



Kas Fizyolojisi

Beslenme ve Diyetetik Bölümü
2017-2018 Öğretim Yılı

AÜTF Fizyoloji Anabilim Dalı

Arş.Gör.Dr. Fırat AKAT

akatfirat@gmail.com



https://twitter.com/Cld_Brnrd

Kas Sistemi



Kas

- Kimyasal enerjiden güç ve hareket üretme yeteneğinin, en yüksek olduğu hücreler kas hücreleridir.
- İnsan vücudunda üç tip kas vardır:
 1. İskelet Kası (Çizgili Kas)
 2. Düz Kas
 3. Kalp Kası

İskelet Kası

- İskelet kası istemli kontrol altındadır.
- Motor nöronlar tarafından uyarılır.
- Polinükleer hücrelerdir.
- Motor nörondan gelen uyarı kasa sinir-kas kavşağı üzerinden geçer. Kas aksiyon potansiyeli oluşur.
- Kas aksiyon potansiyelinin kas kasılmasına dönüşümüne eksitasyon-kontraksiyon çifti adı verilir.

İskelet Kası

- İleri derecede farklılaştıkları için bölünme yeteneklerini kaybetmişlerdir
- **Satellit** hücrelerin (myosatellit) farklılaşması ile yeni kas lifi oluşabilir. Ancak ciddi kas hasarlarında kuvvet tamamen yerine konulamaz.
- Kastaki güç arttırımının temel mekanizması hipertrofidir.

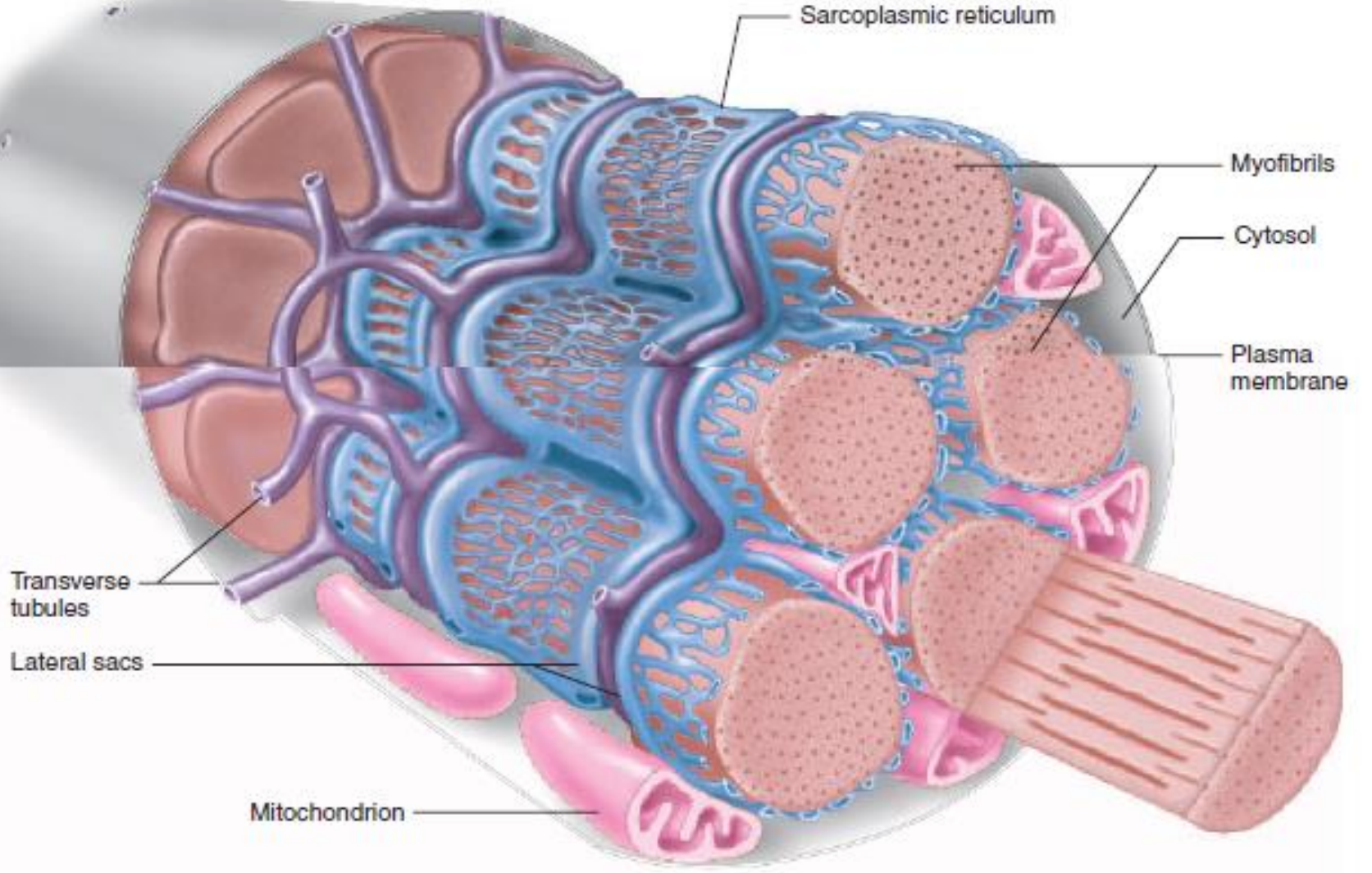
İskelet Kasının Yapısal Özellikleri

- Tek bir iskelet kası hücrelerine kas lifi denir. Kas birden fazla kas lifinin bağ dokusuyla sarılması sonucu oluşmuş yapının adıdır.
- Kas lifinin;
 - Sitoplazmasına sarkoplazma,
 - Membranına sarkolemma,
 - ER'sine sarkoplazmik retikulum adı verilir.

İskelet Kasının Yapısal Özellikleri

- İskelet kasları çizgili kas özelliği gösterir. Bu görünümün sebebi kas lifinin sitoplazmasında bulunan miyofibrillerdir.
- Miyofibriller, kalın ve ince filamentlerden oluşur.
- Triyad yapısı: İki terminal sisterna ile bir T-Tübülün birleşmesine triad adı verilir.

(b)

