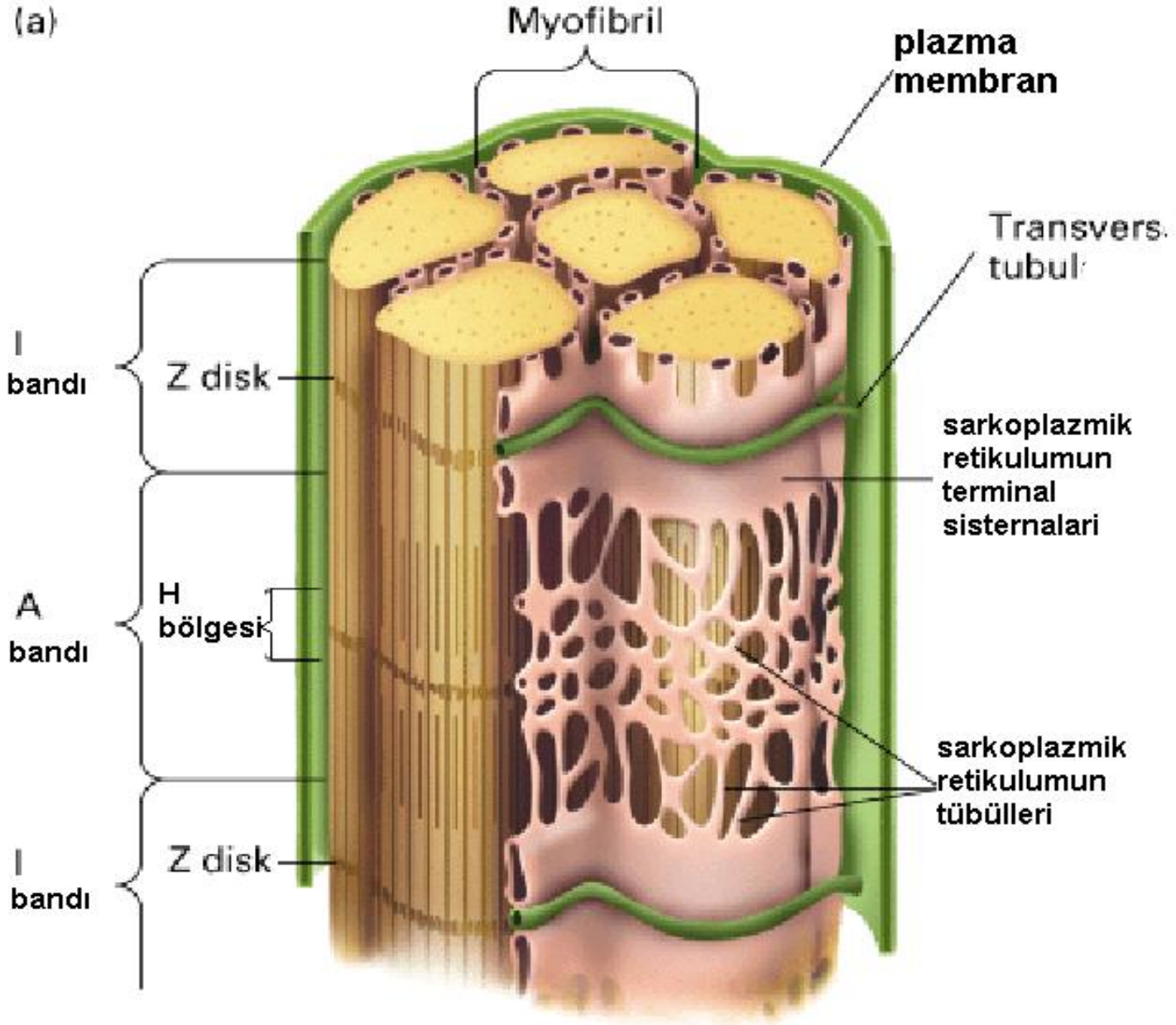


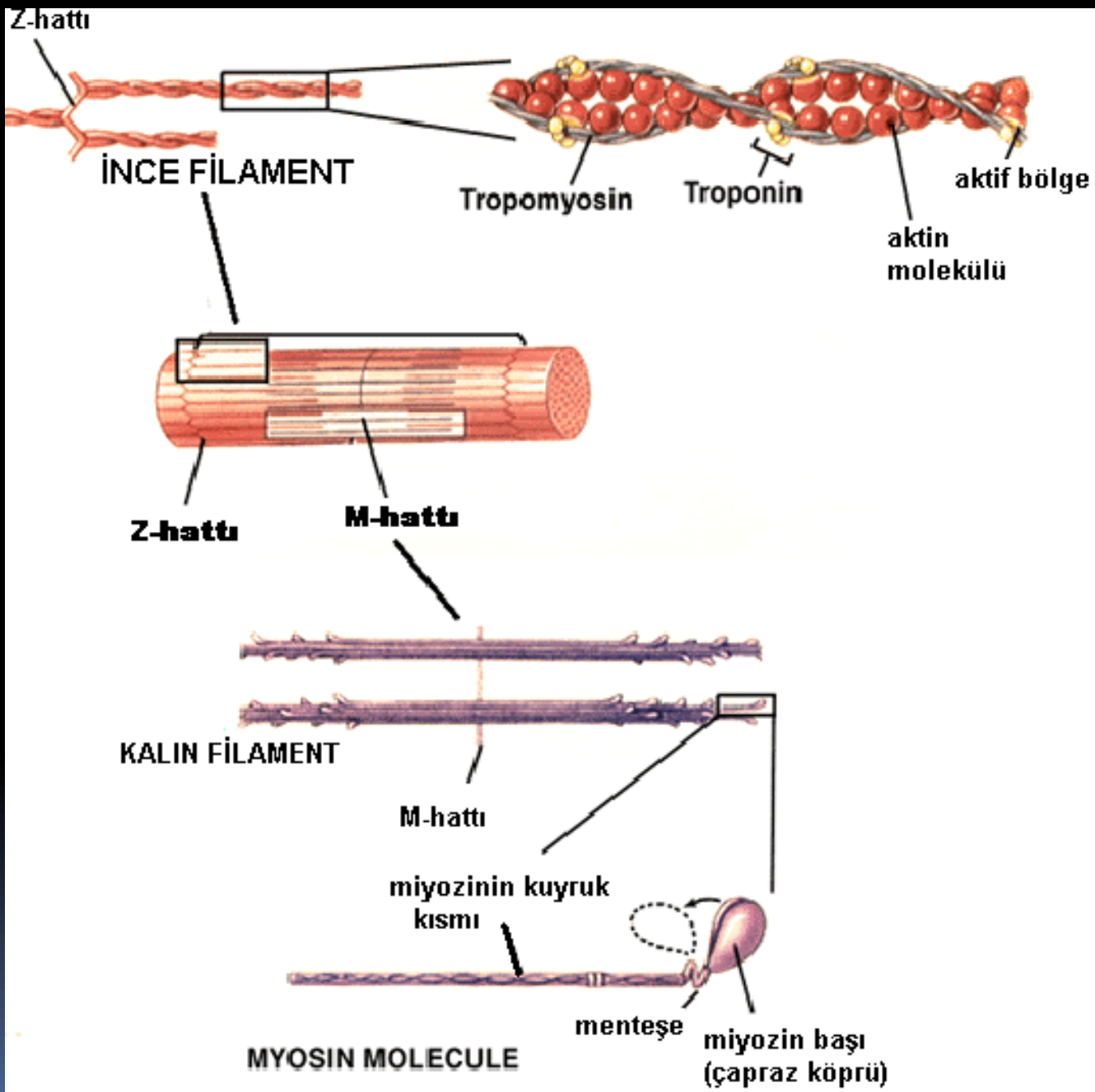
I Bandı A Bandı H Zonu I Bandı





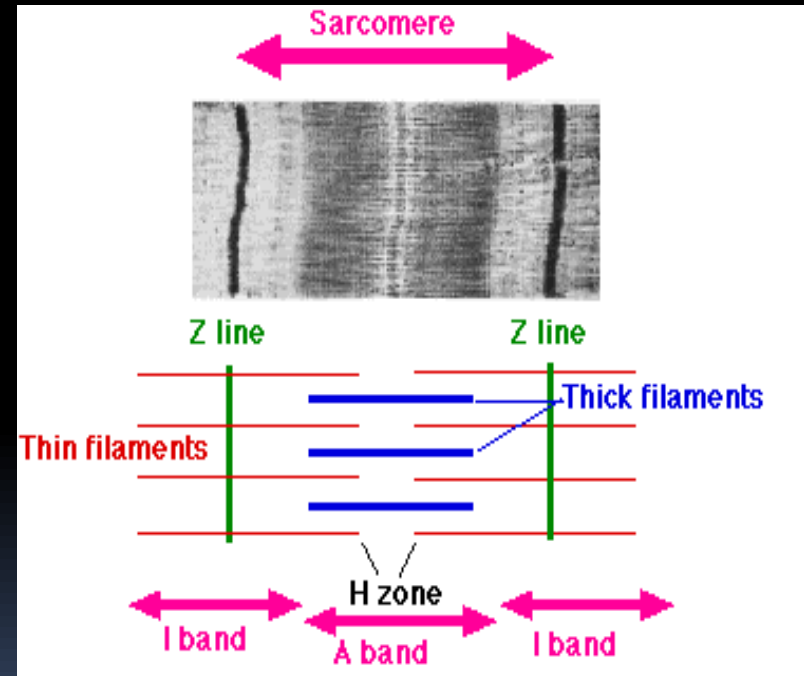
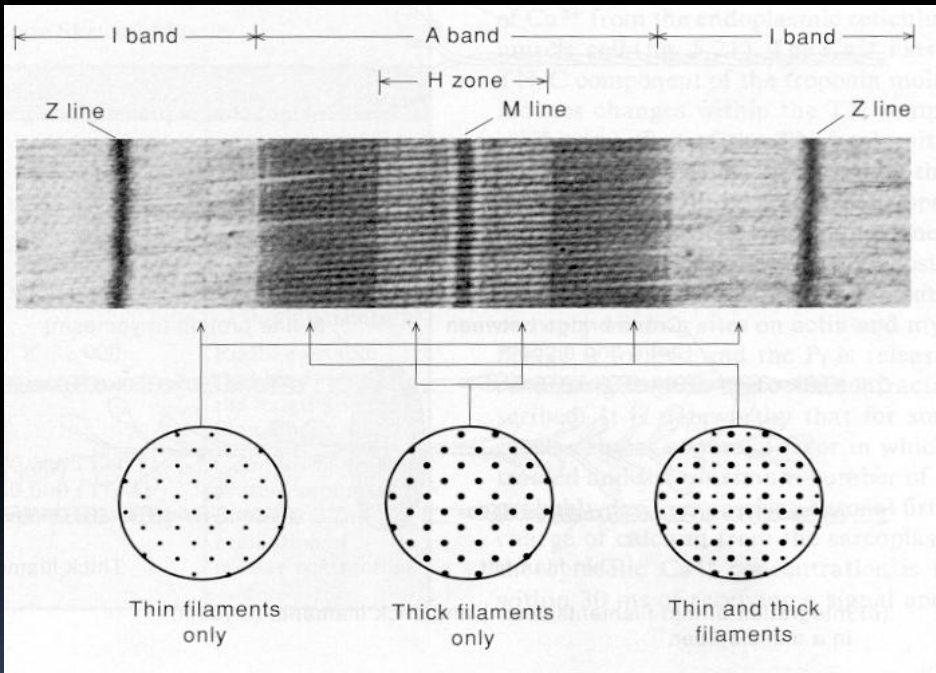
(a)



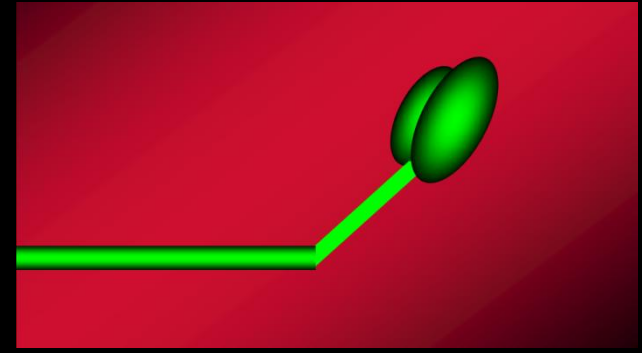


Miyofilament uzunlamasına 2 tiptir.

1. Kalın filamentler (**miyozin**)
2. İnce filamentler (**aktin, troponin ve tropomiyozin**).

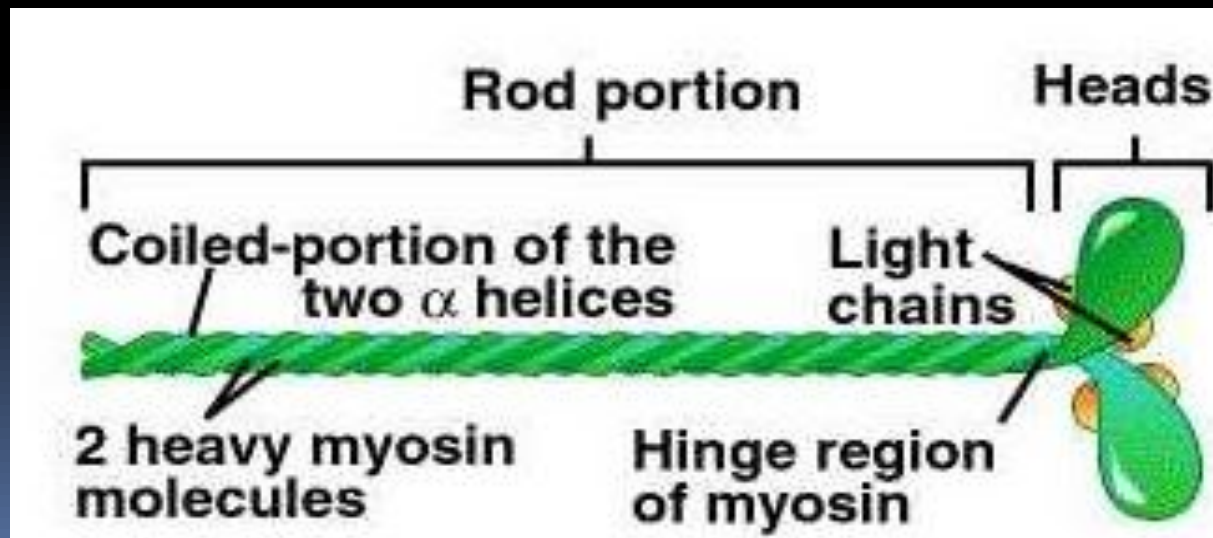
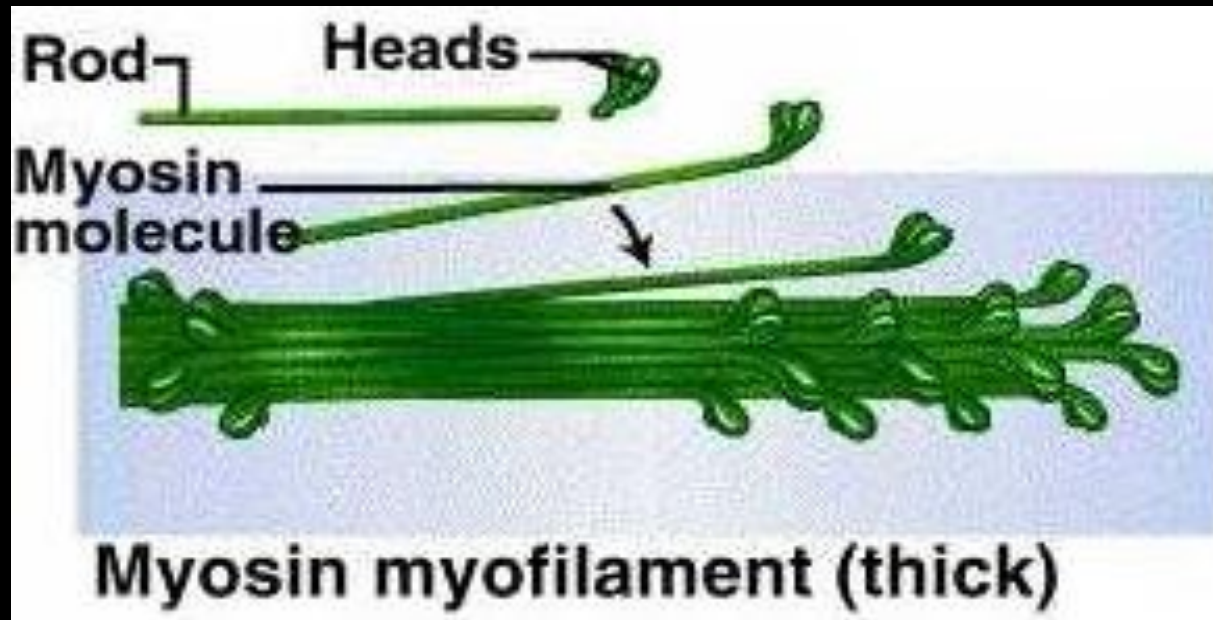