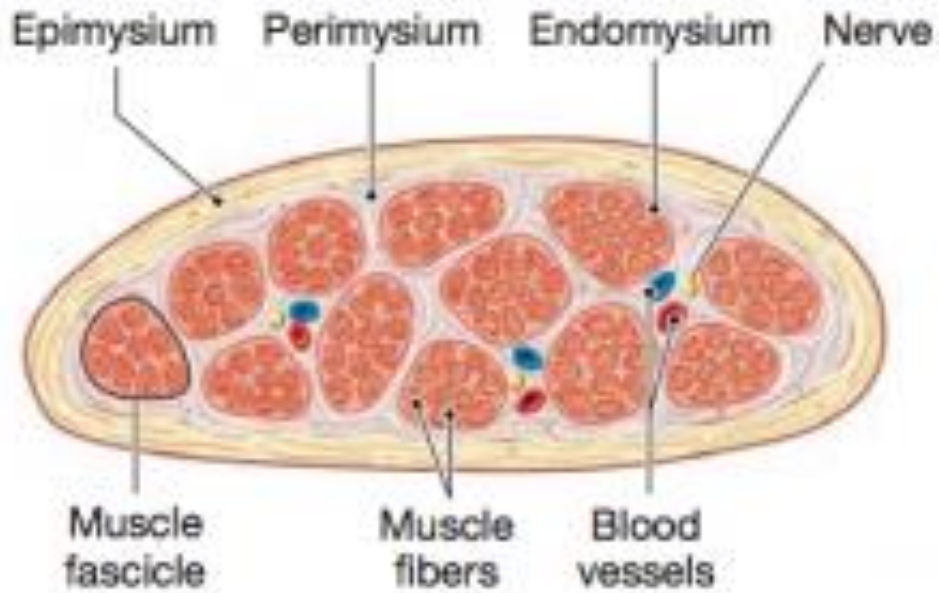
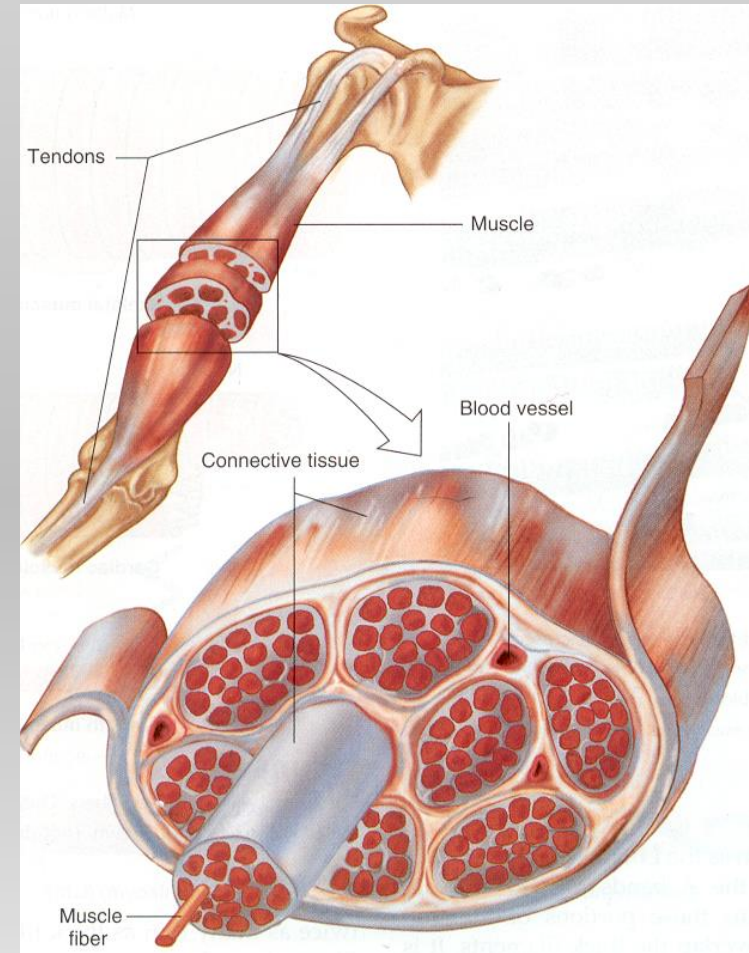
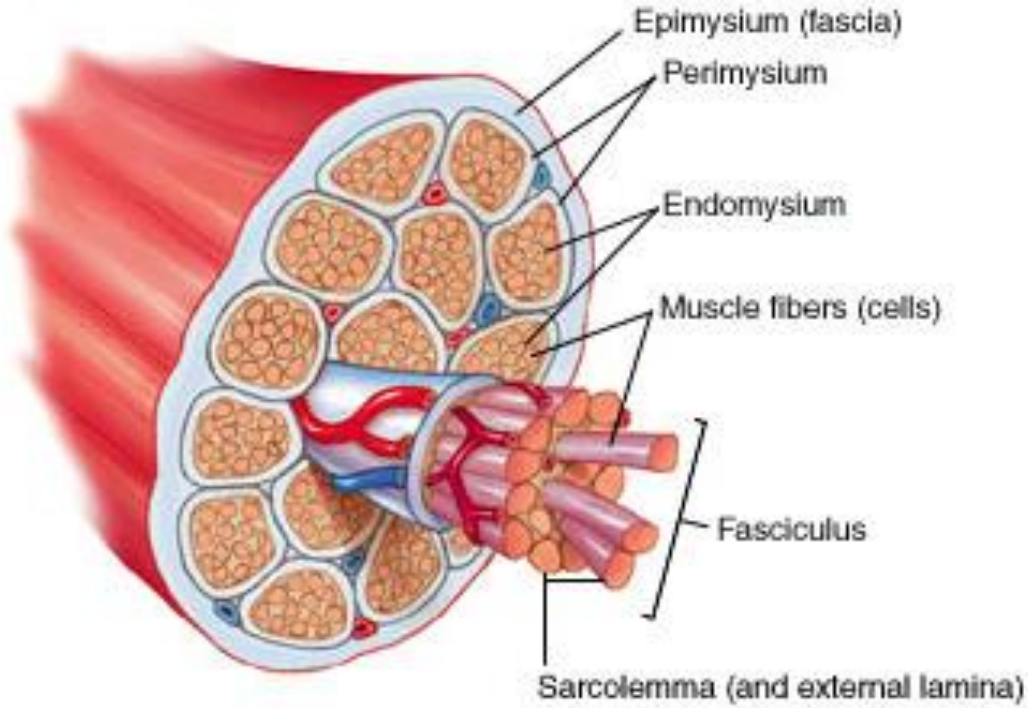


URE 9-15

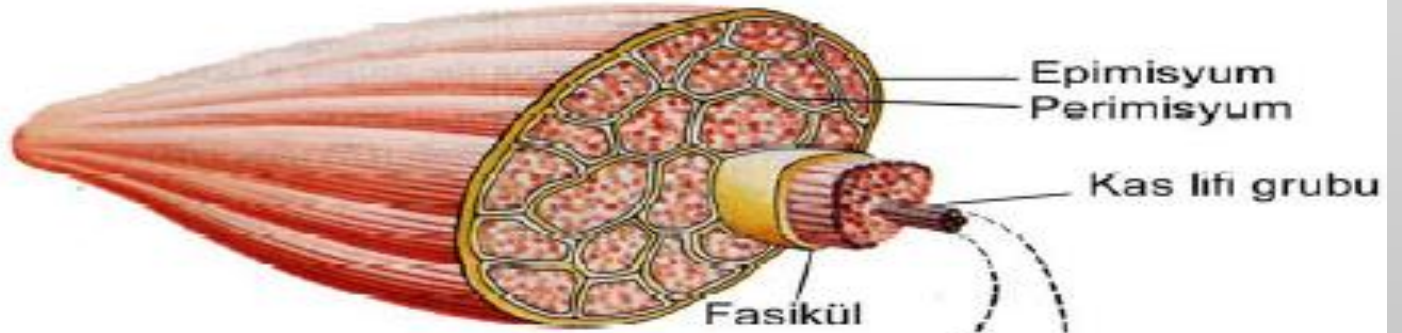
Tek bir kas lifinin (=tek bir kas hücresinin) kesitidir.

İskelet Kasının Yapısal Özellikleri

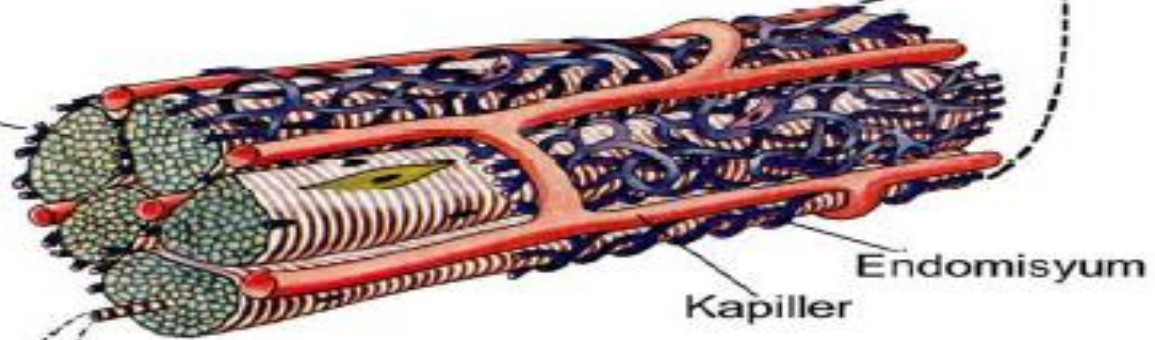
- **Kas**; birbirlerine bağ dokusu ile bağlanmış çok sayıda kas lifinden oluşur.
 - Kas liflerini **endomisyum** denen bir bağ dokusu tabakası çevreler.
 - Her bir kas lifi demeti de ince bir bağ dokusu ile (**perimisyum**) çevrilmiştir (Kan ve sinir).
 - Kasın tamamı ise kalın bir bağ dokusu ile (**epimisyum**) çevrilmiştir.
- Kas, kollajen lif demetleri (tendon) ile iki ucundan kemiğe bağlanır.



KAS



KAS LİFİ



MİYOFİBRİL

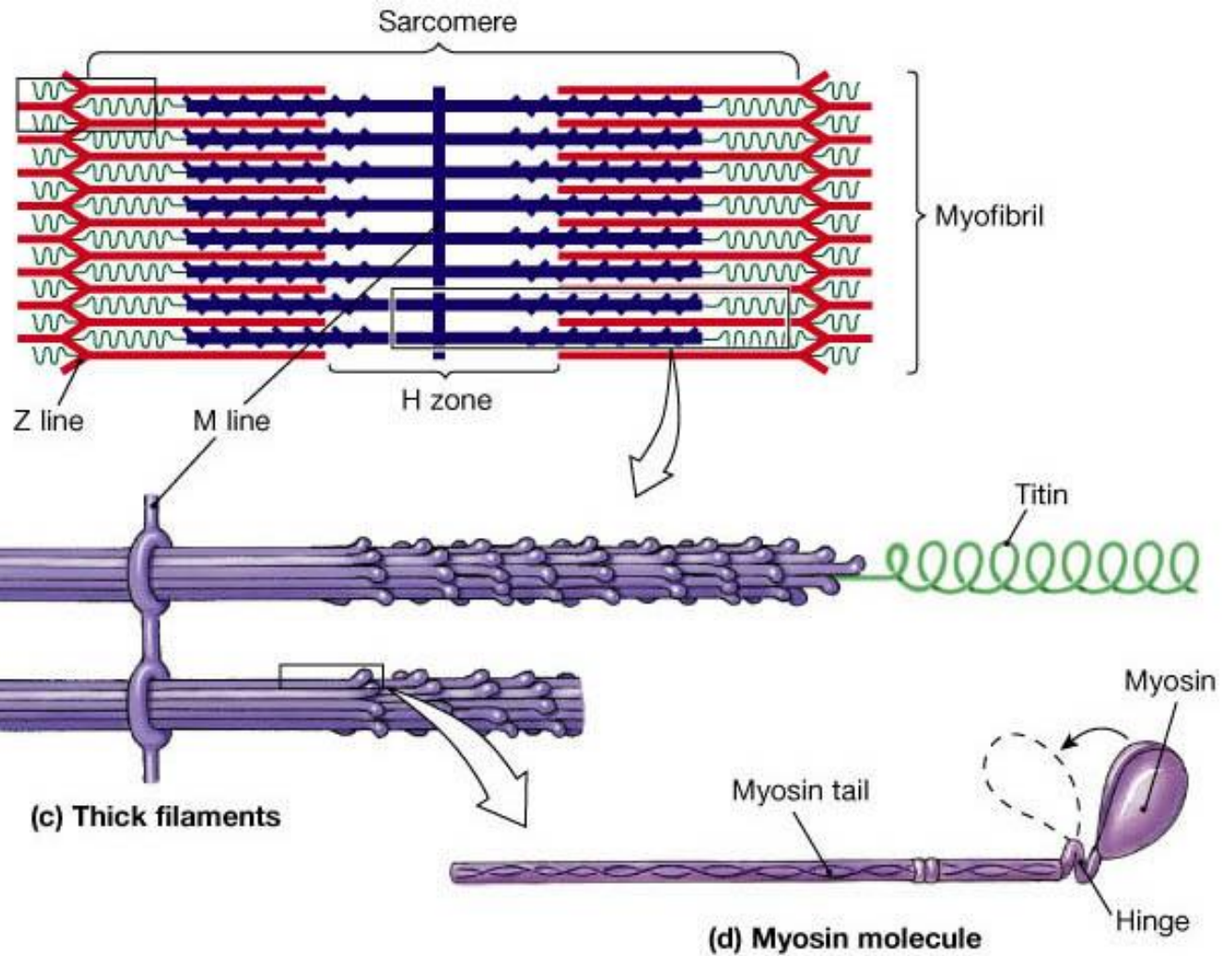


MİYOFİLAMANLAR



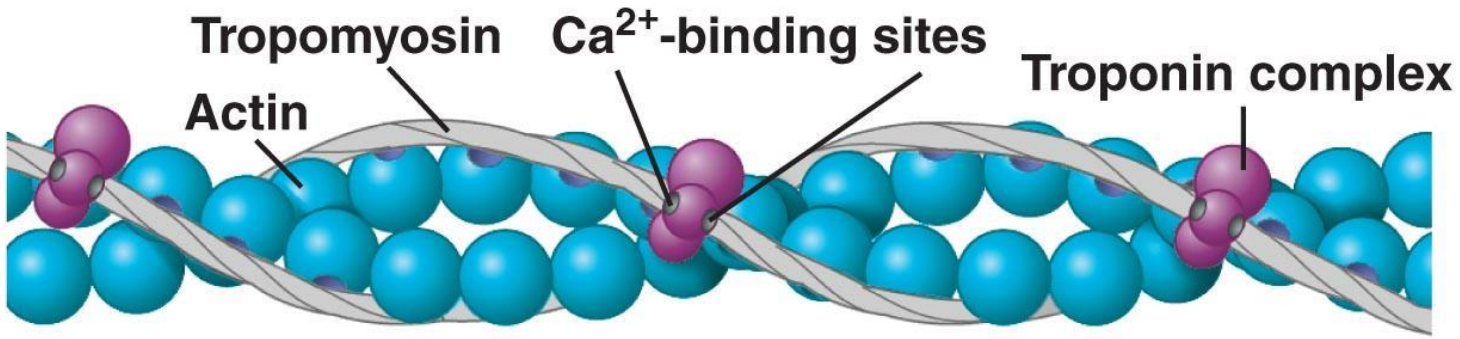
Kalın Filamentler

- Kalın filamentler, miyozin proteini tarafından oluşturulur.
- Ağır ve hafif zincirden oluşur. Ağır zincir miyozinin kuyruk kısmını. Hafif zincir ise miyozinin globüler baş kısmını oluşturur.
- Miyozin başlarında, ATP ve aktin bağlayan bölgeler bulunur.

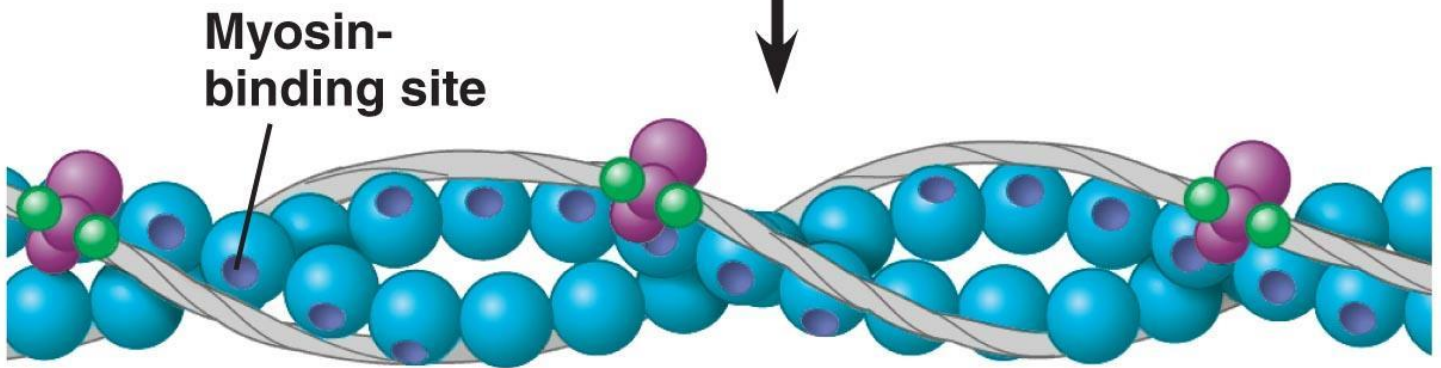
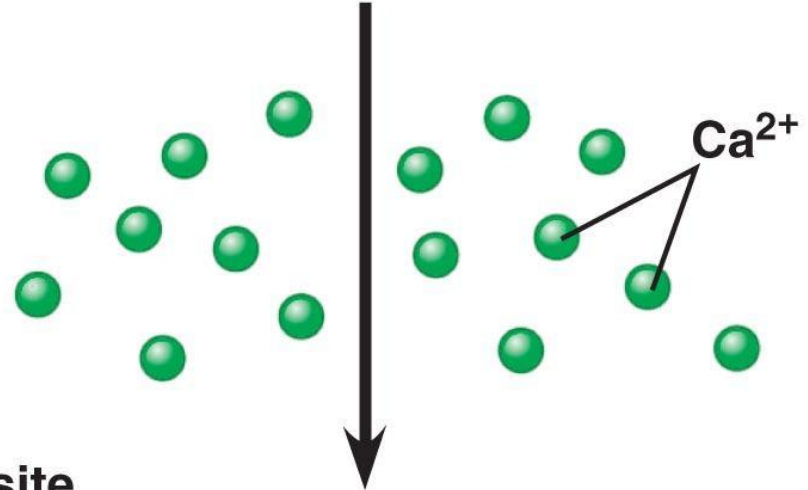


İnce Filamentler

- İnce filamentleri aktin, troponin ve tropomiyozin proteinleri oluşturur.
- Aktin molekülleri ikili bir sarmal şeklinde dizilir. Aktin zinciri üzerinde miyozinin bağlanacağı bölgeler bulunur.
- Kas dinlenim durumunda iken bu bölgeler tropomiyozin tarafından kapatılır.
- Troponin T, I ve C olmak üzere üç altbirimden oluşur.
- Hücre içi kalsiyum artışı troponin C'yi uyarır. Yapısı değişen troponin molekülü tropomiyozini aktif bölgelerden uzaklaştırır.