Miyozin

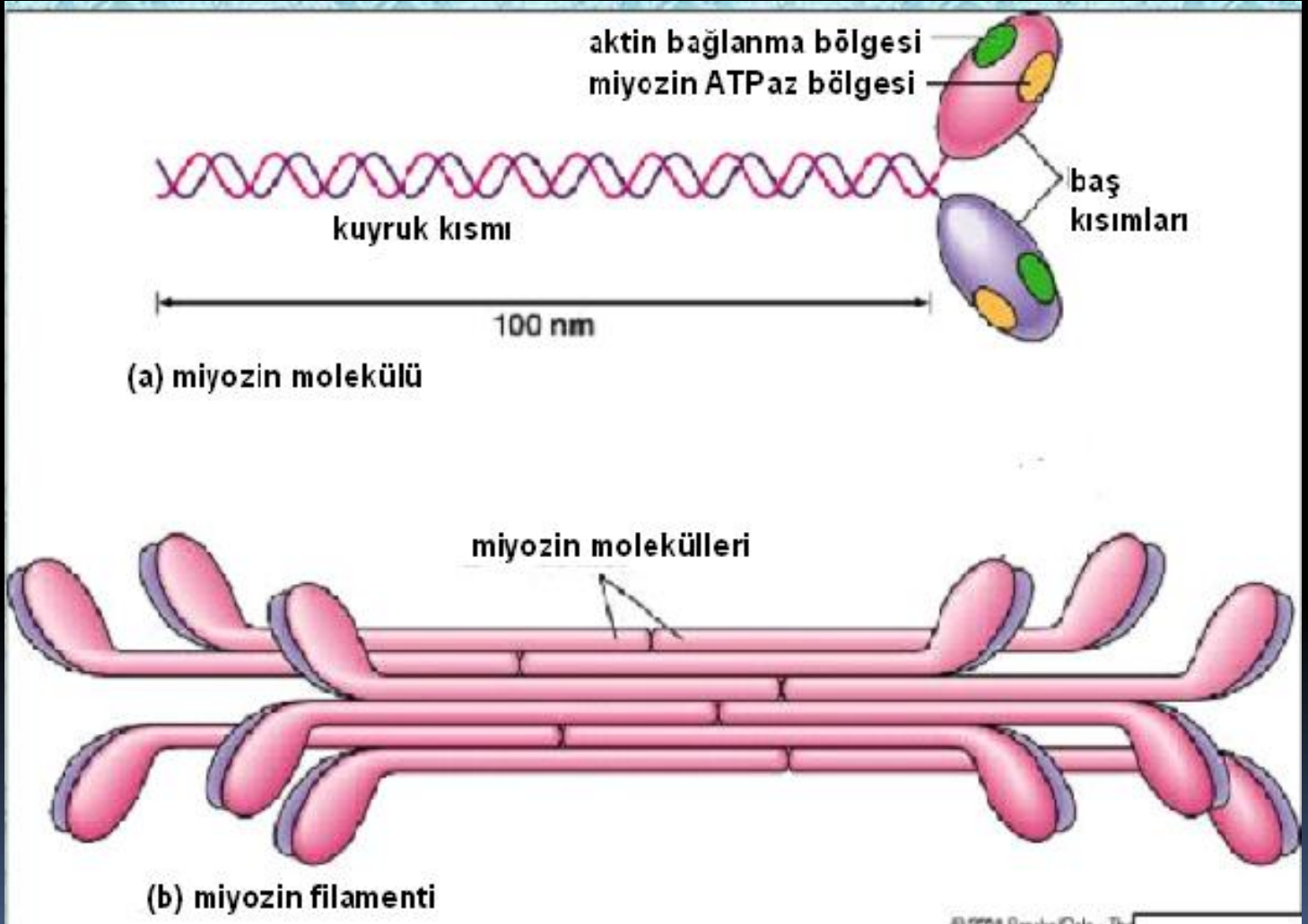


- Miyozinler Aktin kümesinin arasındadırlar.
- Aktin bağlayan bir proteindir.
- Miyozin molekülleri ATPaz aktivitesine sahip ikiye bölünmüş globüler bir baş, bir boyun ve bir kuyruktan oluşur.
- Boyun, başlar ve kuyruk ile menteşeler yardımıyla eklem yapar.
- Miyozin başı ve boynunun eklemli hareketi aktine bağlanmasını kolaylaştırır.

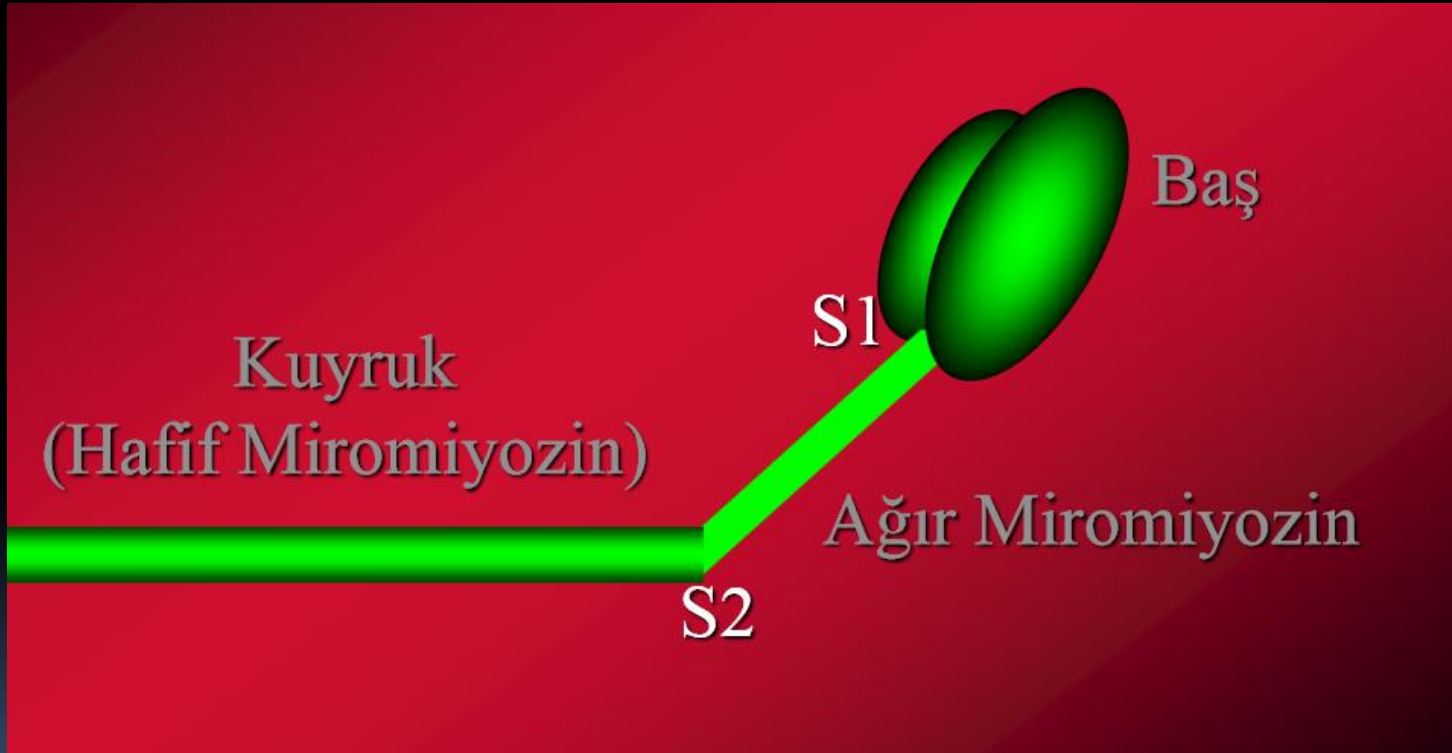
Miyozin proteininin yapısı-2



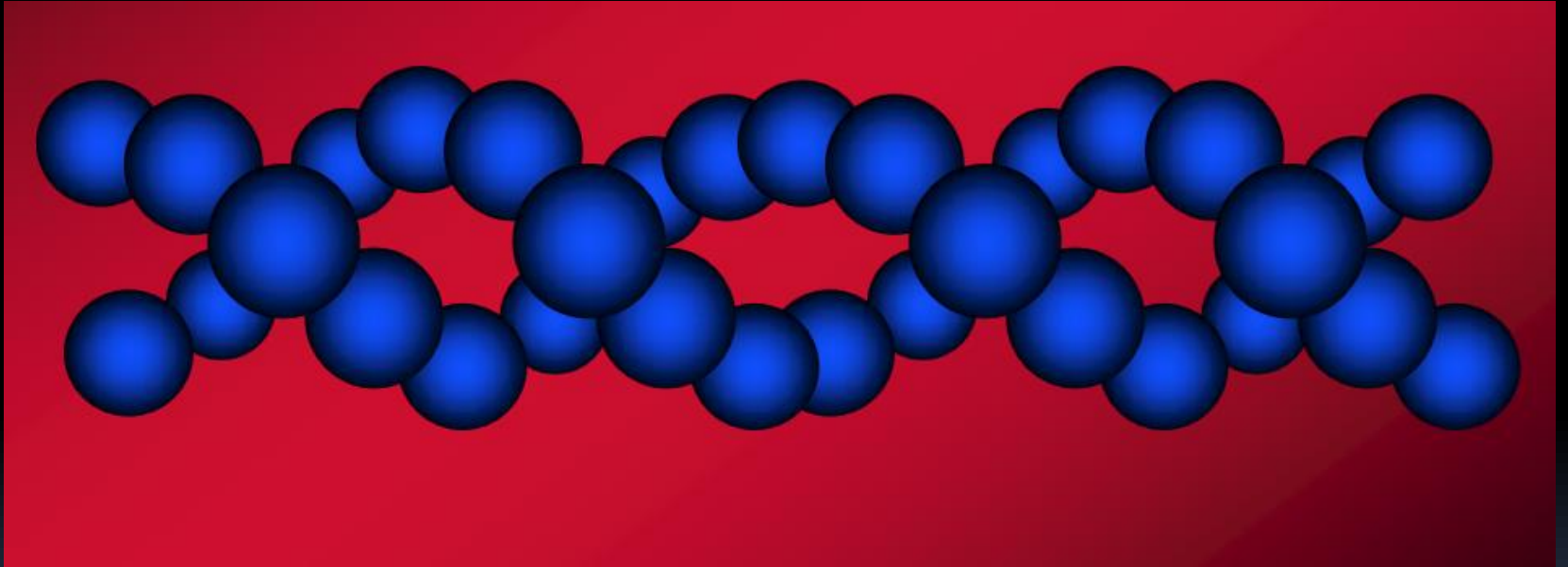
Miyozin proteininin yapısı-3



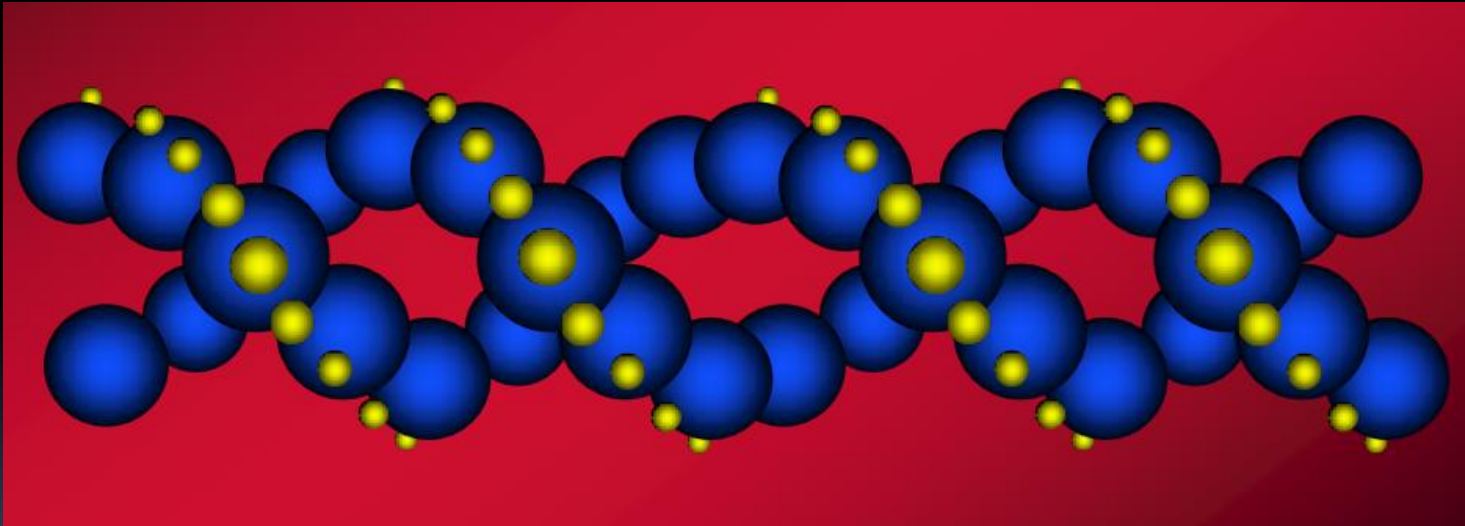
Miyozin proteininin yapısı-4



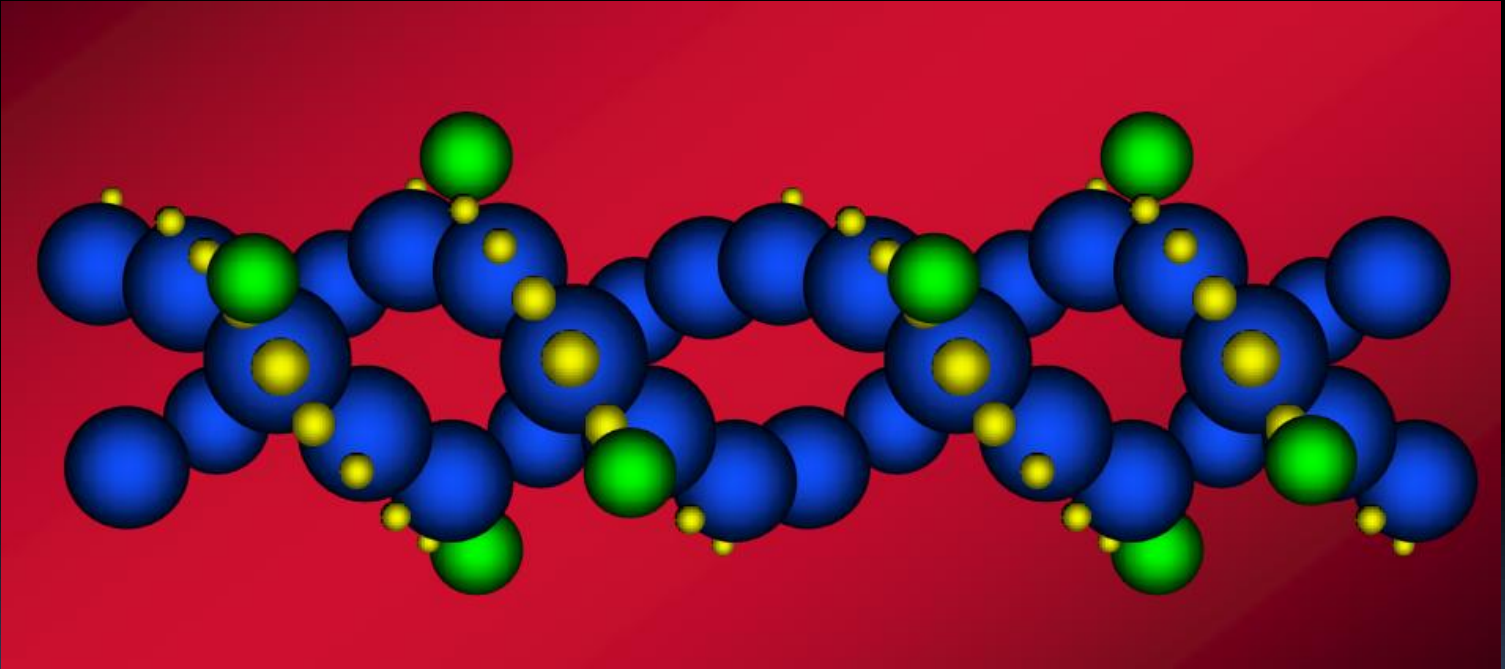
Aktin filamentinin yapısı



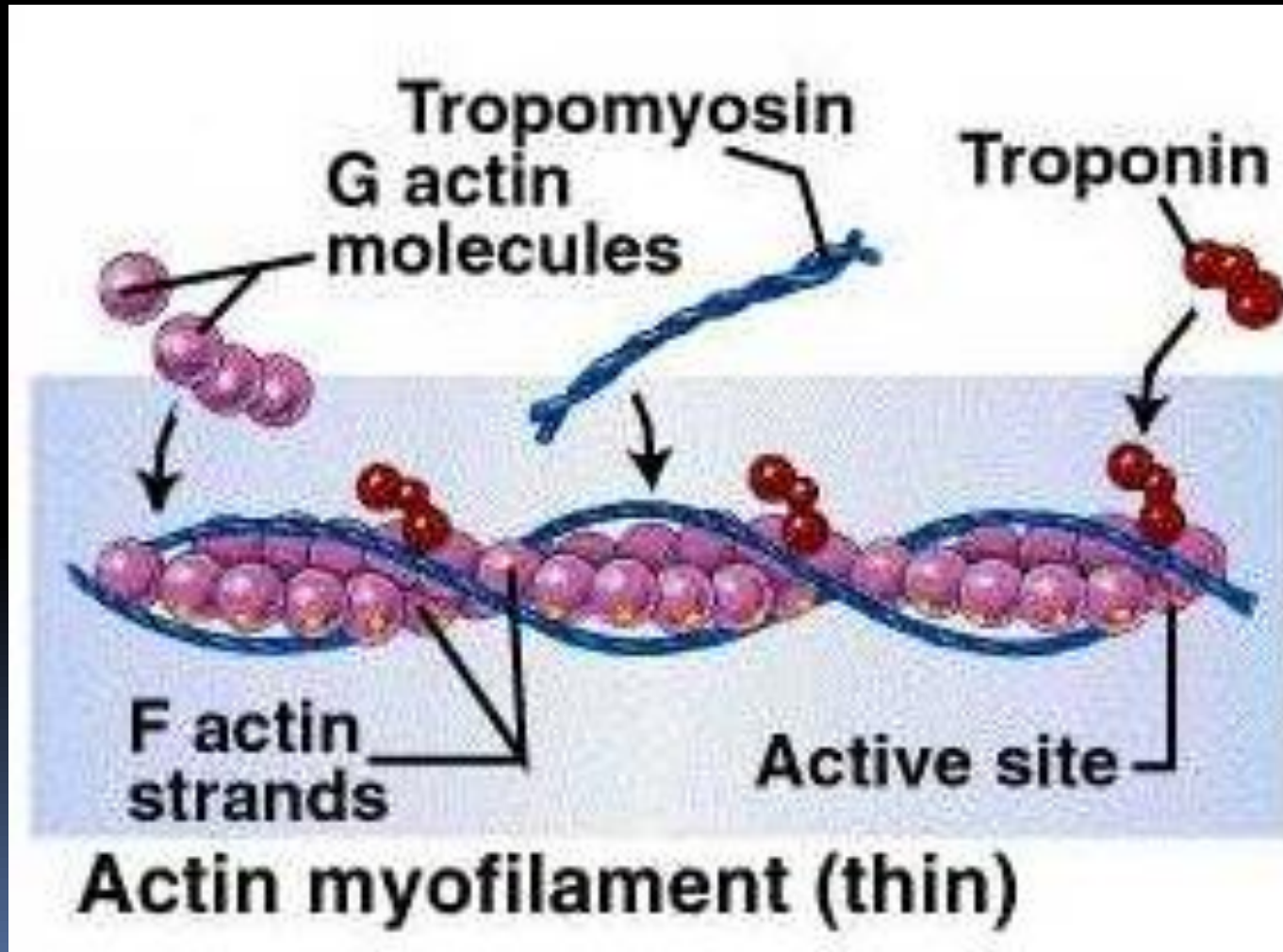
Aktin filamenti ve tropomiyozin molekülü



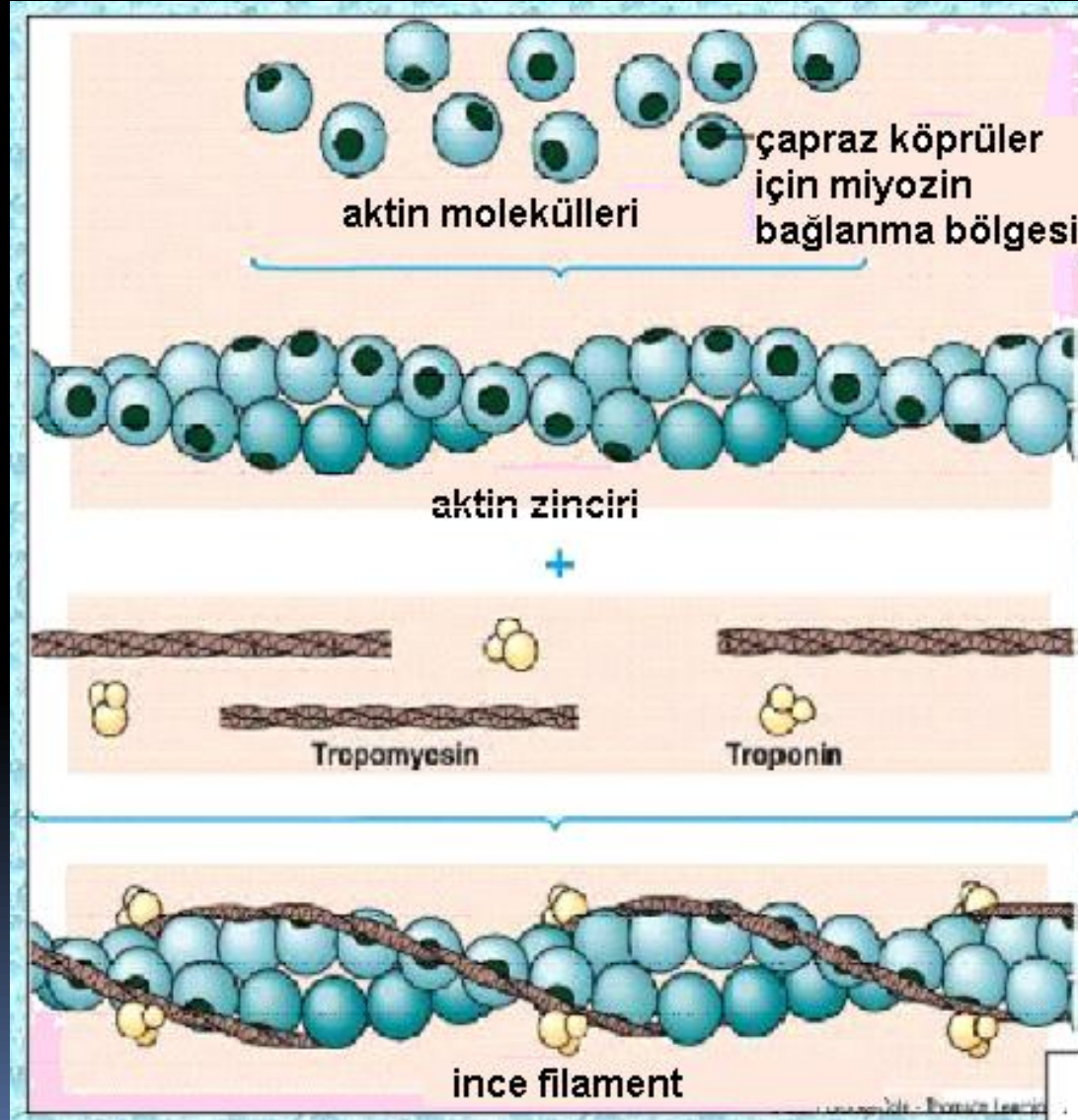
Aktin-Tropomiyozin ve Troponin



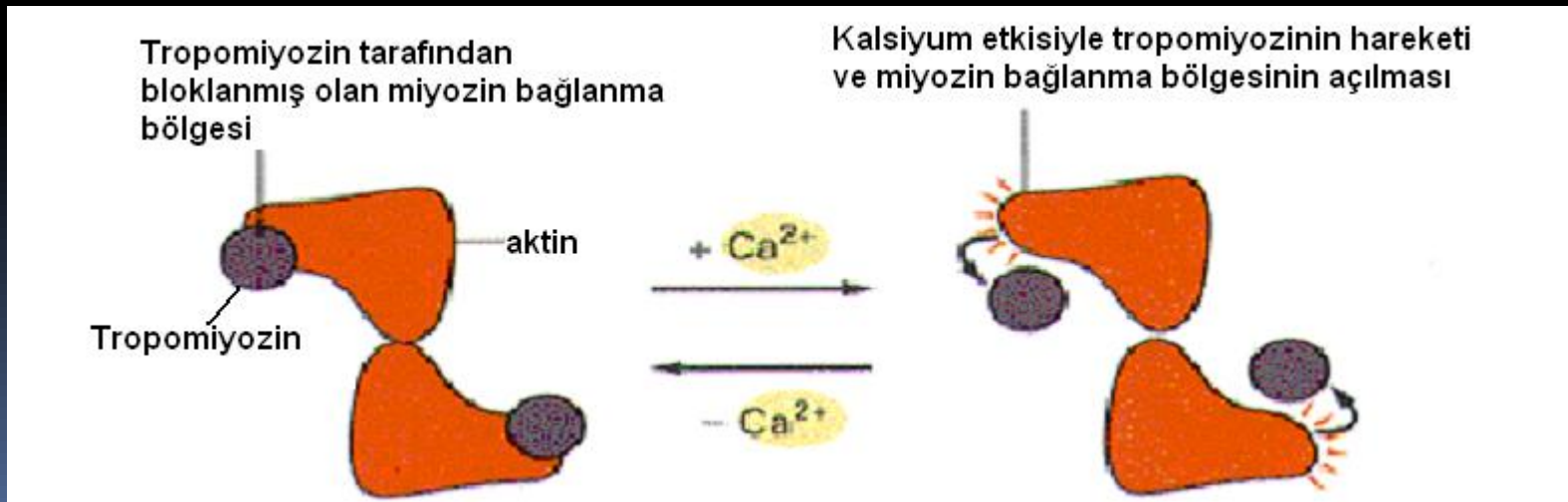
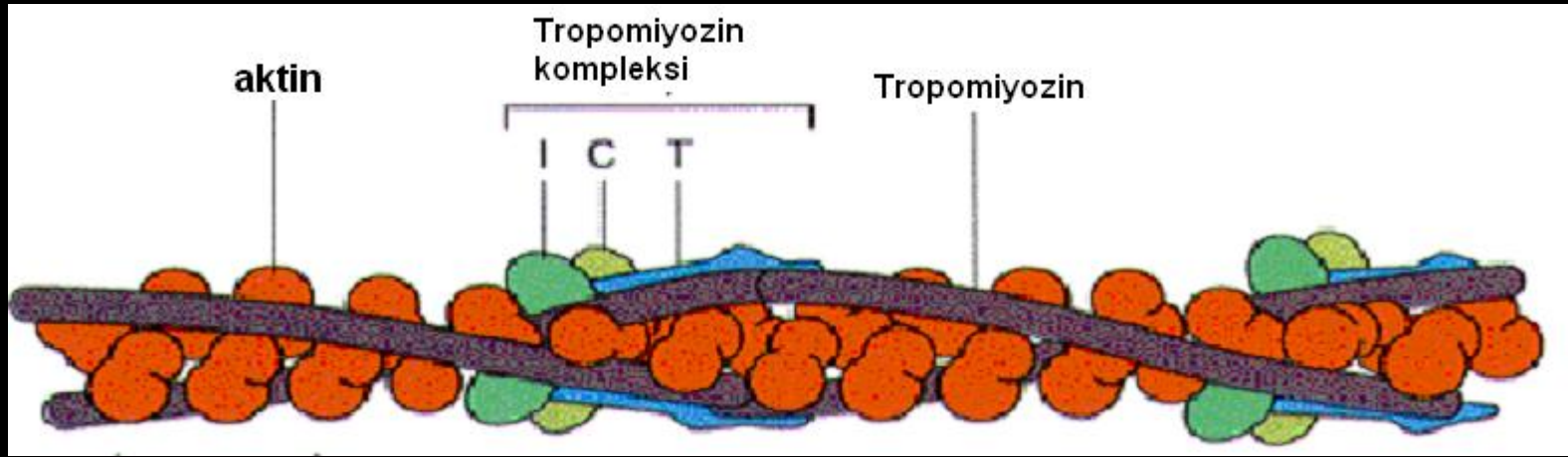
Aktin-Tropomiyozin ve Troponin-2



Aktin-Tropomiyozin ve Troponin-3



Aktin, tropomiyozin ve troponin proteinlerinin yapısı-3

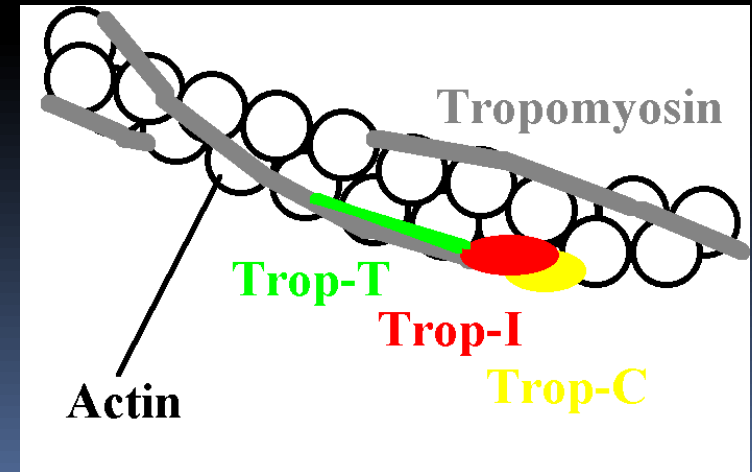
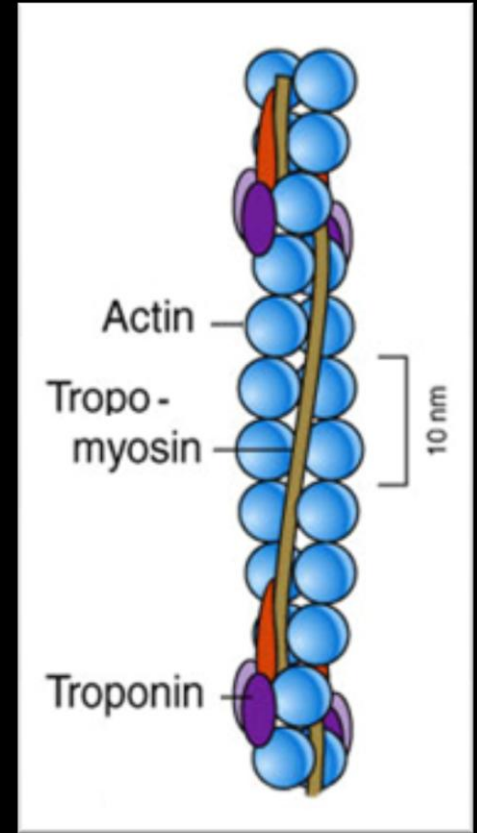


Troponin 3 alt birimden oluşur.

- Tro I,
- Tro T
- Tro C

Tropomyozin

kasın ince filamentlerinde aktin çift sarmalı oluşunda F-aktine yapışan fibriler bir proteindir.



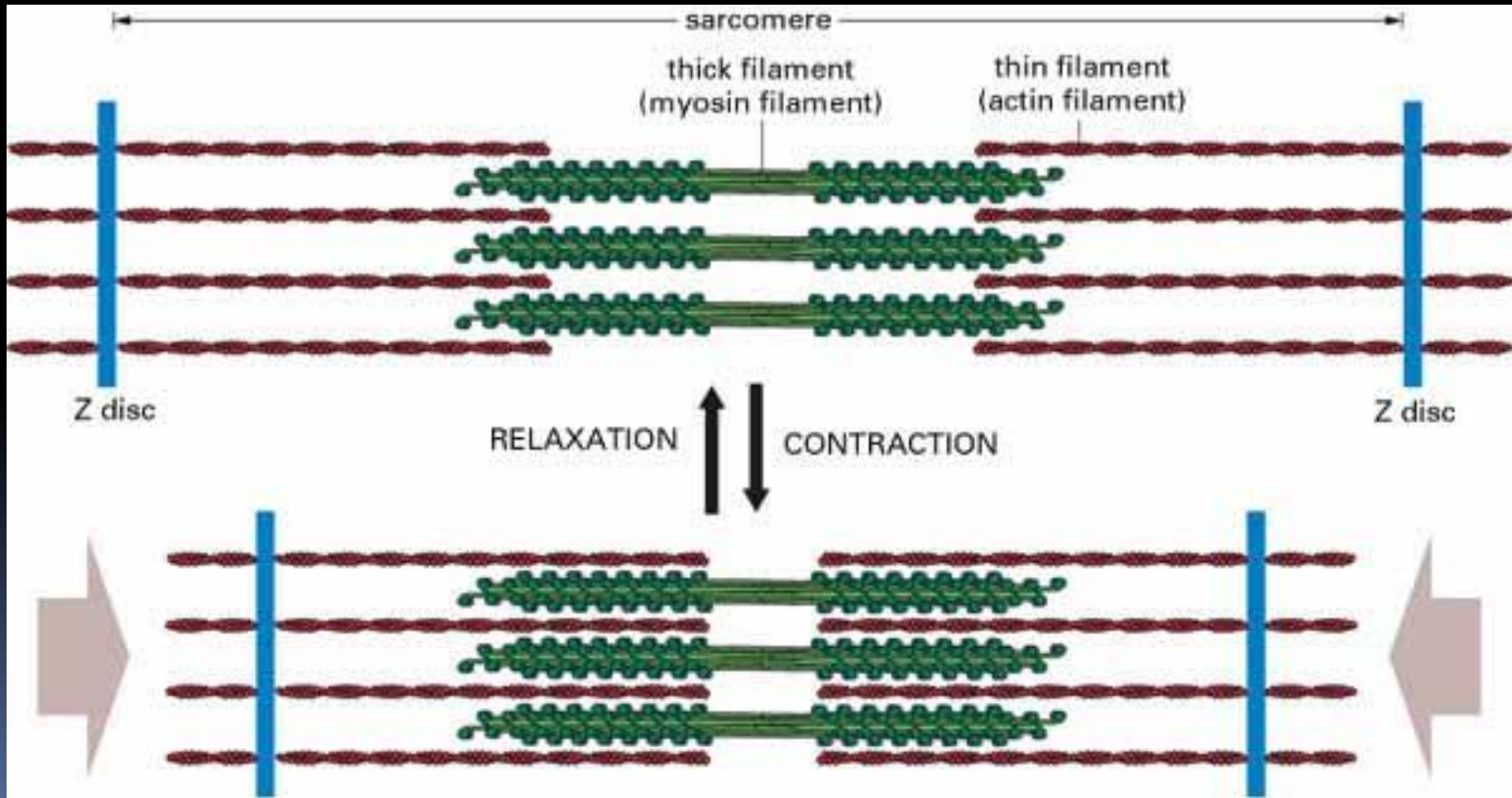
Troponin Sistemi,

Çizgili kasların ince filamentine özgü 3 alt üniteden oluşmuş proteindir.