Myosin-binding sites blocked



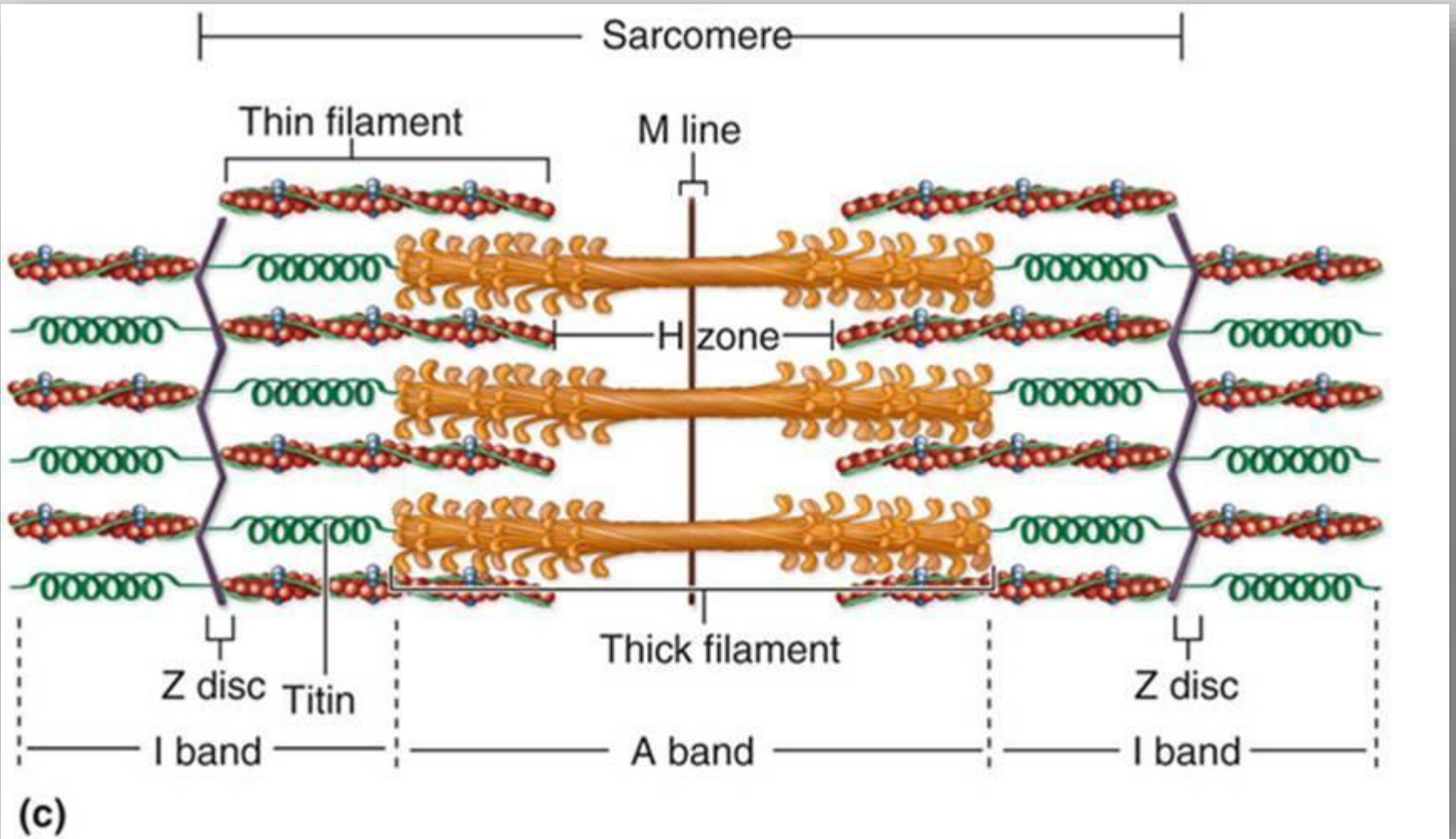
Myosin-binding sites exposed

Sarkomer

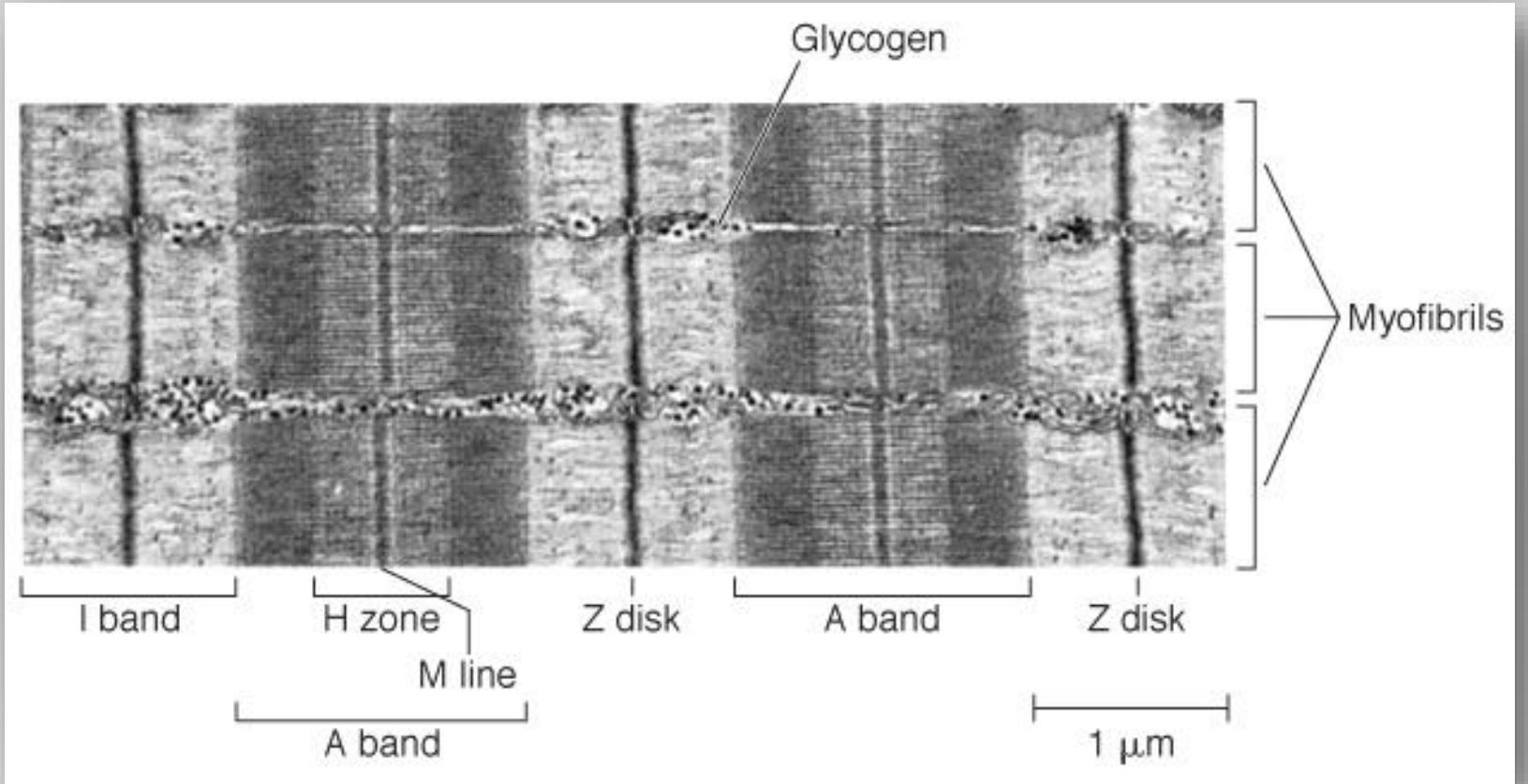
- İnce ve kalın filamentler kas lifi boyunca tekrarlayan üniteler şeklinde yerleşirler. Bu ünitelerin her birine sarkomer denir.
- En küçük kasılabilen birimdir.
- Sarkomerin sınırlarını Z diskleri oluşturur.
- Bu diskler titin denilen bağlayıcı protein ile kalın filamentlere bağlanırlar.

Bantlar

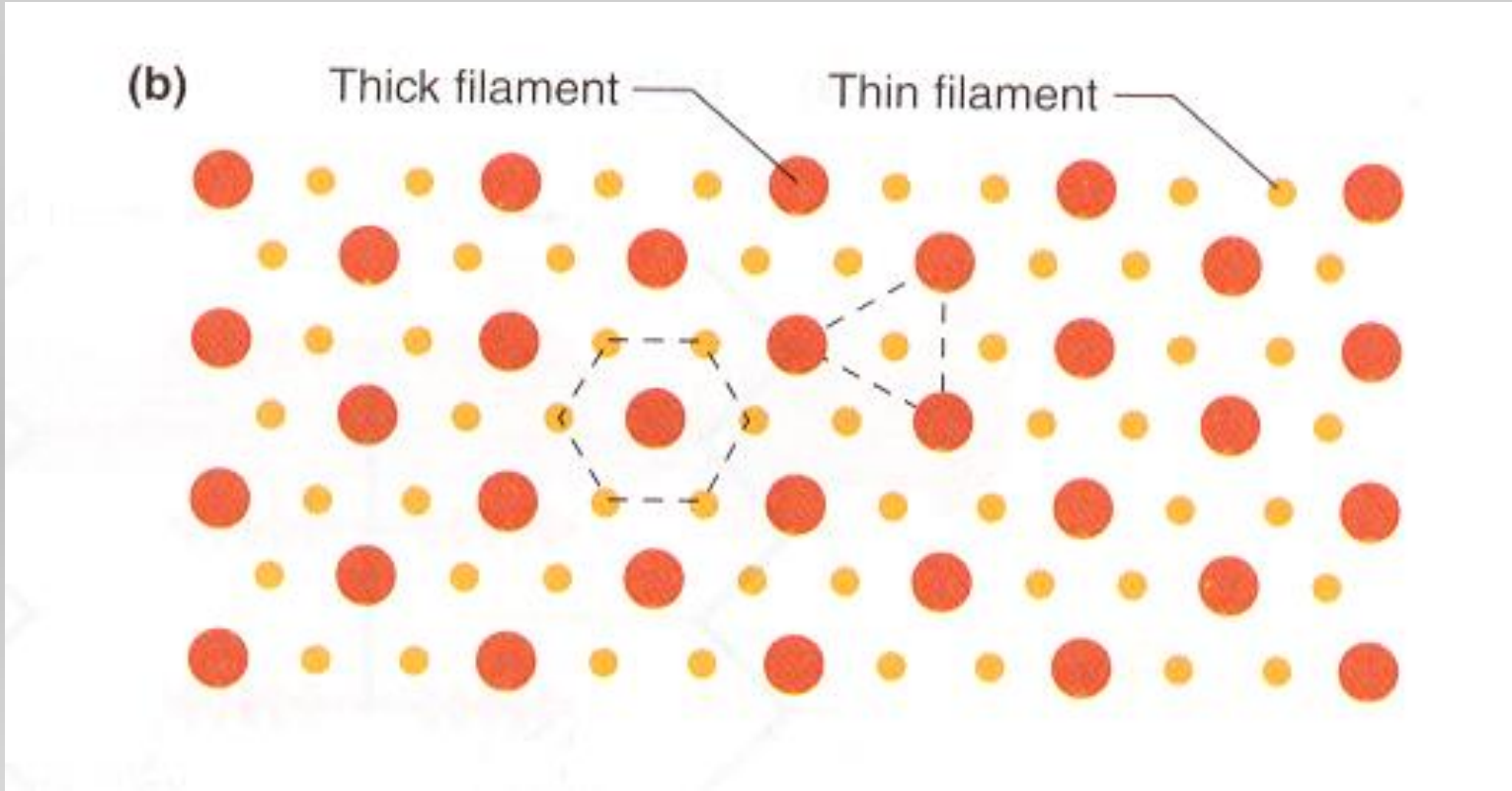
- A bandı: Sarkomerin merkezinde aktin ve miyozin birlikte koyu renkli A bantlarını oluşturur. Çapraz köprü oluşum bölgesidir.
- I Bandı: İnce filamentleri, ara bağlayıcı proteinleri ve Z disklerini içerir. Açık renkli bantlardır. A bandının iki yanında yer alır.
- Z Diskleri: Sarkomerin iki sınırında, her iki I bandının ortasında bulunur.
- H Bölgesi: Sarkomerin ortasında sadece kalın filamentlerin bulunduğu bölgedir.
- M Çizgisi: H Bölgesini ortadan ikiye ayırır. Koyu renkli proteinlerden oluşur.