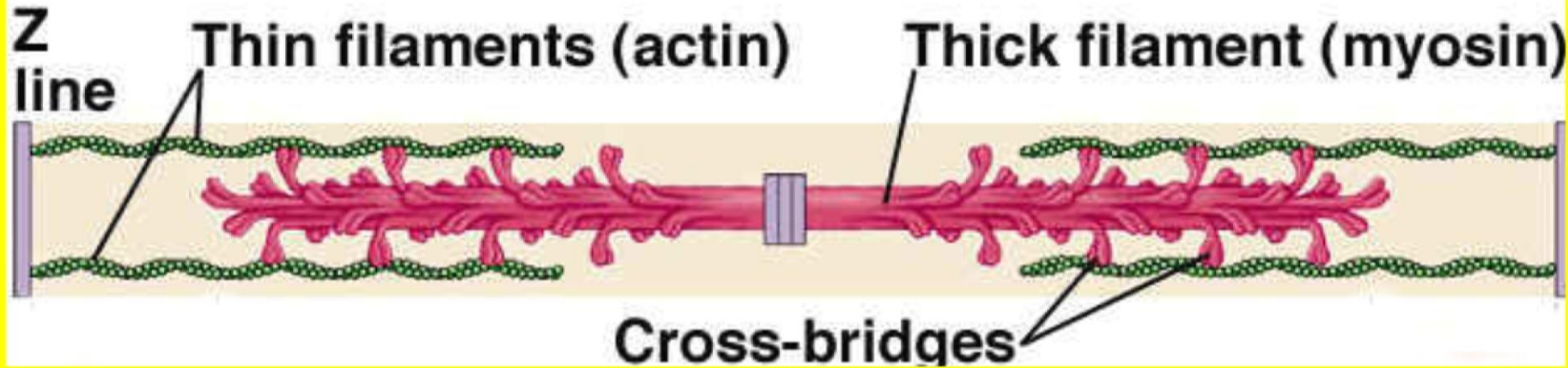
1. Tropomiyozini bağlayıcı ***troponin T***,
2. Aktin-miyozin etkileşmesini inhibe edici ***troponin I***
3. Ca^{2+} bağlayıcı ***troponin C***

Kas kasıldığı zaman kalın ve ince filamentlerin boylarında bir değişiklik olmaz.

Kayarak birbiri içine girerken çaprazlanmalar gerginlik sağlar.



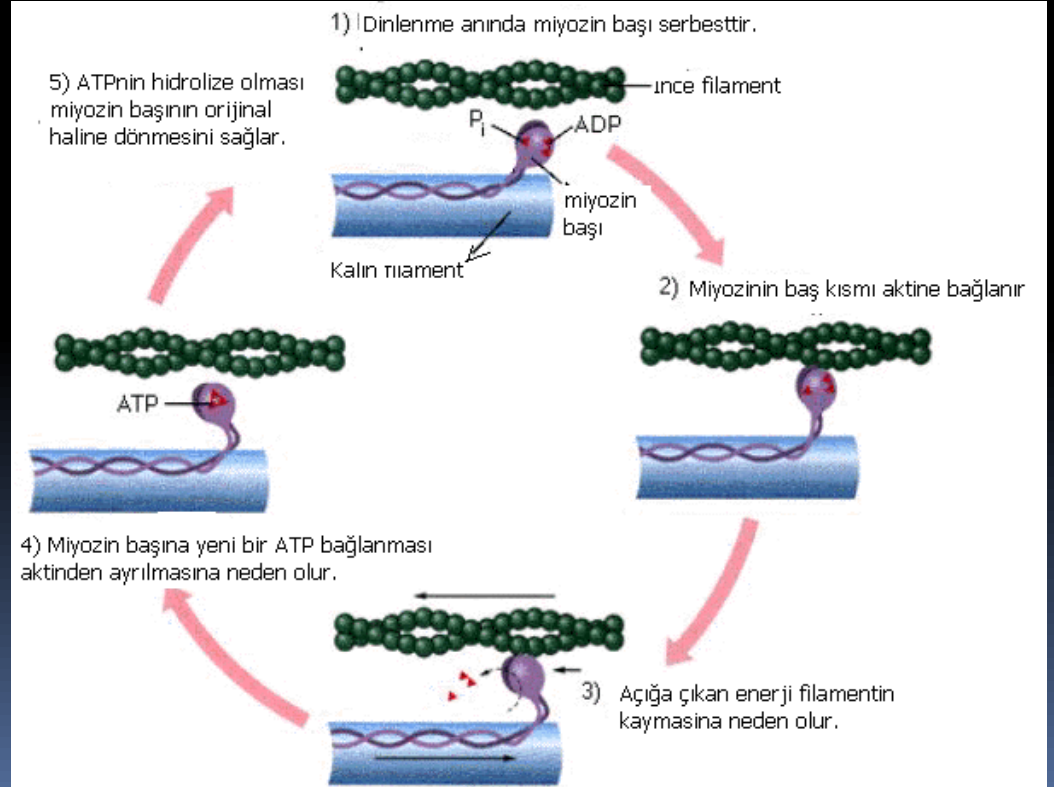
Kalın ve ince filamentler, kasılma sırasında çapraz köprüler aracılığıyla birbiriyle etkileşirler.



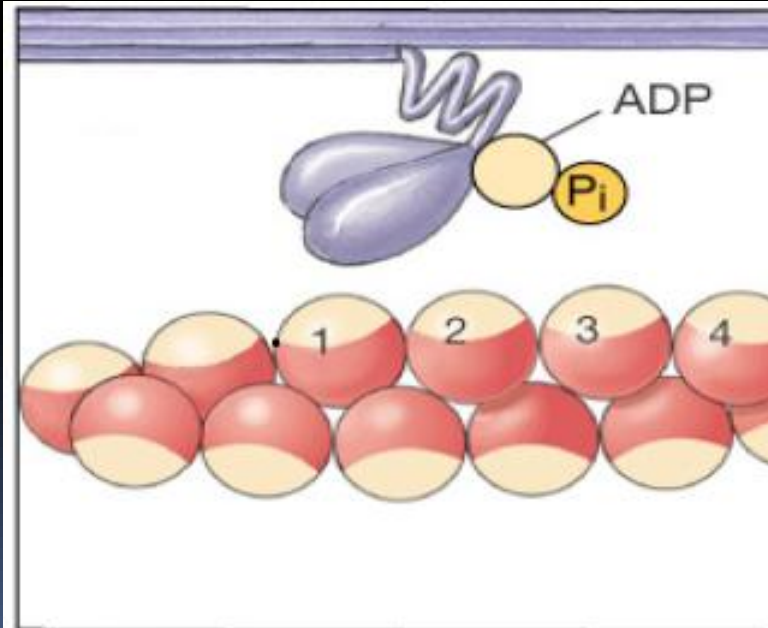
Kas kasılması ve gevşemesi

Kas kasılma-gevşemesi, miyozinin globuler baş kısmının aktine yapışması ve ayrılması suretiyle gerçekleşir.

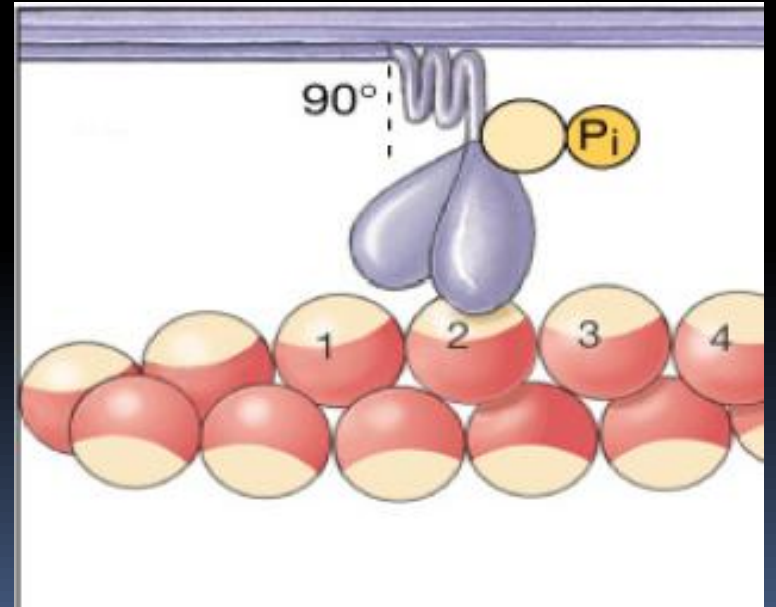
ADP ve P_i içeren miyozin başı, aktine bağlanarak **aktin·miyozin·ADP· P_i** kompleksini oluşturur.



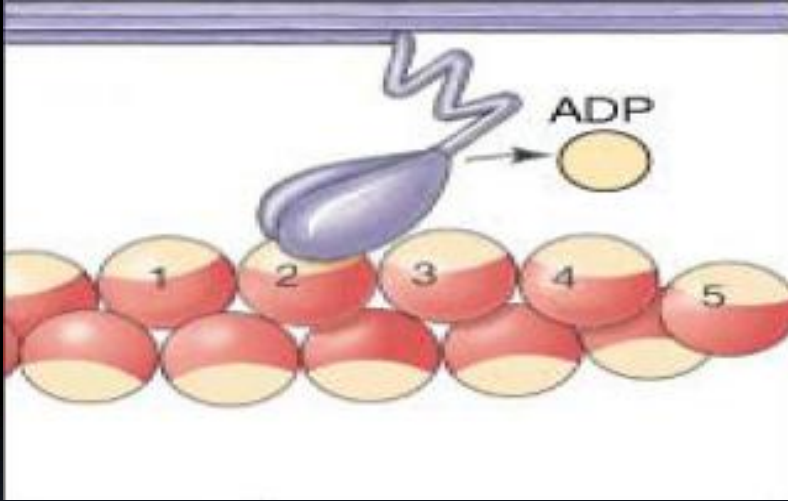
1. Miyozindeki ATPaz aktivitesi ATP' yi hidroliz eder. ADP ve P miyozine bağlı olarak kalır.



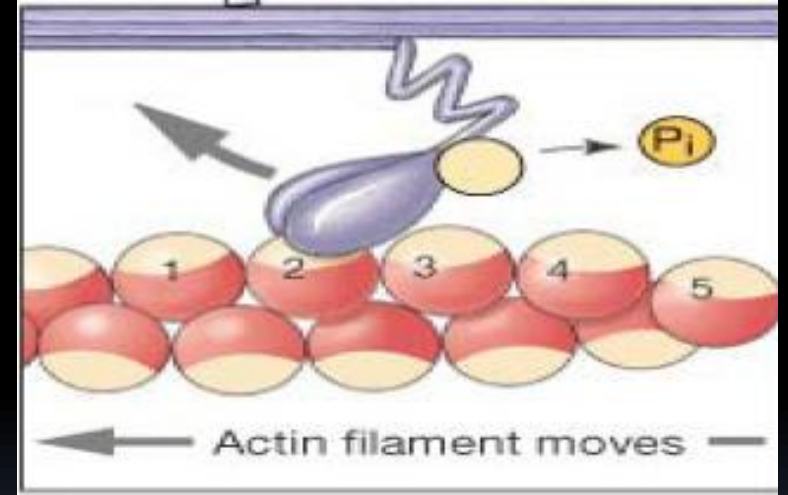
2. Miyozinin başı ileriye hareket eder. Yeni aktin molekülüne zayıfça bağlanır. Çapraz köprü filamentlere 90° açı yapmış olur.



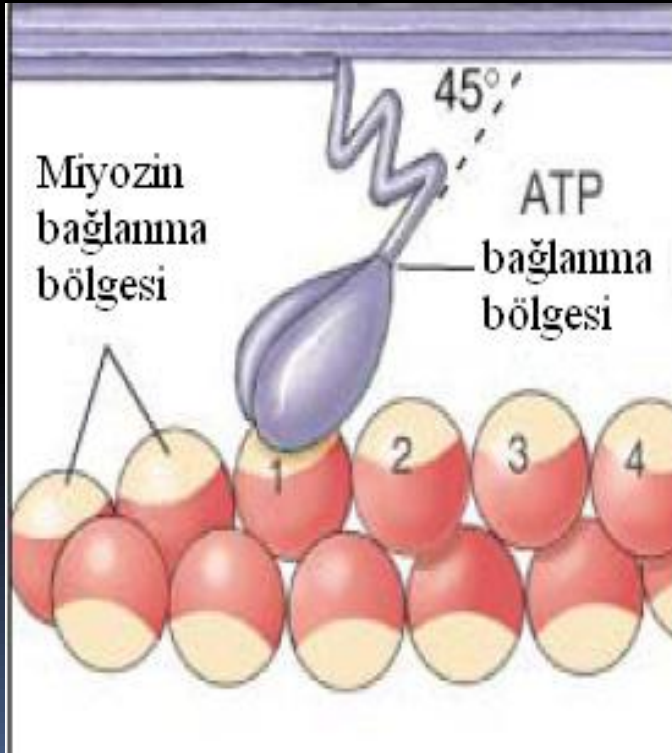
3. Enerji yüklü P bağıının ayrılması ile miyozin başı dönerek hareket eder. Aktini de birlikte hareket ettirir. Böylece ince filament kayar.



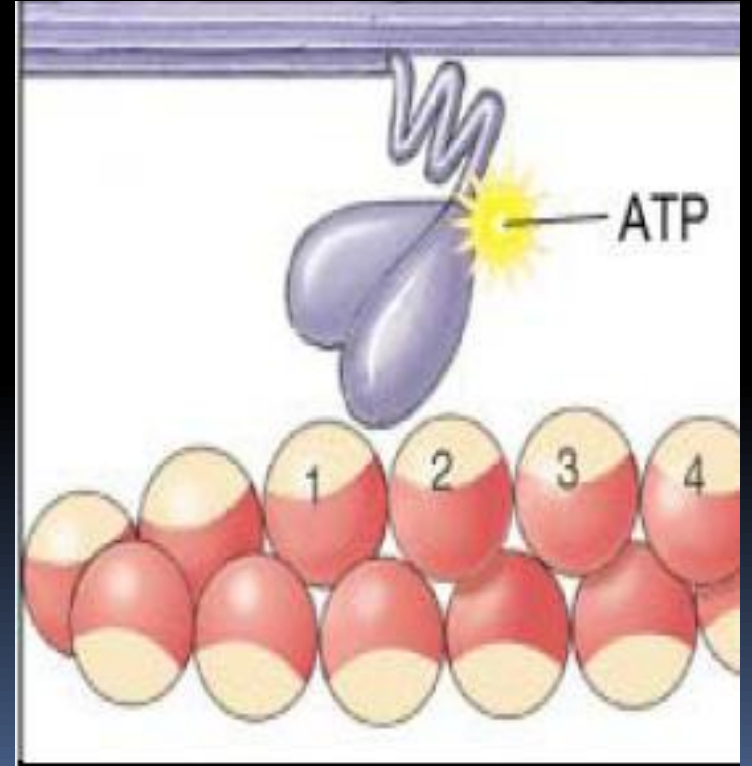
4. Enerji kullanımı sona erince miyozin başı ADP' nin salınmasını sağlar. Sonunda miyozin başı aktine bağlanmış olarak kalır