Gıcık Soru: Kas kasılmasında hangi bandın boyu değişmez?



İskelet kasının elektron mikroskobu görüntüsü



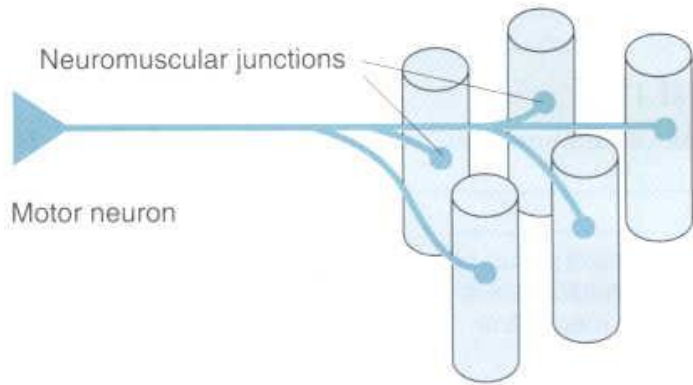
İnce ve kalın filamentlerin geometrik dizilişi

Motor Ünite Kavramı

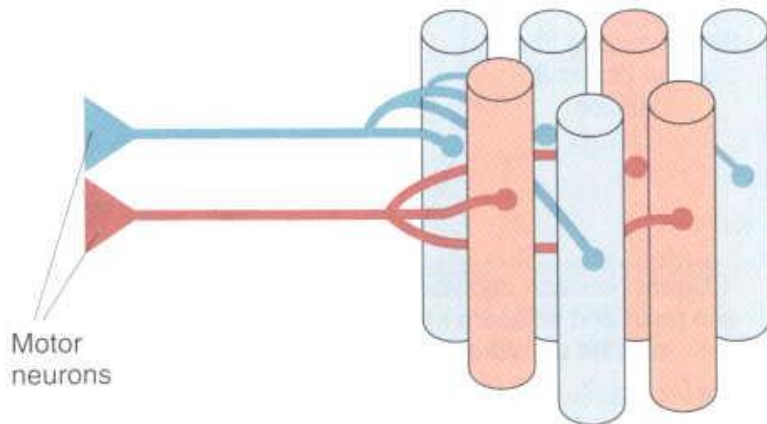
- İskelet kasını uyararak sinire motor nöron denir.
- Hücre gövdeleri omuriliğin ön boynuzunda bulunur. Tek bir aksonla kasa ulaşır.
- Kasa ulaştınca kas liflerine ayrı ayrı dallar verir.
- Bir motor nöron + uyardığı kas liflerinin hepsi = motor ünite
- Uyarılan kas lifi sayısı değişebilir.

Gıcık Soru: Motor ünitedeki uyarılan kas lifi sayısının az/fazla olması neyi değiştirir?

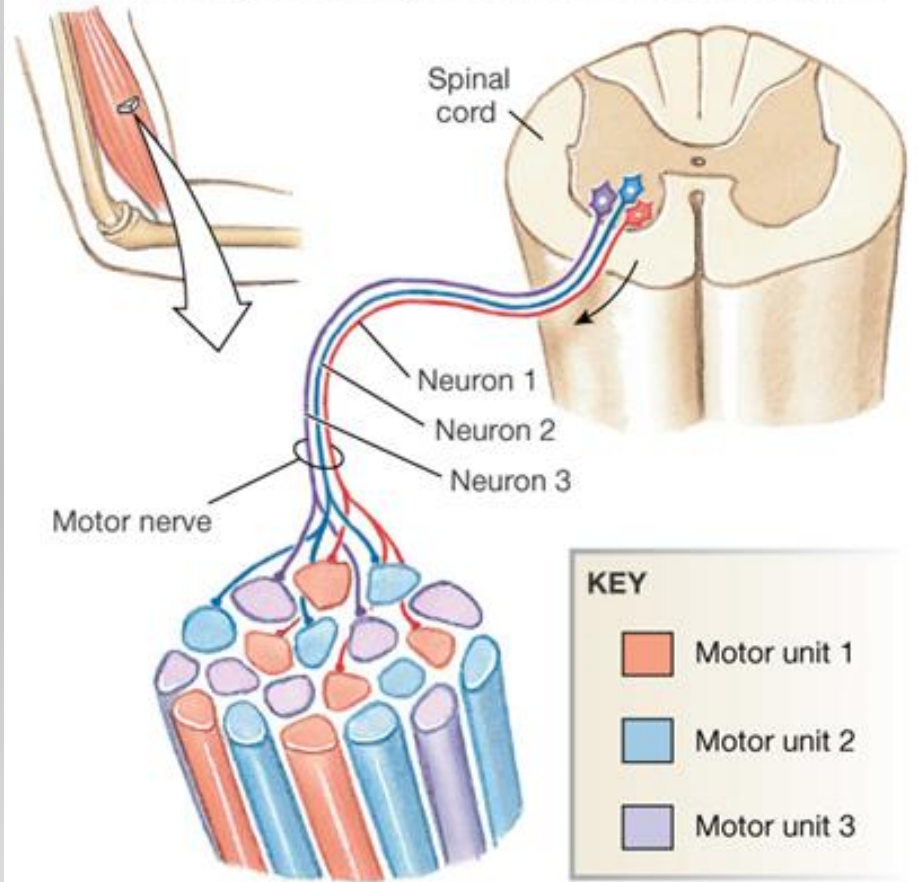
(A) SINGLE MOTOR UNIT



(B) TWO MOTOR UNITS



One muscle may have many motor units of different fiber types.



Motor Ünite Kavramı

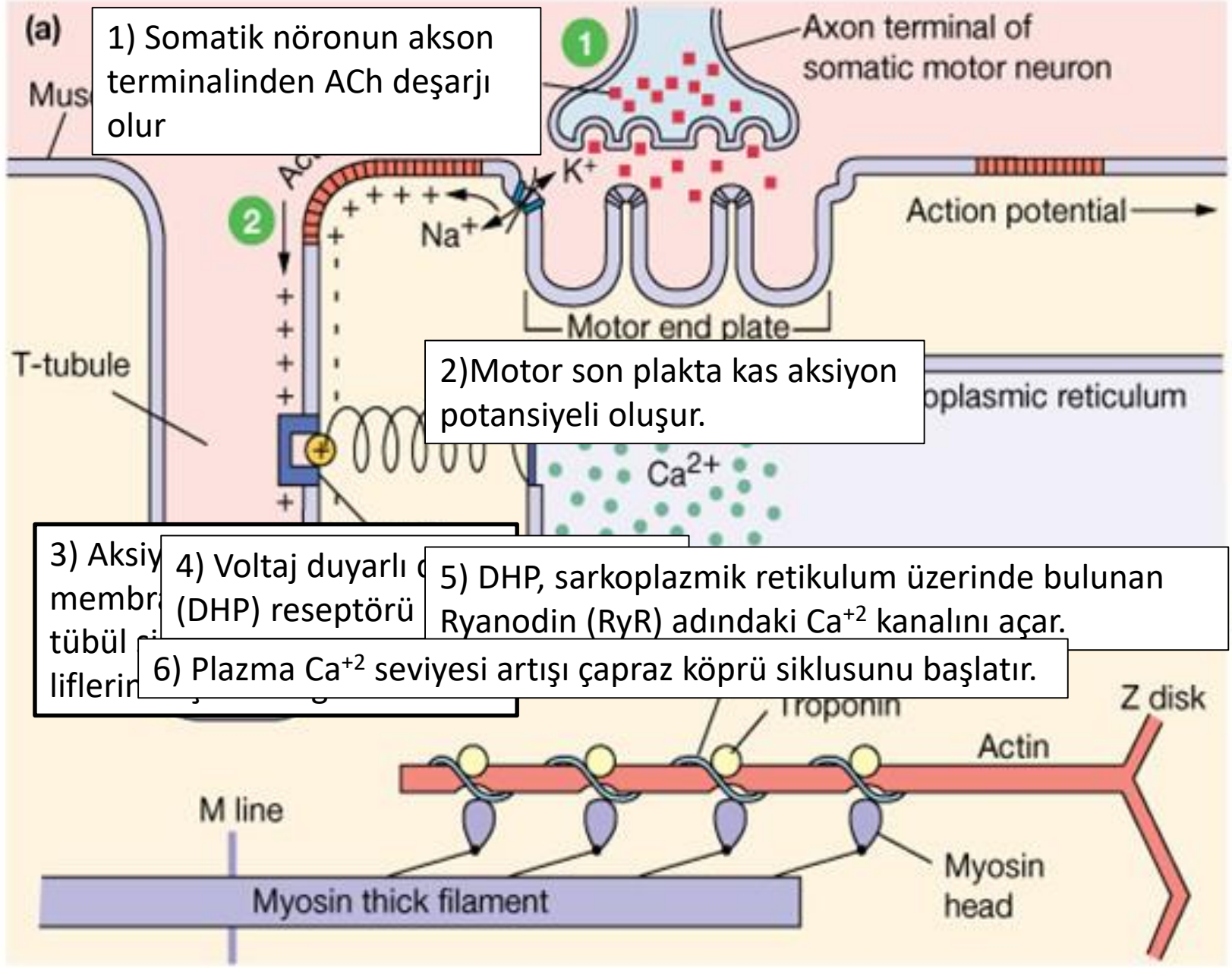
- İnce motor hareket yeteneği olan larinks, göz kası gibi küçük kasların motor ünitelerinde 2-3 kas lifi bulunurken
- Kaba fonksiyon gören (örn.sırt kasları) büyük kasların motor ünitelerinde ortalama 1000 kas lifi bulunabilir.