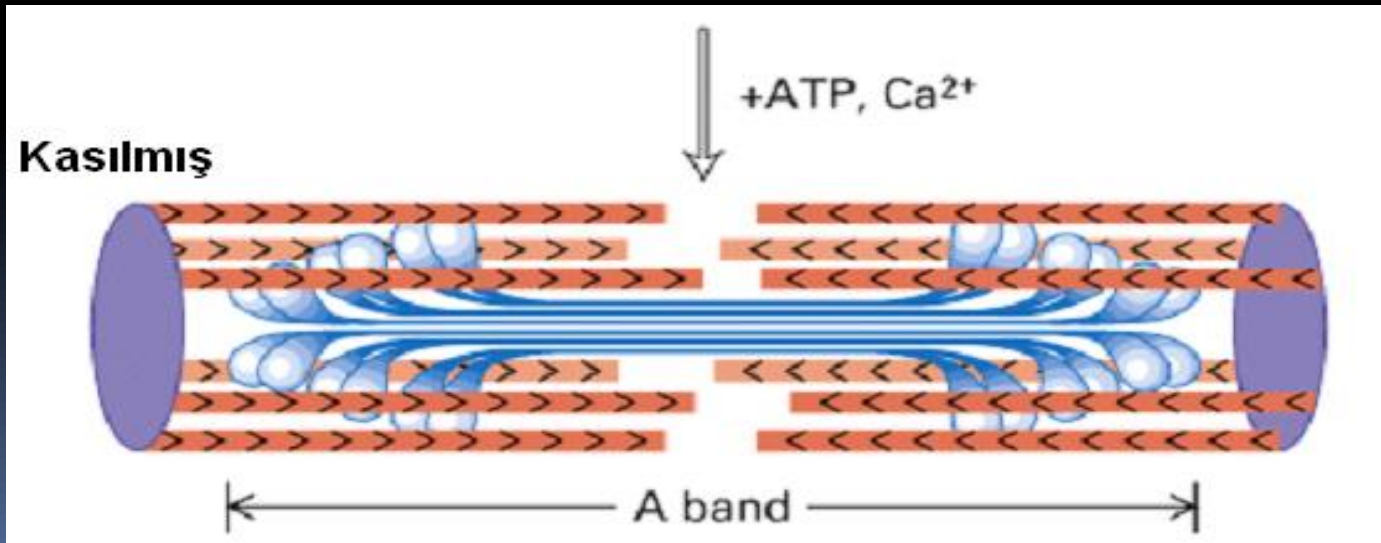
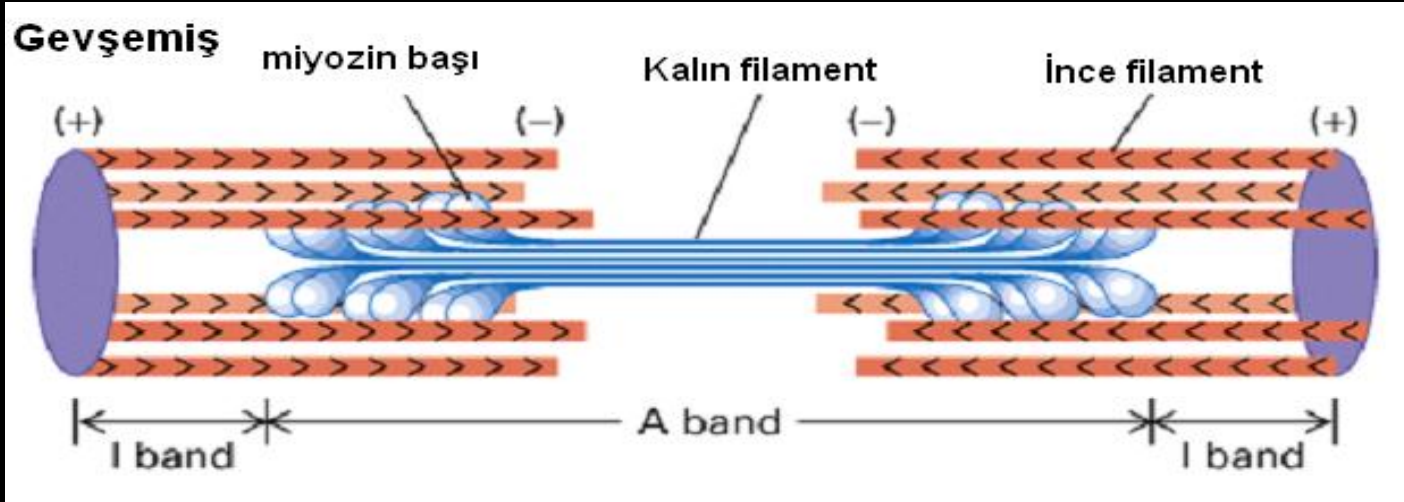
5. Bağlanma sert durumda.
Çapraz köprü filamentlere
45° açı ile duruyor.



6. ATP bağlama bölgesine bağlanır.
Bu olay miyozin başının aktinden
ayrılmasına neden olur.



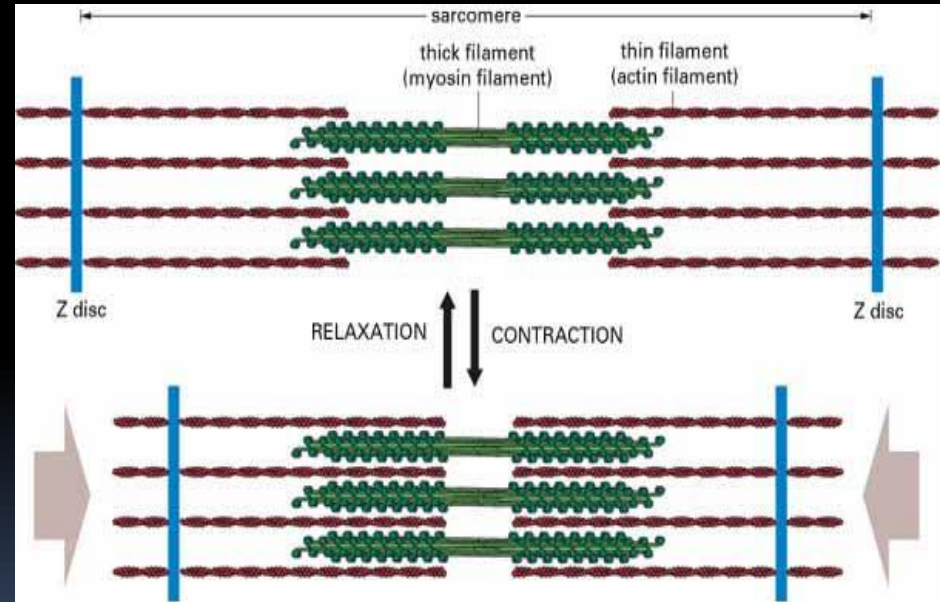
Kayan Filamentler Teorisi



Kayan Filamentler Teorisi-1

Z diskleri birbirine yaklaşır.

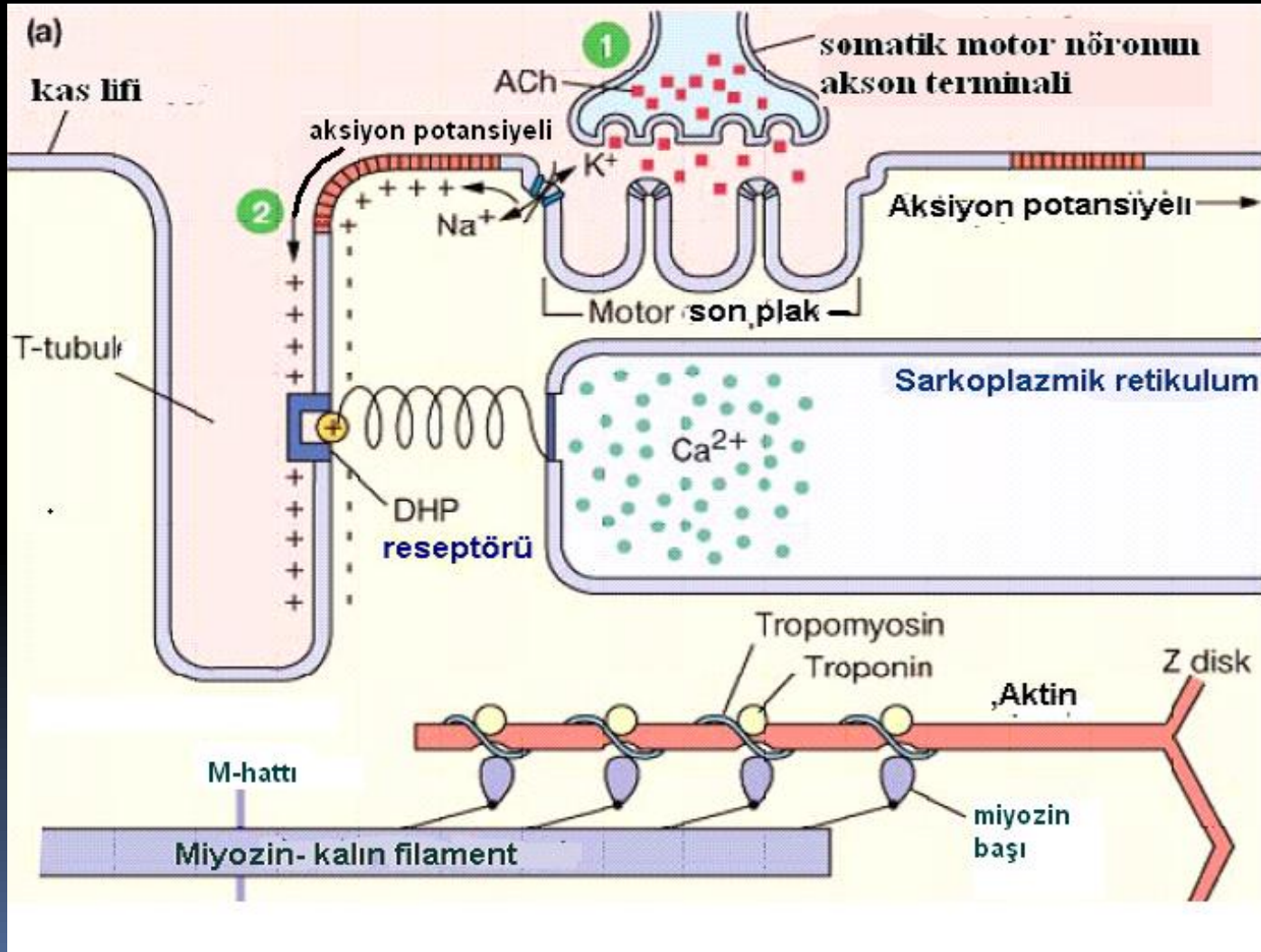
- Sarkomer boyu kısalır (kasılma).
- Kas fibrili kısalır.
- Tüm kas kısalır
- H bandı daralır
- I bandı daralır
- A bandı değişmez
- Miyofilamentlerin boyu değişmez



Uyarılma-Kasılma Eşleşmesi-1

1. Sinirsel uyarılar nöromüsküler kavşağa ulaşır.
2. Asetilkolin motor sinir ucundan salınır. Kas hücresi membranındaki asetilkolin Na^+ kanallarının reseptörlerine bağlanır.

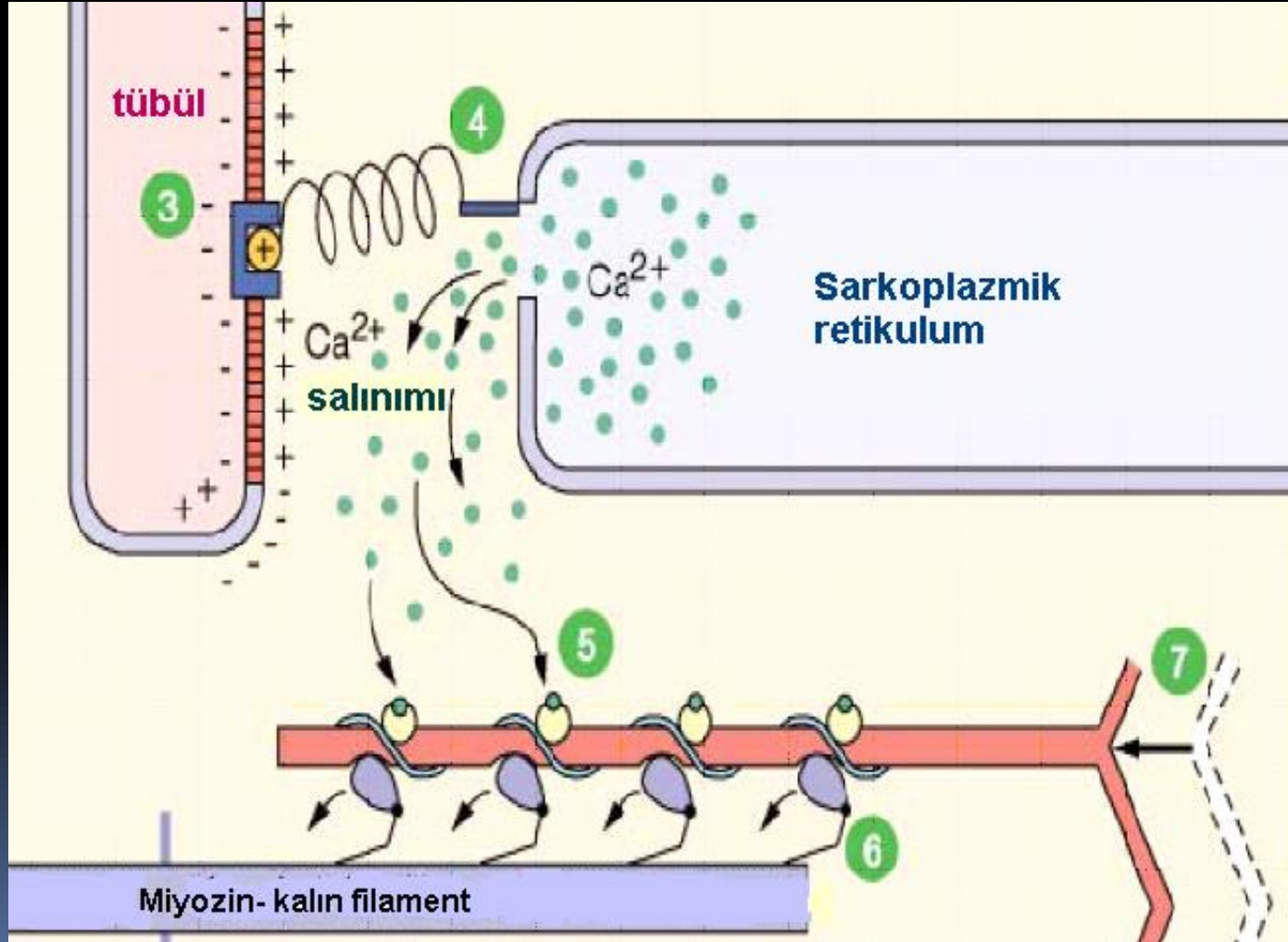
Uyarılma-Kasılma Eşleşmesi-2



Uyarılma-Kasılma Eşleşmesi-3

3. Bağlanma depolarizasyonu başlatır. Oluşan aksiyon potansiyeli T-tübüller ve sarkolemma boyunca yayılarak, sarkoplazmik retikulumdan Ca^{+2} salınımına neden olur.

Uyarılma-Kasılma Eşleşmesi-4



Kasılma Mekanizması Kayan Filamentler Teorisi-2

4. Ca^{2+} troponin' e bağlanır .

Troponin-tropomiyozin kompleksinin konumunu değiştirir. Bu değişiklikle troponin-tropomiyozin kompleksi, miyozin bağlanma bölgelerini açıkta bırakacak şekilde, aktin üzerinde kayar.

Kasılma Mekanizması Kayan Filamentler Teorisi-3

5. Ca^{2+} aynı zamanda miyozin başının ATPaz aktivitesini arttırır. ATP hidrolizi ile enerji açığa çıkar.

6. Açığa çıkan enerji miyozin başında "depolanır" . Bu enerji miyozin başını aktin filamentine doğru uzanarak çapraz köprü oluşturmada kullanılır.

Kasılma Mekanizması Kayan Filamentler Teorisi-4

7. Miyozin başları güç vurumu denilen bir hareketle aktin miyofilamentlerini sarkomer merkezine doğru çeker.

Böylece sarkomer boyu gittikçe kısalır
(kasılma gerçekleşir)

Kasılma Mekanizması Kayan Filamentler Teorisi-5

8. Sarkoplazmada bulunan ATP kasılmadan sonra miyozin başına bağlanarak başın aktinden ayrılmasını sağlar.

EK-1: Ölüm katılığı

- *Ölümden hemen sonra ATP miktarının azalmasına bağlı olarak çapraz köprülerin aktinden ayrılmaması sonucu **rigor mortis** denilen sertleşme görülür.*

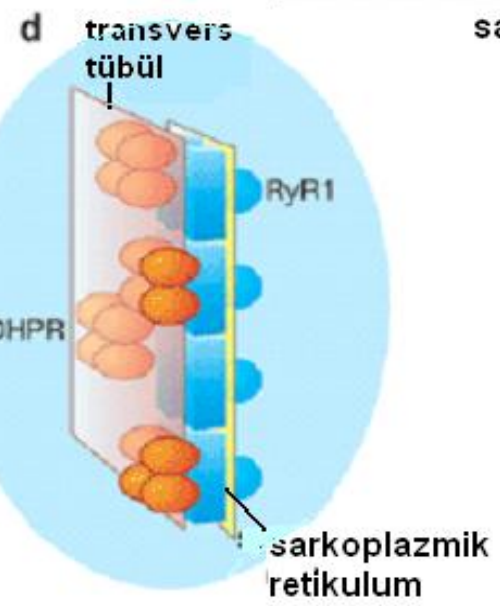
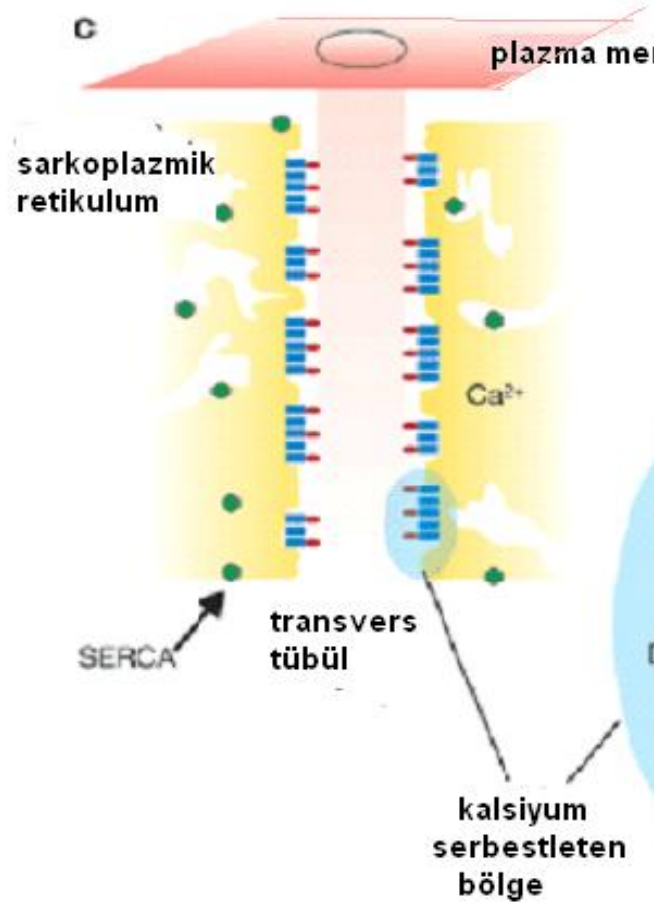
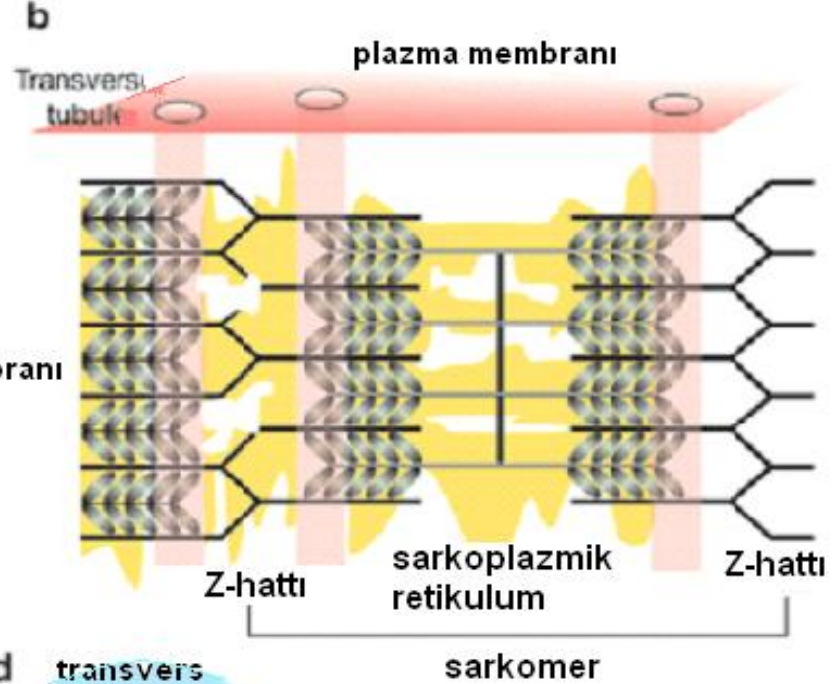
Kasılma Mekanizması Kayan Filamentler Teorisi-6