Sinir Kas Kavşığı

- Motor nöron ile kas lifi arasındaki sinapsa sinir kas kavşığı denir.
- Kas lifi plazma zarı, motor nöron akson terminalinin ulaştığı bölgede motor son plak denilen öze bir yapı oluşturur.
- Kas lifi membranı bu bölgede bir çok girinti çıkıntı yaparak yüzeyi genişletir.
- Kasa ulaşan motor nöron aksonları miyelin kılıflarını kaybettikten sonra bir çok dallara ayrılır (Her bir kas lifine ayrı dal verir).

Sinir Kas Kavşagında Sinyal İletimi

1. Somatik nöronun akson terminalinden ACh deşarjı olur.
2. Motor son plakta “kas aksiyon potansiyeli” oluşur.
3. Aksiyon potansiyeli plazma membranı boyunca yayılır. T-tübül sistemi sayesinde kas liflerinin içersine girer.
4. Voltaj duyarlı dihidropiridin (DHP) reseptörü uyarılır.
5. DHP, sarkoplazmik retikulum üzerinde bulunan Ryanodin (RyR) adındaki Ca^{+2} kanalını açar.
6. Plazma Ca^{+2} seviyesi artışı çapraz köprü siklusunu başlatır.



Eksitasyon-Kontraksiyon Çiftleniminin Devamı

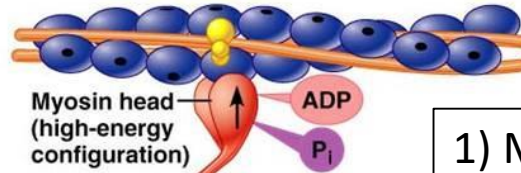
Plazma Ca^{2+} düzeyinin artışı ile birlikte...

1. Artan Ca^{2+} Troponin C'ye bağlanır. Troponin molekülünün yapısı değişir.
2. Troponin tropomiyozini çekerek aktinin bağlanma bölgelerinden uzaklaştırır.
3. Miyozin başları spesifik bölgelere bağlanarak çapraz köprüleri oluşturur.
4. Filamentler bu köprüler sayesinde kayar.
5. Ca^{2+} iyonlarının SR'ye geri pompalanması ve hücre içi Ca^{2+} konsantrasyonunun azalması ile birlikte gevşeme gerçekleşir.



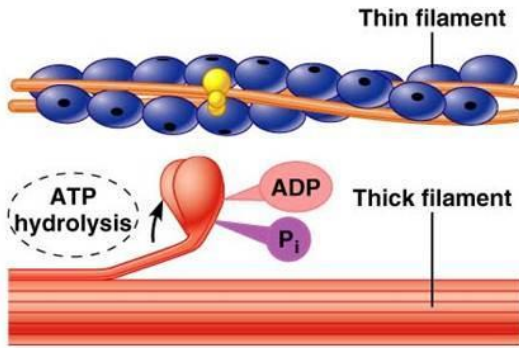
Çapraz Köprü Siklusu

1. ATP miyozine bağlanır. Aktine bağlı çapraz köprüler ayrılır.
2. ATP hidrolize edilerek. Miyozin başı şarj edilir.
3. Yüksek enerjili miyozin aktine bağlanır.
4. Güç vurumu gerçekleşir.

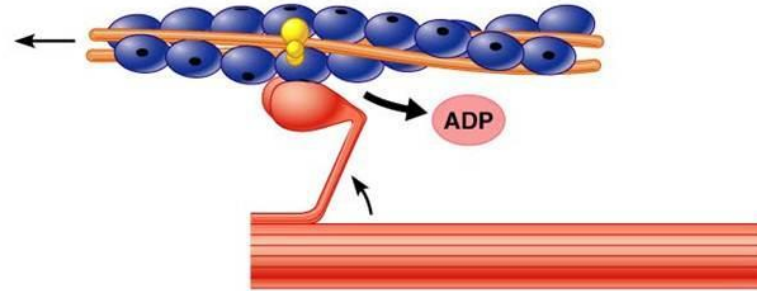


① Myosin head attaches to the actin myofilament, forming a cross bridge.

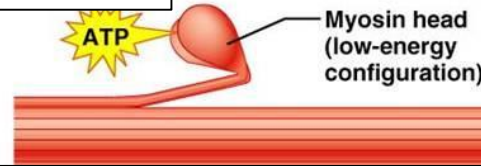
1) Miyozin (yüksek enerjili) başı aktine bağlanır, çapraz köprü oluşturur.



4) ATP hidrolize edilir. Miyozin yüksek enerjili forma geçer. Bağlanmaya hazırdır. Kurulmuş bir silah gibi...



② 2) Güç vurumu gerçekleşir. Miyozin başı aktini M çizgisine doğru çeker.



③ 3) Miyozin başına ATP bağlanır. Çapraz köprü ayrılır.

Sınav Sorusu: Rigor mortis nasıl gerçekleşir? Açıklayınız



Kasılma Mekanığı

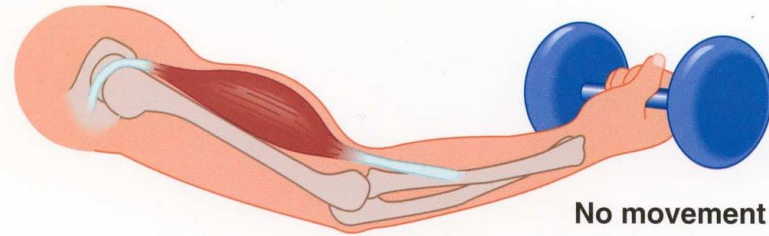
- Tek bir kas lifinin tek bir aksiyon potansiyeli ile kontraksiyonuna “twitch” adı verilir.
- Kasın kasılarak objeler üstünde oluşturduğu kuvvete gerim denilir. Bu objenin ağırlığı ile kas üzerinde gösterdiği kuvvete yük denilir.
- Kas liflerinin boyunun kasılarak kısalması ve yükü hareket ettirebilmesi için gerimin yükten fazla olması gerekir.

Kasılma Tipleri

- Kas kısalmadan veya uzamadan (sabit uzunlukta) gerginlik oluşturursa buna izometrik kasılma denilir.
- Kas üzerindeki yük sabit kalır, kas kasılırken boyu değişiyorsa buna izotonik kasılma denilir.
 - a. Kasın boyu kısalıyorsa eksantrik kasılma
 - b. Kasın boyu uzuyorsa konsantrik kasılma denilir.

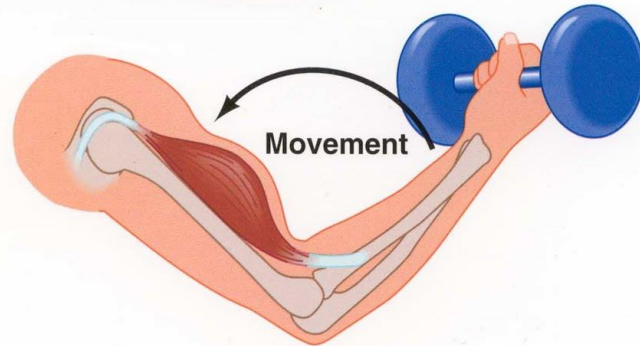
Isometric contraction

Muscle contracts
but does not shorten



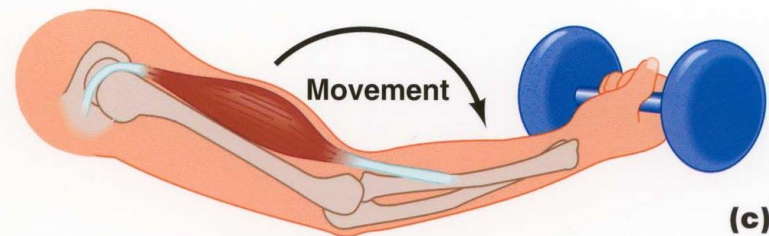
(a)

Concentric contraction



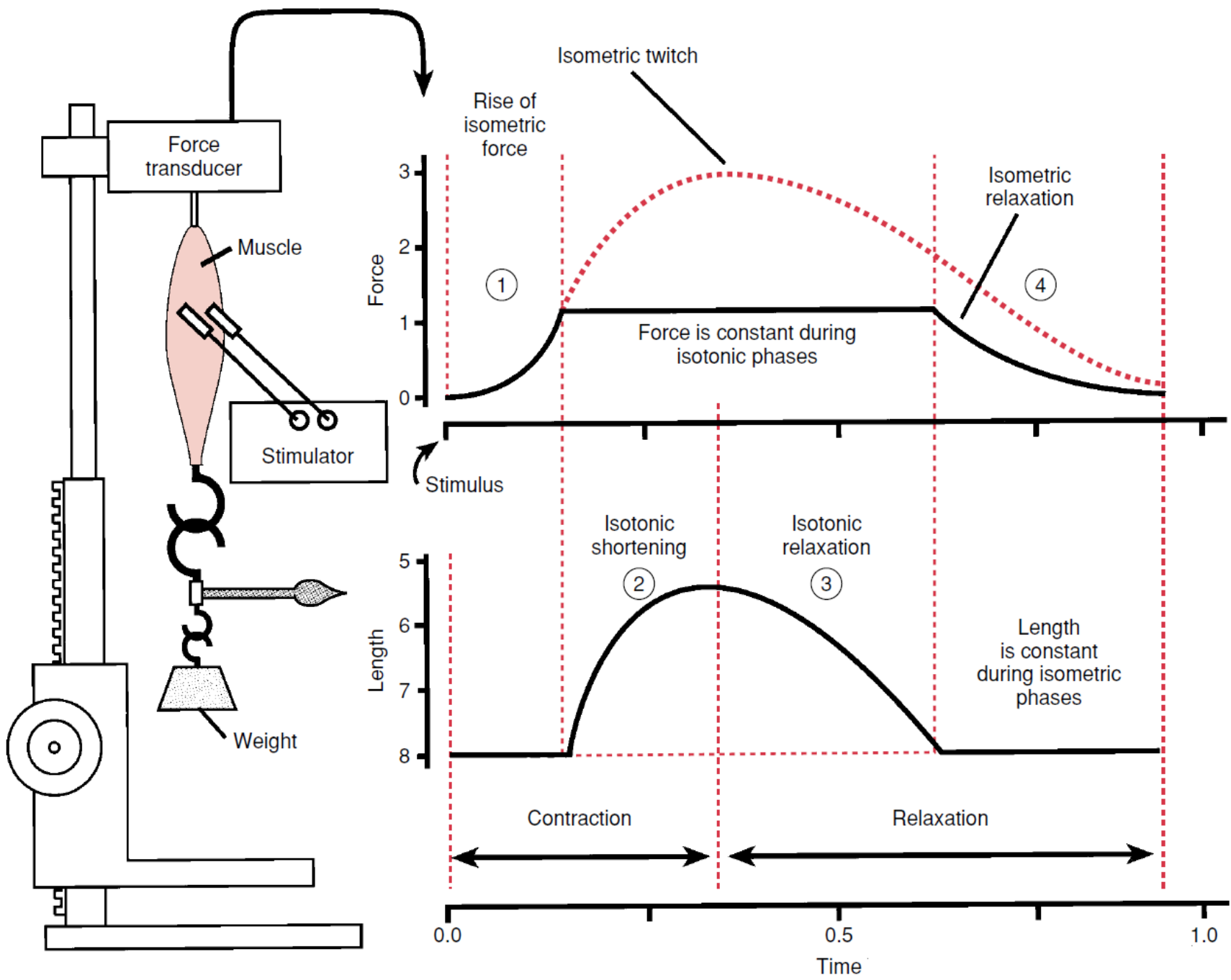
(b)

Eccentric contraction



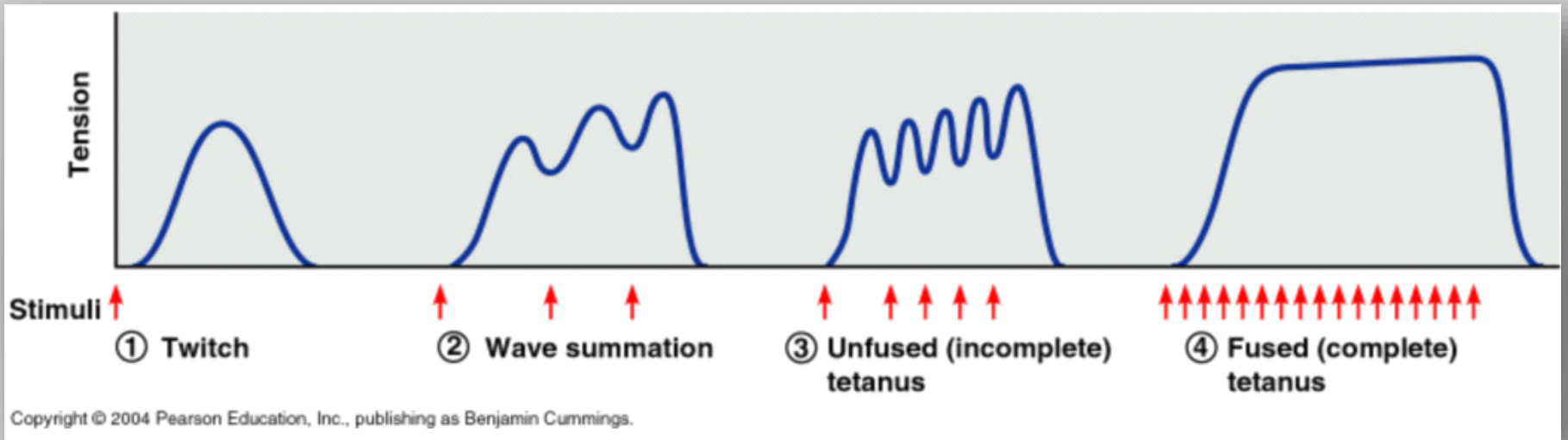
(c)

Kasılma Tipleri



Tetanus

- Tek bir aksiyon potansiyeli tek bir kasılmaya yol açar (twitch).
- Gevşemeye izin vermeden kas tekrar tekrar uyarılırsa, kasılmalar üst üste biner.
- Sürekli yüksek seviyedeki kalsiyum troponin C'ye bağlı kalarak çapraz köprü aktivitesini sürdürür. Bu devamlı kontraksiyon haline tetanus denilir.
- Düşük frekanslı uyarılarda kas kısmen gevşeyebilir bu duruma tam olmayan tetanus denir. Frekans arttırılırsa tam tetanus gerçekleşir.
- Tetanus oluşturan en düşük frekansa kritik frekans denilir.