9. Döngü tekrarlanarak kasın boyu kısalmaya devam eder.

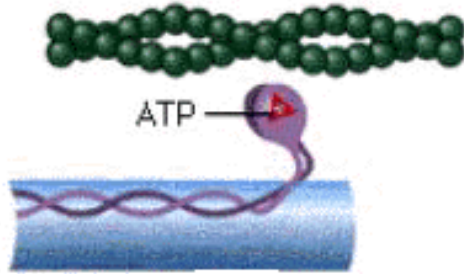
10. Gevşemenin başlaması için Ca^{2+} tekrar SR'da depolanmalıdır. Bu, Ca^{2+} ATPaz pompası tarafından gerçekleştirilir.

Kas Gevşemesi

- Sinirsel uyarı sonlanır
- Ca^{2+} SR'a geri pompalanır.
- Ca^{2+} Troponin' den ayrılır.
- Aktin' in Miyosin bağlama kısmı yeniden örtülür ve çapraz köprüler ayrılır.
- Sarkoplazmada aşırı Ca^{2+} varsa veya uzaklaştırılmamış ise spazm meydana gelir.

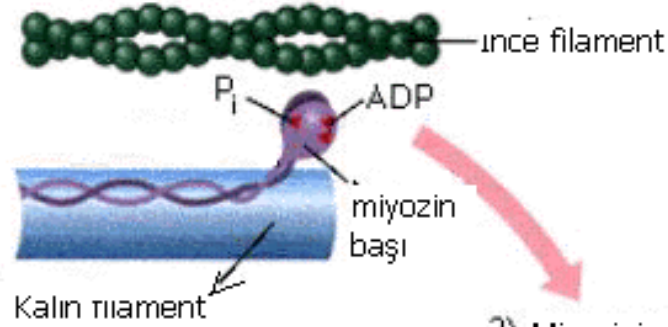


5) ATPnin hidrolize olması miyozin başının orijinal haline dönmesini sağlar.

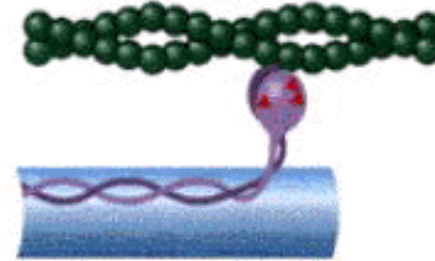


4) Miyozin başına yeni bir ATP bağlanması aktinden ayrılmasına neden olur.

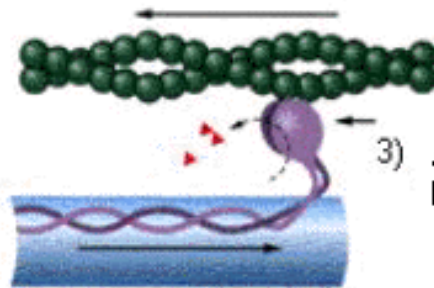
1) Dinlenme anında miyozin başı serbesttir.



2) Miyozinin baş kısmı aktine bağlanır



3) Açığa çıkan enerji filamentin kaymasına neden olur.



Olayların Sıralanışı-1

- 1. Sinirsel Uyarının MSS' de oluşumu
- 2. Alfa Motor Nöron ile Motor Son Plağa iletimi
- 3. Motor Son Plakta Asetilkolin salınımı ve kas fibrilinde aksiyon potansiyeli oluşumu
- 4. Sarkolemma & T-Tüplerine yayılışı
- 5. SR & Terminal Sisternalara geçişi

Olayların Sıralanışı-2

- 6. Ca^{++} 'un Troponin (C)'ye bağlanması
- 7. Troponin –tropomiyozin kompleksinde Konformasyonel Değişim
- 8. Çapraz Köprü Oluşumu
- 9. Konformasyonel Değişim (Güç Vurumu)
- 10. Miyozin başının ATP bağlayarak serbestlenmesi & ilk pozisyona dönme

Kas kasılırken;

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



Kasılma sonucu biyokimyasal değişiklikler neler?

Azalıır	Artar
ATP	ADP+P
Kreatin Fosfat	İnorganik Fosfat
Oksijen	Karbondioksit
Glikoz	Isı
Glikojen	Kreatin

ATP

Biyolojik enerji kaynağı

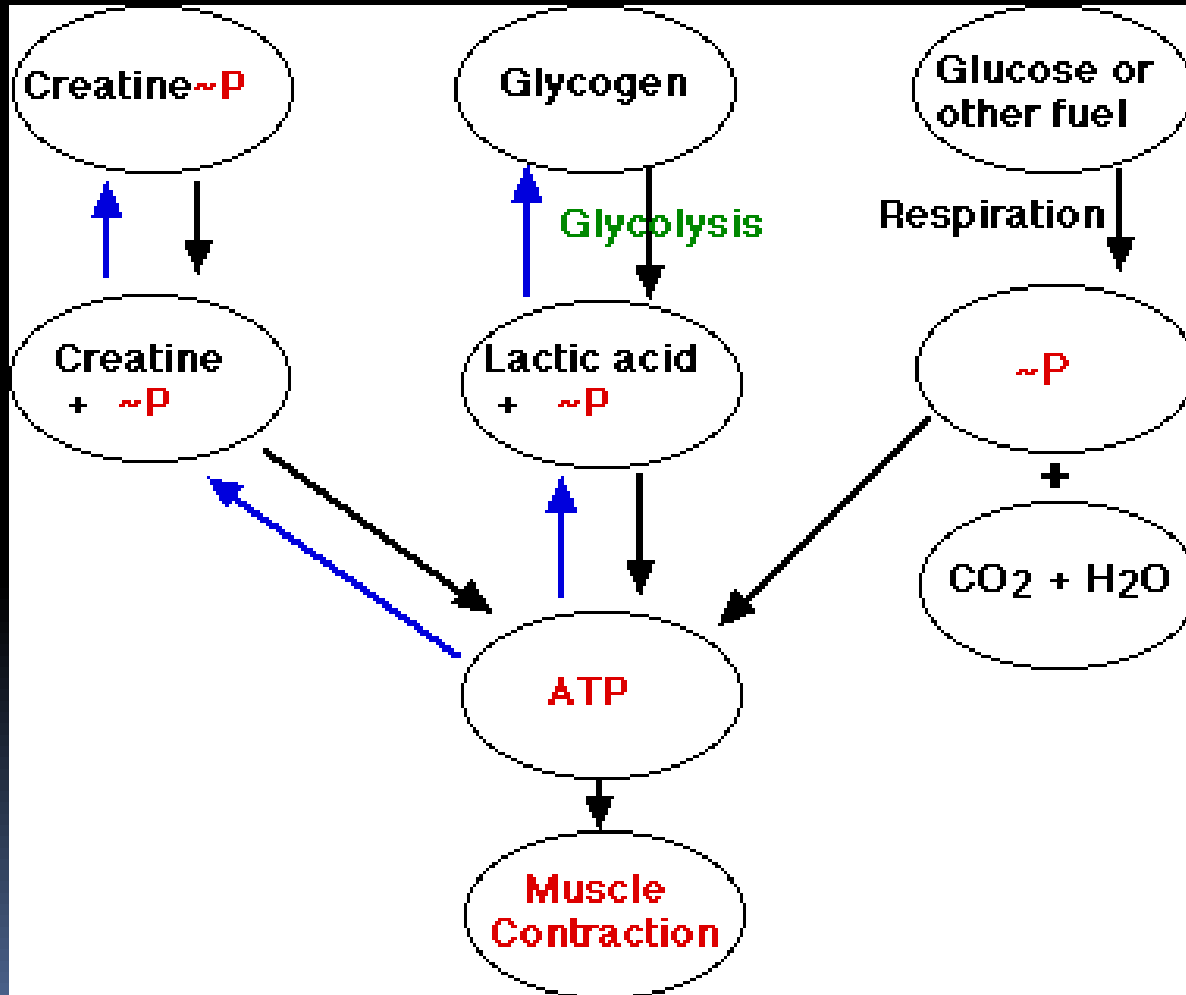
Kaslar için çok önemli bir maddedir.

1 g yaş kas dokusunda

$\cong 19,3 \mu\text{M}$ kreatin fosfat (hızla ATP'ye çevrilir)

$\cong 4,5 \mu\text{M}$ ATP bulunur.

Kas kasılma-gevşeme döngüsü için gerekli ATP çeşitli yollardan sağlanır:



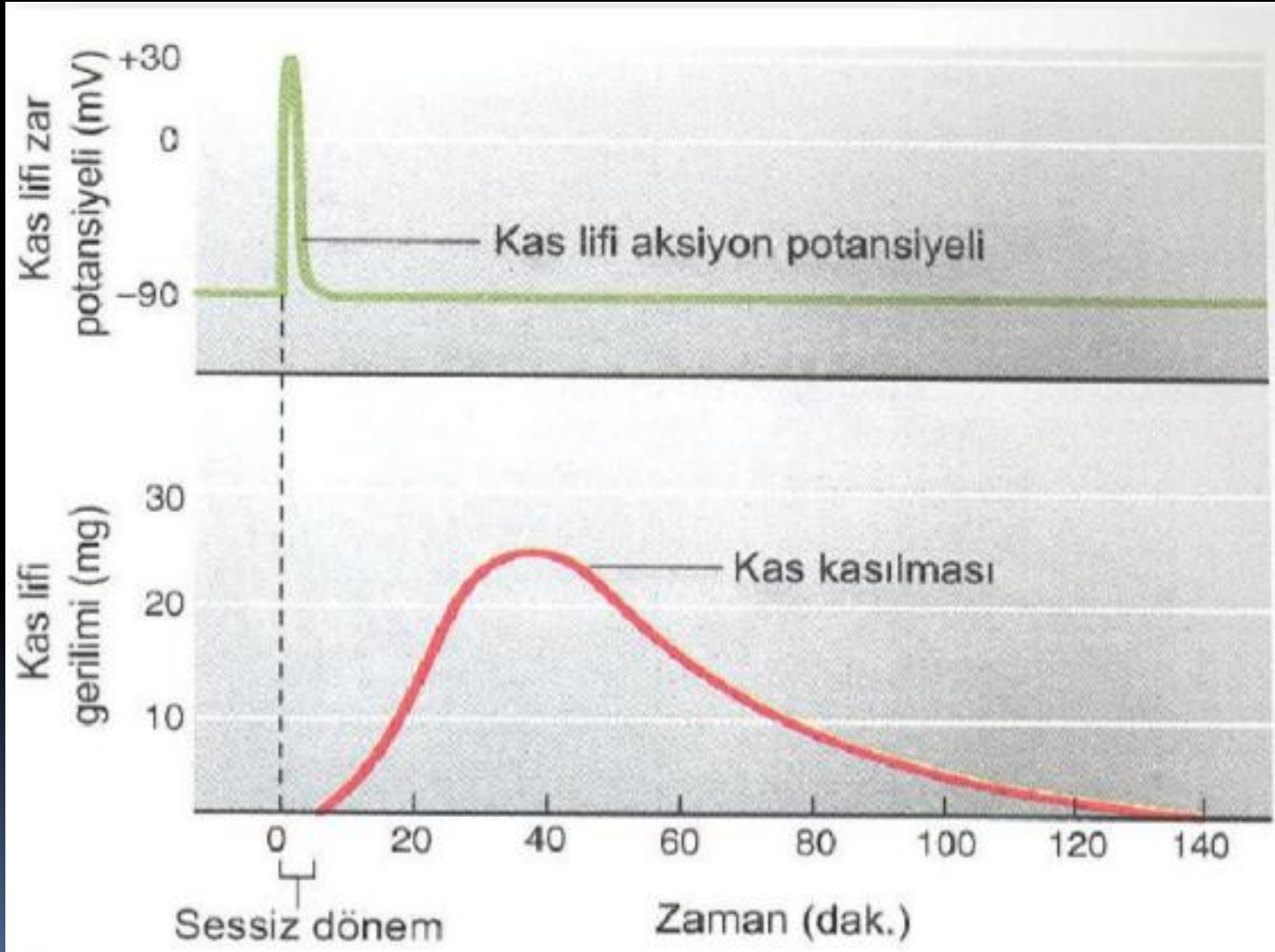
Kas Sarsısı

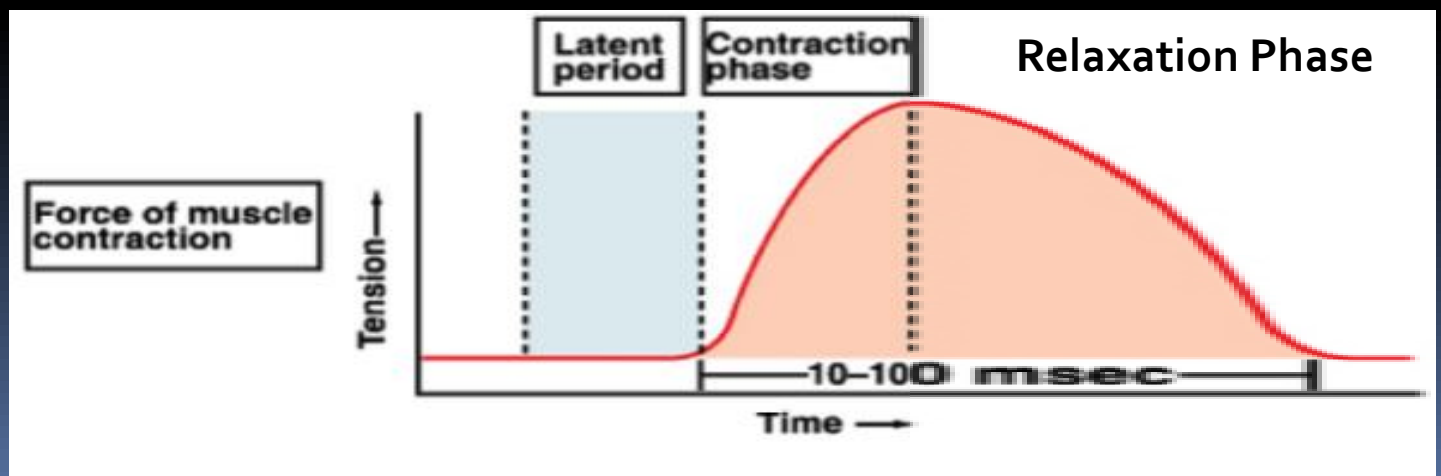
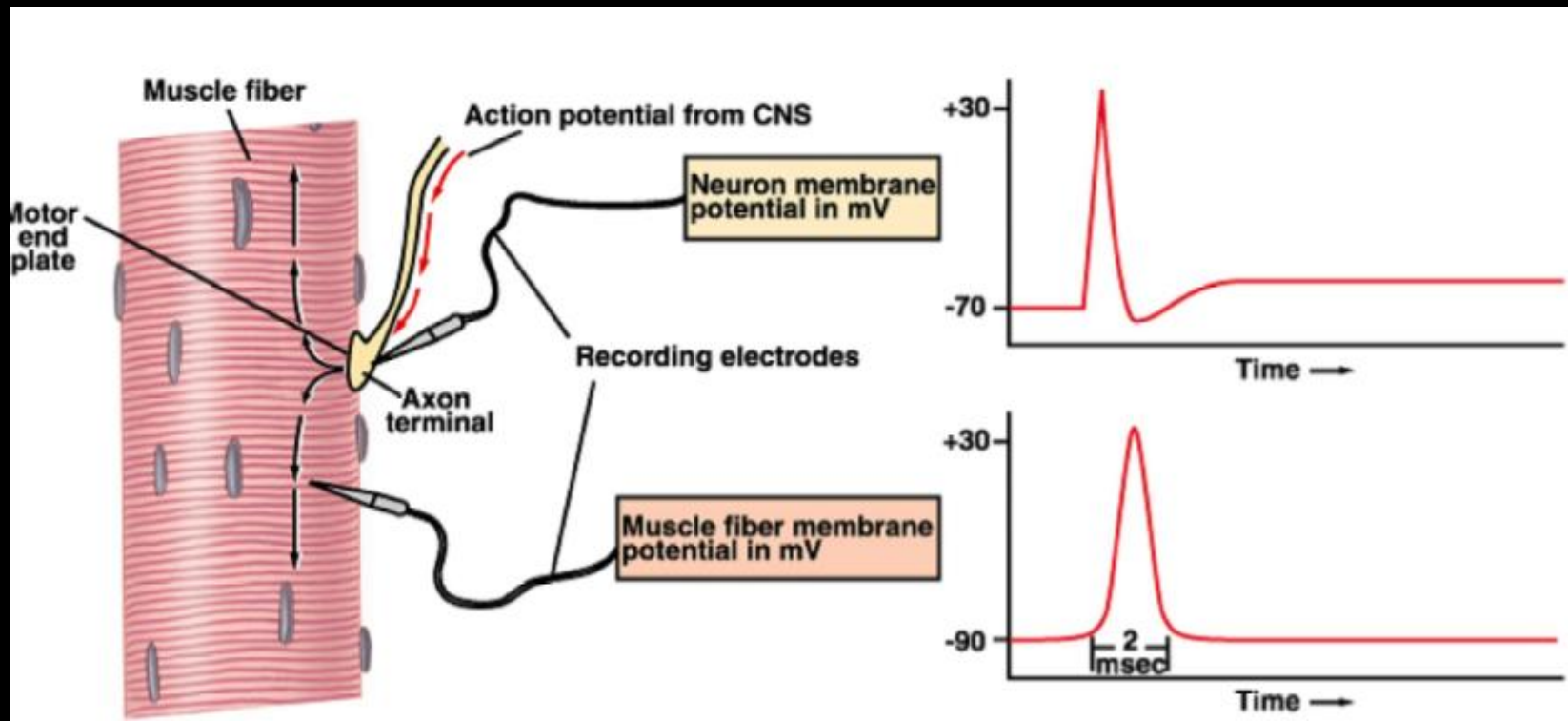
- Lifte sinir uyarısı ile gelişen tek bir aksiyon potansiyeli sonucu belli sürelerle kasılma ve bunu izleyen gevşemenin tümü kas sarsısı olarak adlandırılır.
- Kasılma ve gevşeme dönemlerinden önce sessiz bir dönem vardır.

İskelet kasında sarsı eğrisi

- İskelet kasında oluşan aksiyon potansiyeli 1-2 ms de, henüz hiçbir mekanik etkinlik başlamadan sonlanır.
- Bir kez başladığında, bir AP izleyen kasılma olayının gerçekleşmesi 100 ms veya daha fazla sürede tamamlanır.

İskelet kasında sarsı eğrisi





Kas Tonusu-1

- Kas lifleri sürekli bir şekilde sinir hücrelerinden uyarı alırlar.
- Bu uyarılar sayesinde hareket halinde olmadığımız zaman bile kaslarımız kas tonusu olarak bilinen kısmi bir kasılma durumundadır.
- Kas tonusu kasları harekete hazırlayan istem dışı bir fenomendir.

Kas Tonusu-2

- Kas tonusu vücudun normal duruşunu devam ettirilmesinde de önemlidir.
- Kasın motor siniri kesildiğinde kas tonusunu kaybeder, kaslarda yumuşama ve zayıflama görülür.

Kasılma Tipleri-1

1. **İzometrik kasılma:** Bir masa ya da duvara karşı itme hareketi sonucu kas boyunda değişme olmaz fakat gerimi (tonusu) artar.
2. **İzotonik kasılma:** Ağır bir şey kaldırdığımızda veya dirseğimizi büktüğümüzde kaslar kısalıp kalınlaşır fakat gerimi (tonusu) değişmez.

Isotonic Contraction

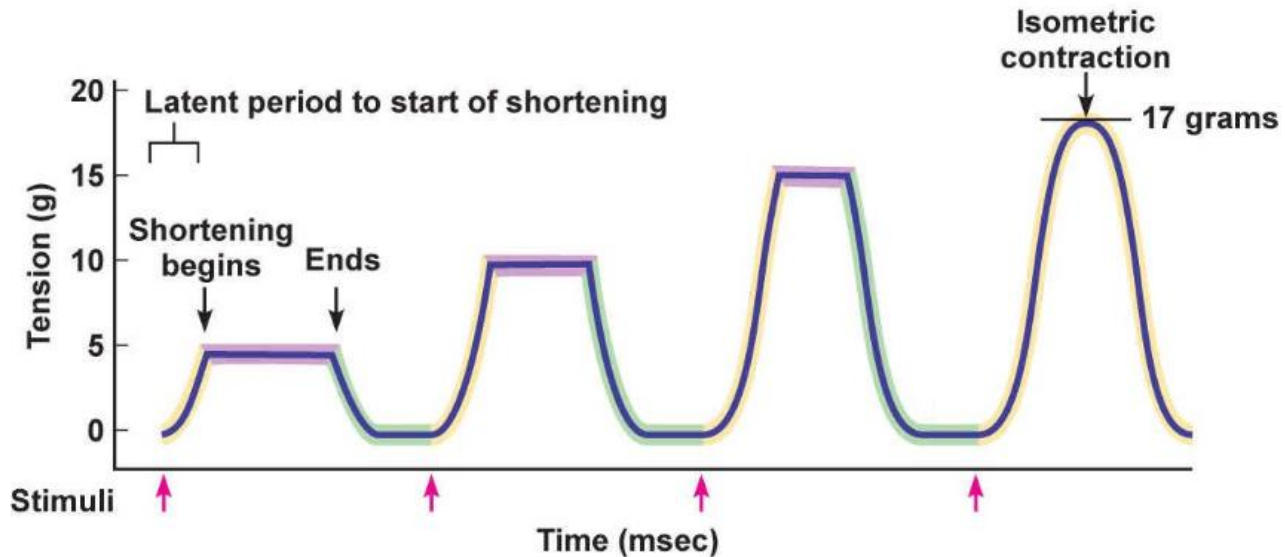
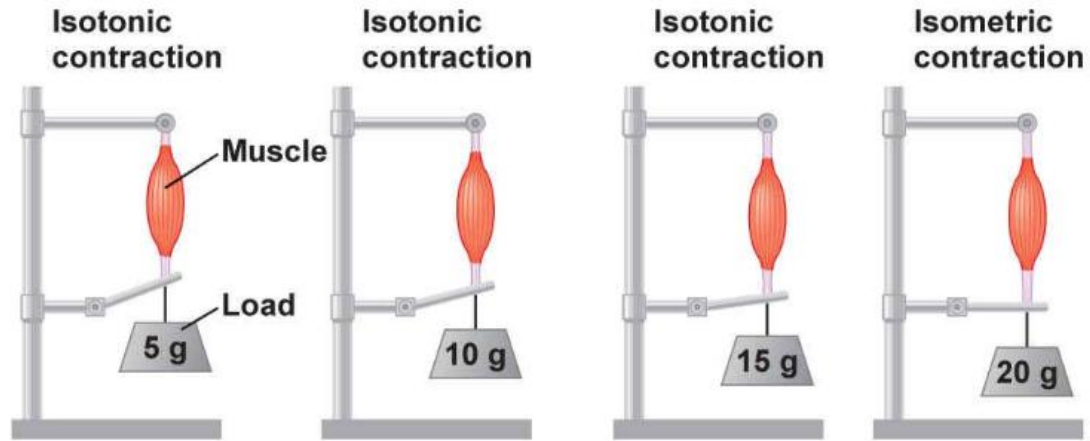


Isometric Contraction



Hole's Human Anatomy and Physiology, 7th edition, by Shier, et al.
copyright ©1996 TM Higher Education Group, Inc.

İzometrik kasılma

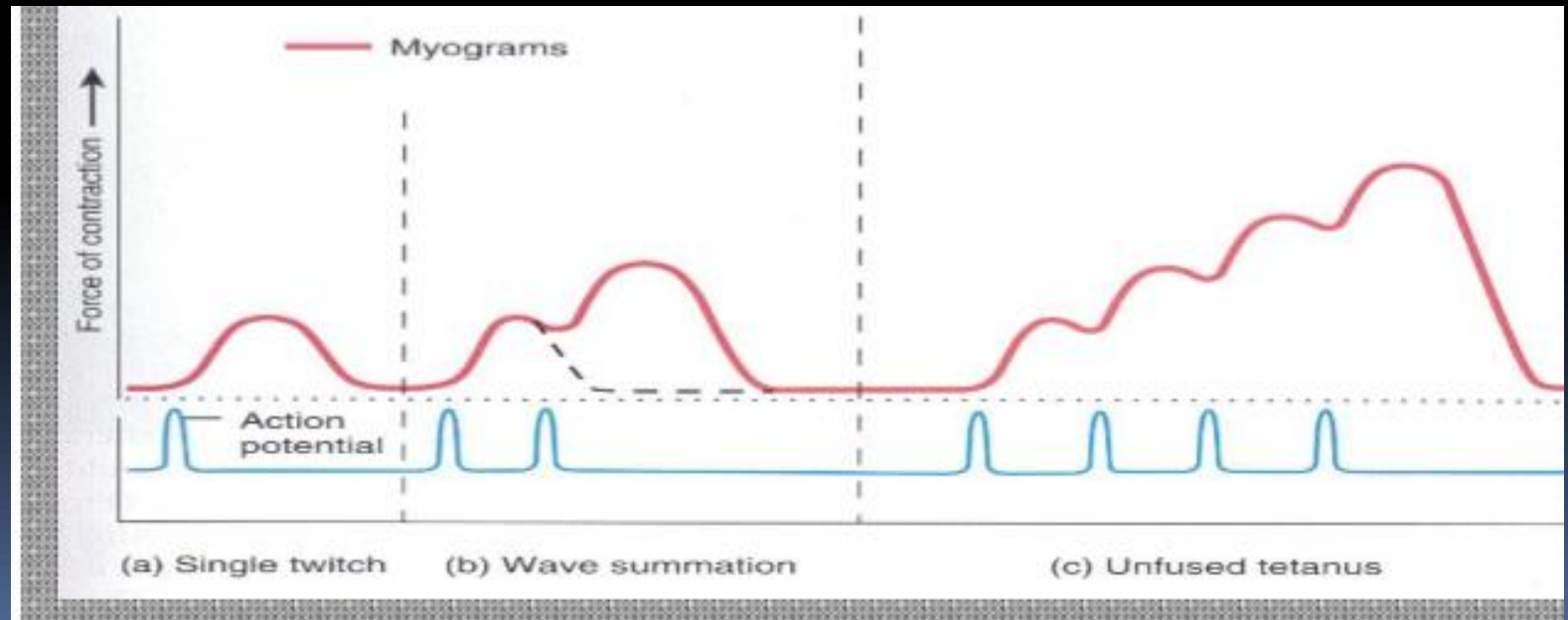


Kas dokusunda gerimi (kasılma gücü, “tension”) etkileyen unsurlar

- Uyarının sıklığı (frekans)
- Etkin motor birim sayısı
- Kas uzunluğu (boy-gerim ilişkisi)
- Kasılma hızı

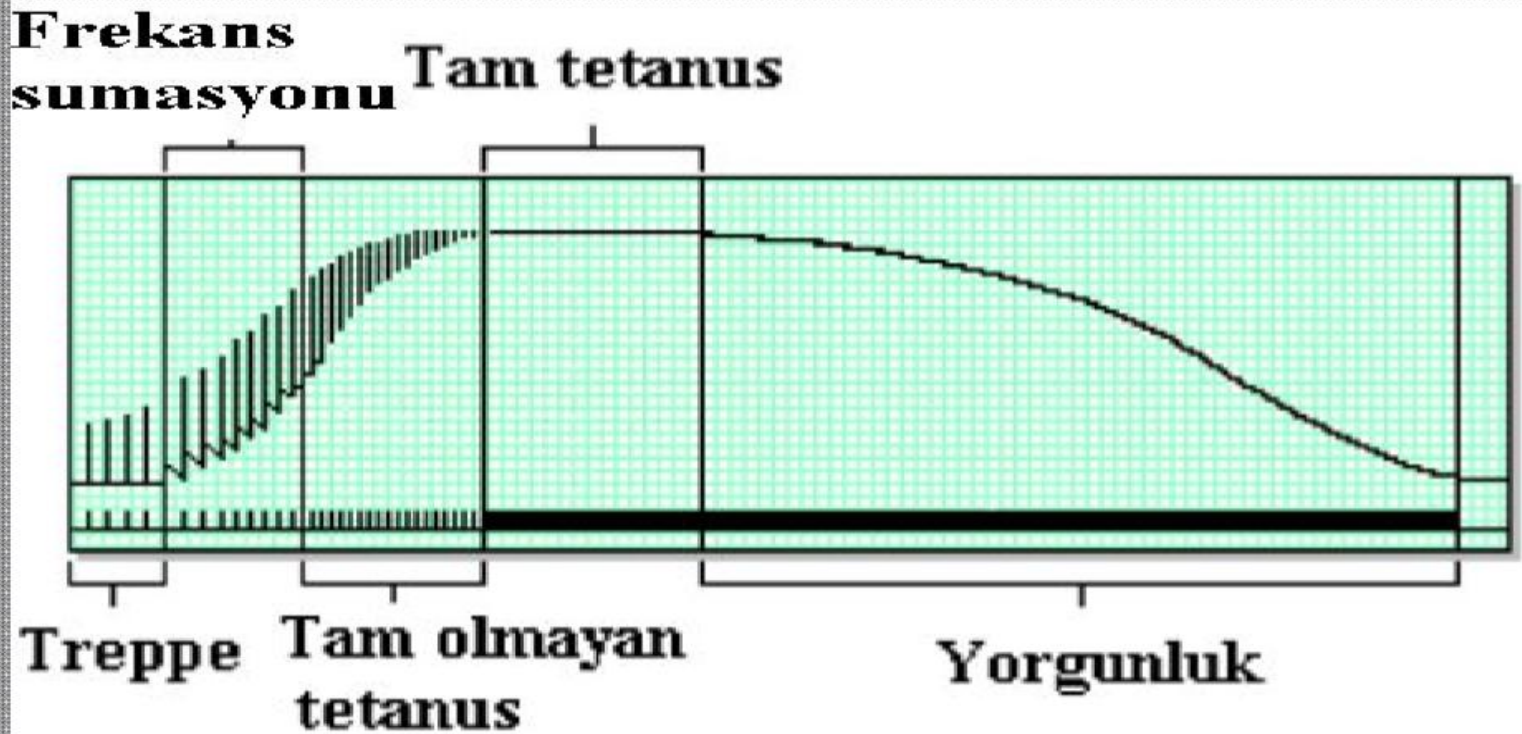
1. Uyarının sıklığı (Frekans)

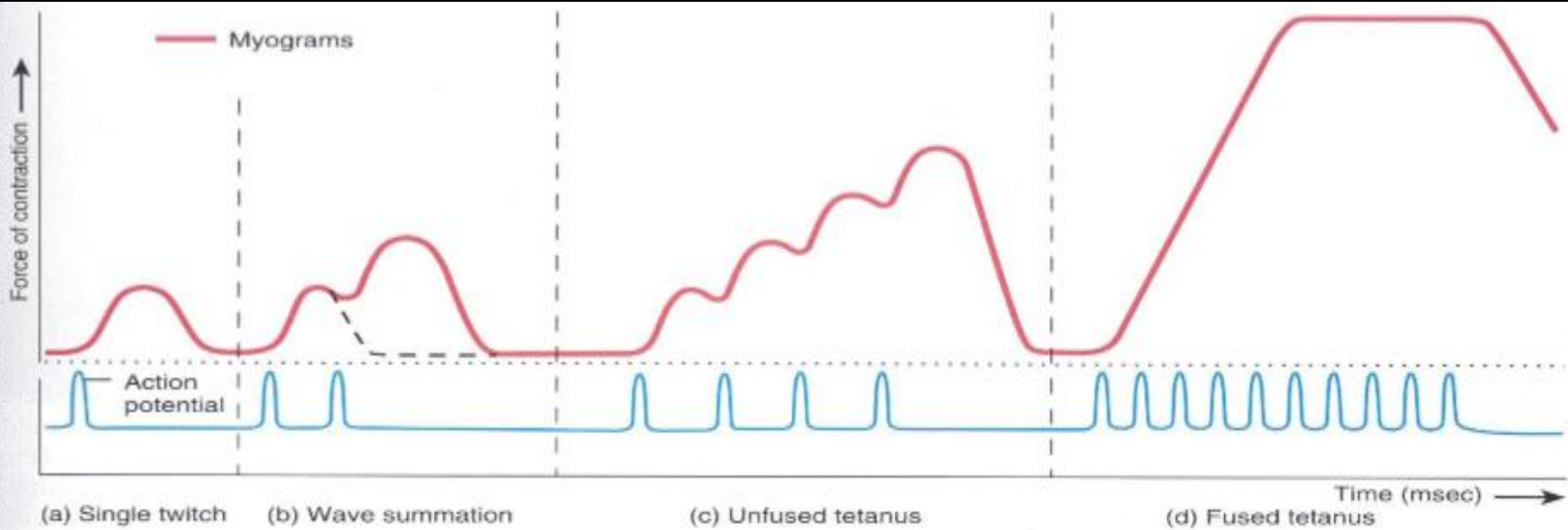
Frekansın giderek artması sonucu kasta ard arda gelen kasılmaların kaynaşarak oluşan kuvveti artırır.