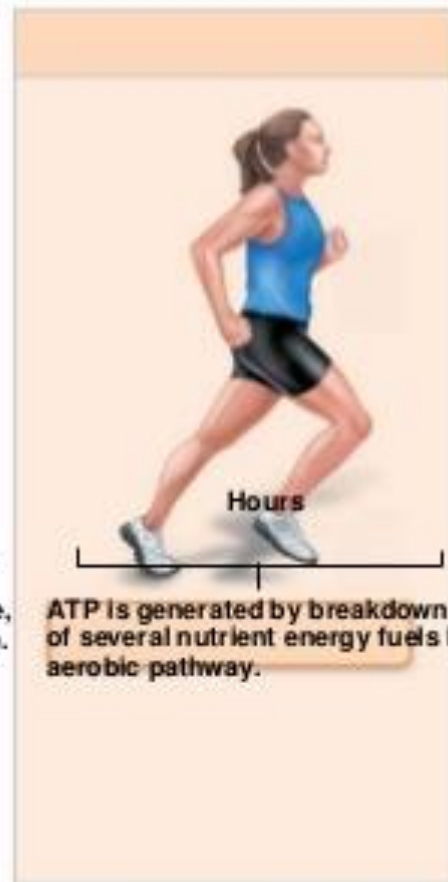
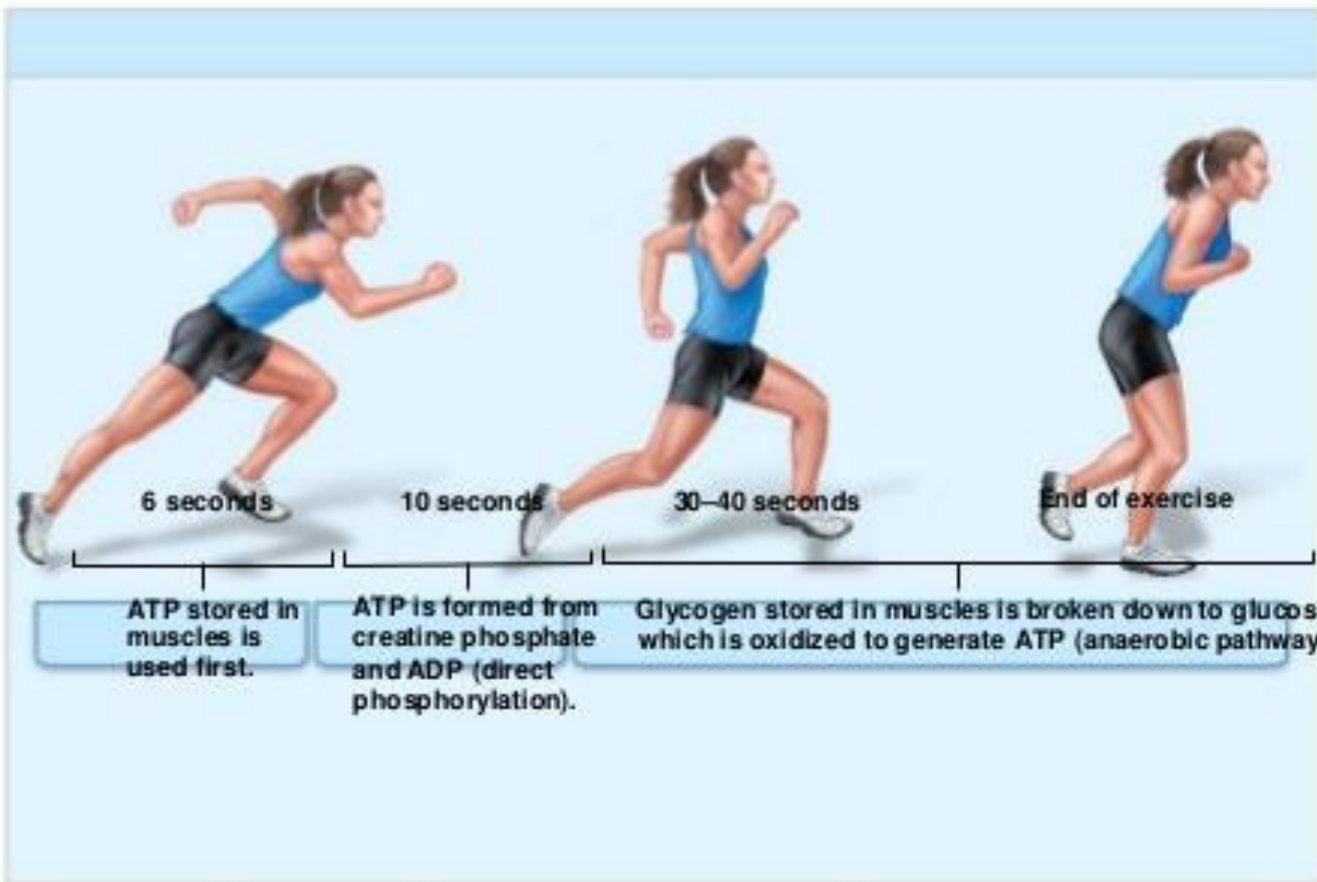
İskelet Kası Enerji Metabolizması

- Mevcut ATP birkaç sarsıda tükenir.
- ADP'yi ATP'ye çevirmek için kullanılan yollar:
 1. Kreatin fosfat
 2. Oksidatif fosforilasyon
 3. Glikolitik yolla ATP fosforilasyonu
- İlk 5-10 dakikada kas glikojeni kullanılır. Sonraki 30 dakikada kandan gelen yağ asitleri dominant enerji kaynağı haline geçer.

Comparison of energy sources used during short-duration exercise and prolonged-duration exercise.

Short-duration exercise

Prolonged-duration exercise



Oksijen Borcu

- Egzersiz sonrasında kreatin fosfat ve glikojen depoları tükenir.
- Kasın depolarının yenilenmesi ve biriken laktik asidin metabolize edilmesi (KC) ve kan gazlarının normal seviyeye dönmesi için kas kasılması olmasa da metabolizma bir süre daha yüksek seviyede oksijen tüketir.
- Egzersizden sonra kişinin bir süre daha hiperventilasyon yapmasının nedeni budur. Bu olaya oksijen borcu diyoruz.

Kas Yorgunluđu

- İskelet kası tekraren uyarılırsa bir süre sonra lifler aynı şiddette gerim üretmezler.
- Önceki kontraktıl aktiviteye bağlı olarak gerimin düşüşüne “kas yorgunluğu” denir.
- Kas yorgunluđunun üç nedeni vardır:
 1. İletim Kaybı
 2. Laktik Asit Birikimi
 3. Çapraz Köprü Siklusunun İnhibisyonu

İskelet Kası Lif Tipleri

- İskelet kası lifleri kısalma hızları ve kullandıkları ATP kaynaklarına göre gruplandırılırlar.
 - Tip I: Yavaş oksidatif
 - Tip IIa: Hızlı oksidatif
 - Tip IIb: Hızlı glikolitik

	Yavaş Oksidatif (I)	Hızlı Oksidatif (IIa)	Hızlı Glikolitik (IIb)
ATP Kaynağı	Oksidatif fosforilasyon	Oksidatif fosforilasyon	Glikoliz
Mitokondriler	Çok	Çok	Az
Kapillerler	Çok	Çok	Az
Miyogloblin İçeriği	Yüksek (kırmızı kas)	Yüksek (kırmızı kas)	Düşük (beyaz kas)
Glikolitik Enzim Aktivitesi	Düşük	Orta	Yüksek
Glikojen İçeriği	Düşük	Orta	Yüksek
Yorgunluk Hızı	Yavaş	Orta	Hızlı
Miyozin ATPaz aktivitesi	Düşük	Yüksek	Yüksek
Kasılma Hızı	Yavaş	Hızlı	Hızlı
Lif Çapı	Küçük	Orta	Geniş
Motor Ünite Büyüklüğü	Küçük	Orta	Geniş
Motor Nöron Büyüklüğü	Küçük	Orta	Geniş



Gıcık Soru

Usain Bolt ile
Kenenisa Bekele'yi
iskelet kas lifleri
açısından
karşılaştırınız.

Düz Kas

- Düz kaslar, iskelet ve kalp kasından farklı olarak çizgili yapı göstermezler.
- Otonomik sinirlerle uyarılır (istemsiz kasılır).
- Düz kas boşluklu organların duvarlarında bulunur. Ayrıca damar, üreter, ve hava yolları kasları da düz kastır.

Düz Kasın Yapısı

- Düz kas hücreleri mekik şeklinde, çizgisiz, tek çekirdekli bölünebilen hücrelerdir.
- Özelleşmiş son-plak yoktur.
- Birden fazla düz kas lifi, bir tek veya birden fazla sinir sonlanmasından salınan nörotransmitterlerden ve dokudaki parakrin ajanlardan etkilenebilir.

Düz Kas Tipleri

1. Tek Üniteli Düz Kas

- Sindirim sistemi, mesane, üreter ve uterusda bulunur.
- Bu kaslar koordineli kasılır çünkü birbirlerine gap junctionlar ile bağlıdırlar.

2. Çok Üniteli Düz Kas

- Gözde iriste ve lensin siliyer kaslarında, vas deferenste bulunur.
- Her kas lifi ayrı motor ünite olarak davranır. Hücreler arasında bağlantı az ya da yoktur.

Düz Kasta Kasılma

1. Düz kasta oluşan AP, voltaj bağımlı Ca^{+2} kanallarını açar (ligand ve IP3). Kalsiyum hücre içine akar.
2. Artan Ca^{+2} , kalmodulin proteinine bağlanarak kalsiyum-kalmodulin kompleksini oluşturur.
3. Kompleks, düz kas miyozinini fosforile eden miyozin hafif-zincir kinaz enzimini aktive eder.
4. Aktif miyozin hafif-zincir kinaz miyozini fosforile eder. Çapraz köprü siklusu başlar.
5. Hücre içi Ca^{+2} azalınca, miyozin, miyozin hafif-zincir fosfataz ile defosforile edilir.

	İskelet Kası	Düz Kas		Kalp Kası
		Tek Üniteli	Çok Üniteli	
Kalın ve İnce Filamentler	Var	Var	Var	Var
Çizgili Yapı	Var	Yok	Yok	Var
Sarkoplazmik Retikulum (SR)	++++	+	+	++
Gap Junction	Yok	Var	Az	Var
Aktive edici Ca²⁺ Kaynağı	SR	SR ve ekstrasellüler	SR ve ekstrasellüler	SR ve ekstrasellüler
Ca²⁺ regülasyon bölgesi	Troponin	Miyozin	Miyozin	Troponin
Kontraksiyon Hızı	Hızlı veya Yavaş	Çok Yavaş	Çok Yavaş	Yavaş
Pacemaker Aktivite	Hayır	Evet	Hayır	Evet (Bazı özel liflerde)
Sinirsel Uyarının Etkisi	Eksitasyon	Eksitasyon veya İnhibisyon	Eksitasyon veya İnhibisyon	Eksitasyon veya İnhibisyon
Gerim Kontraksiyon Oluşturur mu?	Hayır	Evet	Hayır	Hayır

Ünlü Son Sözler



Bu gece rahat uyuyacağım...

İsmet İnönü