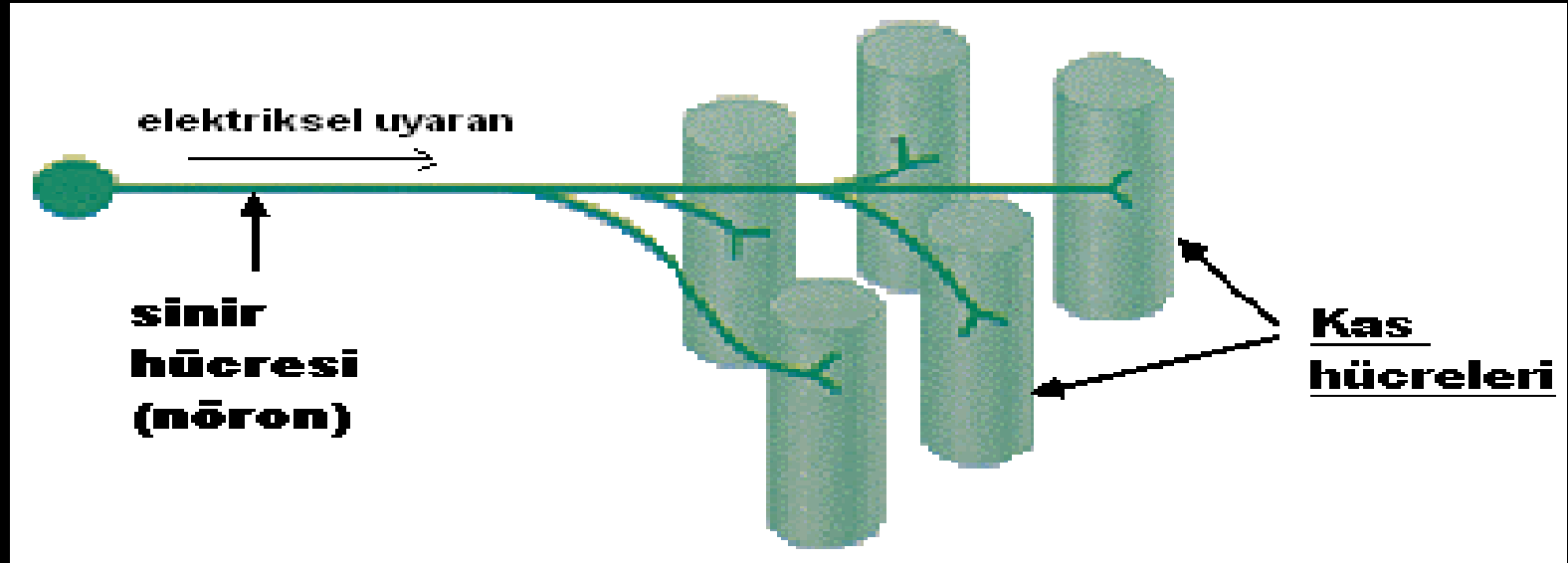
Kasta Tetanizasyon

- Frekansın daha da artması sonucu kasta ard arda gelen kasılmaların kaynaşarak ayırt edilememesidir.
- Tetanizasyona yol açan en düşük frekansa da **kritik frekans** denir.





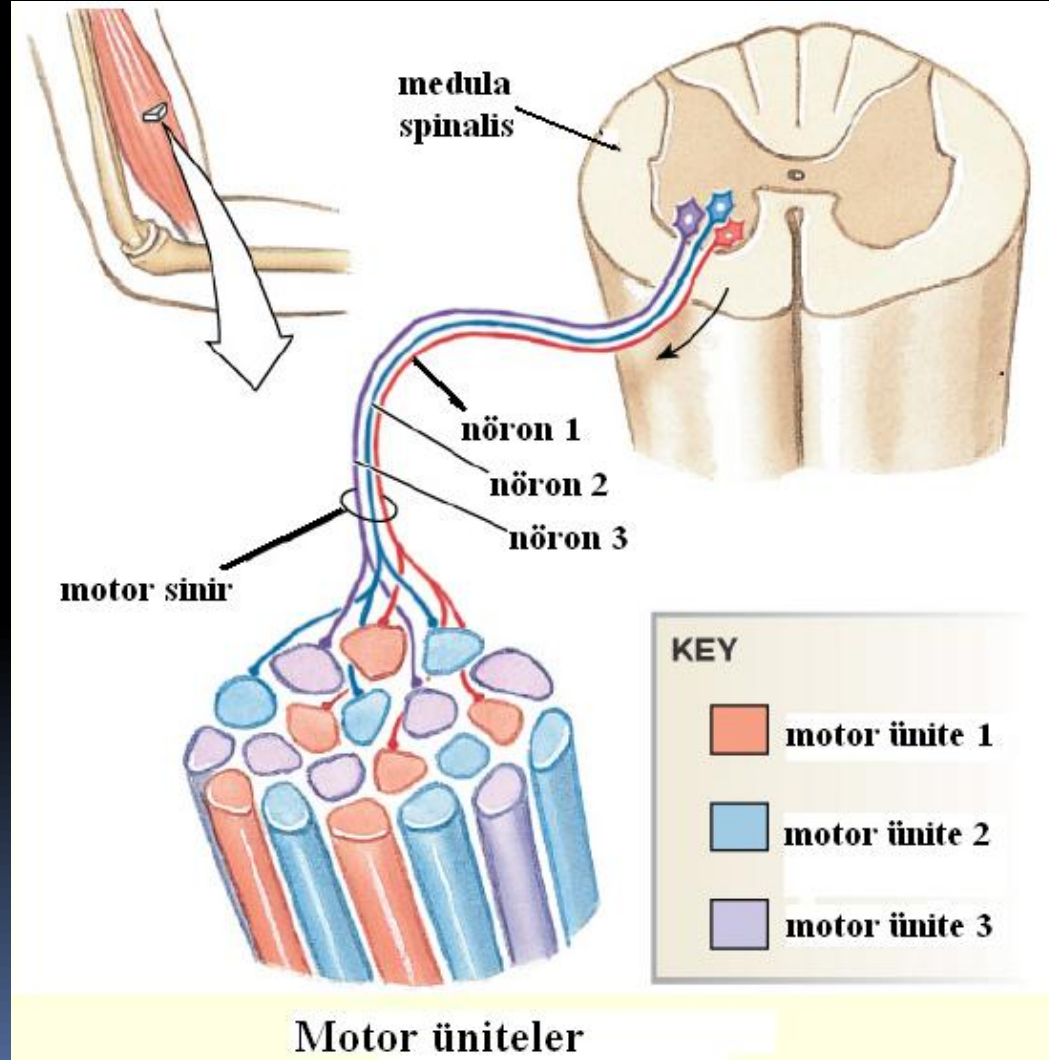
2- Motor Ünite sayısı



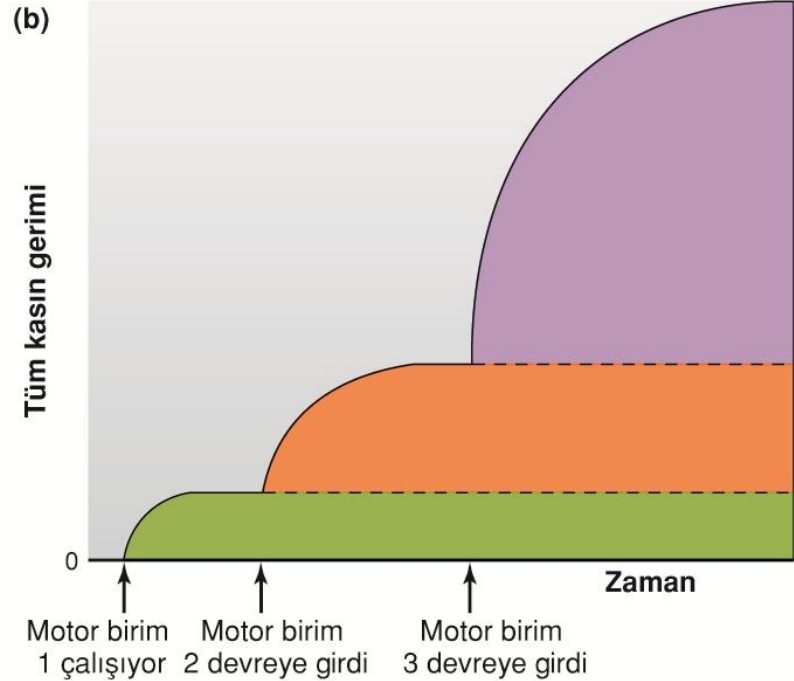
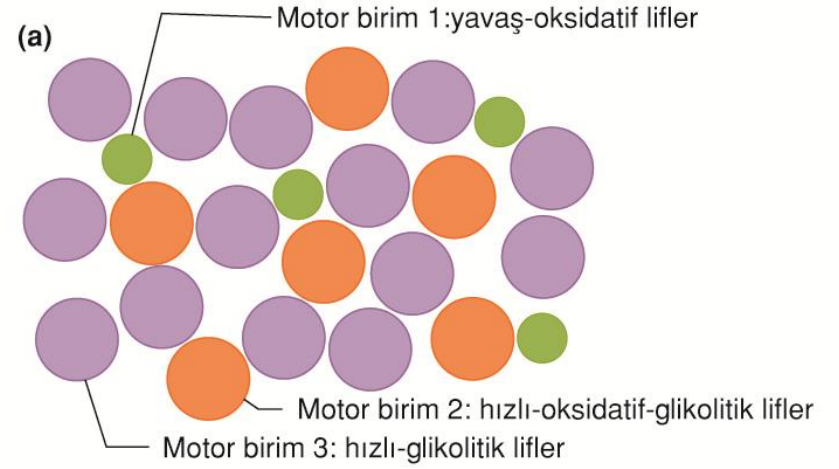
Bir sinir hücresi birden fazla kas lifini uyarır. Sinir hücresi ve uyardığı kas liflerinin tamamına birden motor birim denir.

Elektriksel uyarı akson boyunca ilerlediği zaman innerve ettiği bütün kas hücreleri aynı anda kasılır.

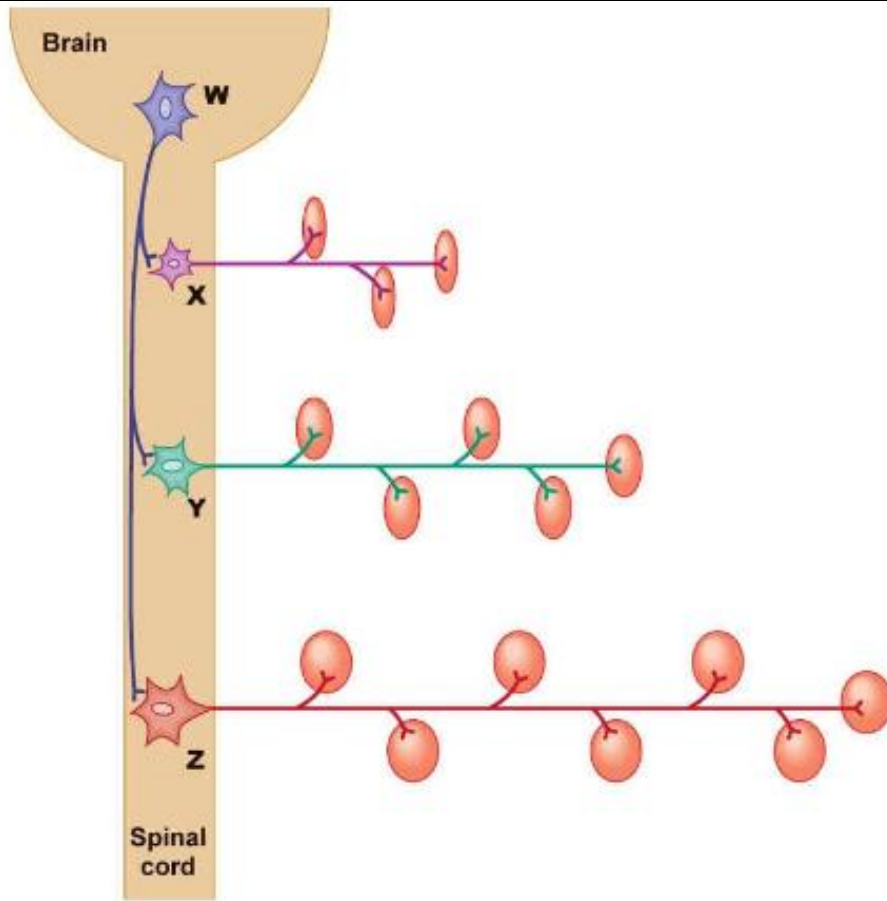
Bir kas deęişik liflerden oluşan
çok sayıda motor ünite içerir.



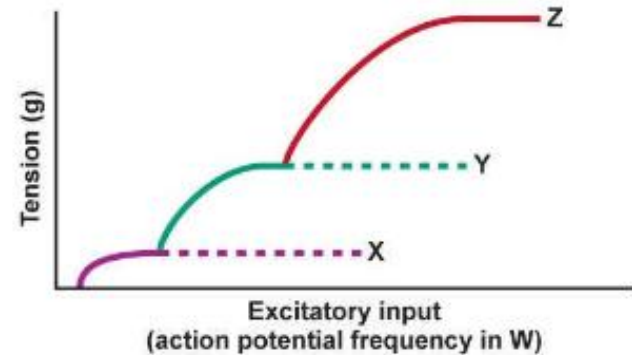
Motor birimlerin birikmesi-1



Motor birimlerin birikmesi-2



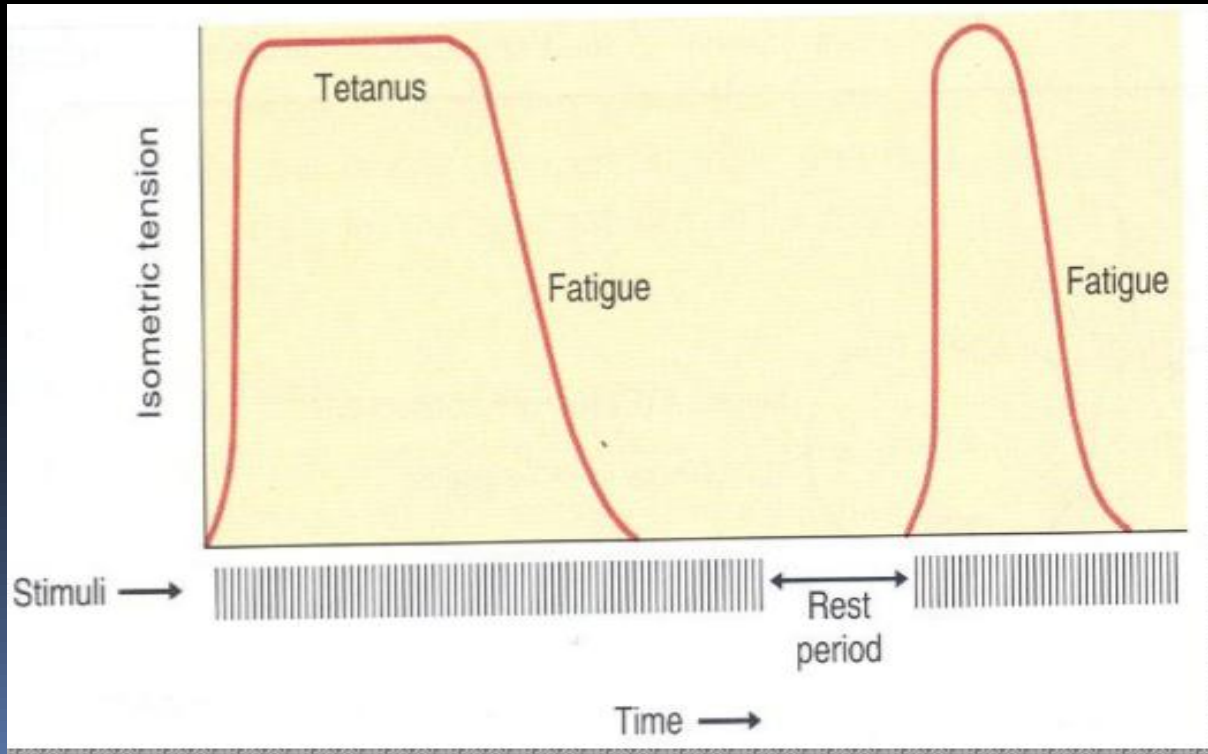
(a)



(b)

Kasta Yorgunluk

- Uzun süreli belli kuvvetteki kasılmalar sonrası kasın gücünü aynı düzeyde devam ettirememesi/kas lifinin kontraktil ve metabolik olayları aynı düzeyde sürdürememesi.



Görse1ler

- <http://www.bio-alive.com/animations/anatomy.htm>
- <http://smartimagebase.com/view-item?ItemID=16237>
- <http://www.bpcc.edu/sciencealliedhealth/humanphysiologylinks.html>
- <http://www2.uclan.ac.uk/visualization/index.html>