

Fizyoloji

Ders 5: İskelet Kas Sistemi

Doç. Dr. Emrah Şefik Abamor

Kas Sistemi

İnsan
organizmasındaki
kas hücreleri:

iskelet kası,

kalp kası

düz kas

olmak üzere üç
temel tipe
ayrılmaktadır.

Kas Dokusunun Ortak Özellikleri

- **1. Hareket:** Kemikler ve eklemlerle birlikte yürüme, koşma gibi yer değiştirme hareketlerinin ortaya çıkmasını sağlarlar.
- **2. Vücutta madde taşınması:** Vücudumuzda bulunan kaslardan; düz kaslar sindirim, boşaltım ve üreme sistemlerinin hareketini sağlarken, kalp kası kanın tüm vücuda pompalanmasından sorumludur.

Kas Dokusunun Ortak Özellikleri

3. Vücudun şeklinin oluşması: Kemiklerin etrafında bulunan iskelet kasları vücut şeklinin oluşturulmasından da sorumludurlar.

4. **Isı üretimi:** Vücut ısısının % 85'i kas kasılması sonucu oluşur. Ürperme iskelet kasının istemsiz kasılması sonucu ısı üretmesidir.

Kas Dokusu

- Kas dokusu homeostazın korunmasına hizmet eden beş önemli karakteristiğe sahiptir.
1. Uyarılabilirlik
 2. İletebilme
 3. Kasılabilirlik
 4. Uzayabilirlik
 5. Esneyebilirlik

Çizgili Kas = İskelet Kası

Kasılma somatik sinir sistemi tarafından kontrol edilir: sinirsel uyarı

Çizgili kas

İstemli çalışır

Sadece uyarıldığında yanıt verir

Mitokondri içerir, hem aerobik hem de anaerobik yollardan ATP sağlar

Kalp Kası

Kasılma otonom sinir sistemi, hormonlar veya diğer iç faktörler tarafından düzenlenir.

Çizgili kas

İstem DİŞİ çalışır

Otonom sinirleri kesilse de çalışmaya devam eder (spontan aktivite)

Çok fazla sayıda mitokondri içerir: ATP'nin büyük bölümü aerobik glikoliz ile elde edilir

Düz Kas

Kasılma otonom sinir sistemi, hormonlar veya diğer iç faktörler tarafından düzenlenir.

Çizgili DEĞİL, Düz Kas

İstem DIŞI Çalışır

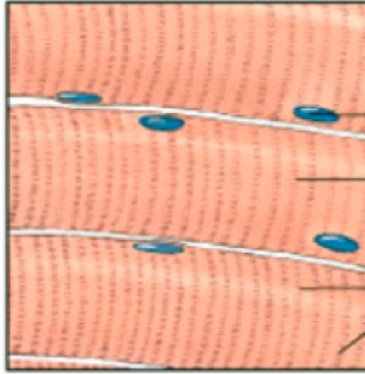
Otonom sinirleri kesilse de çalışmaya devam eder (spontan aktivite)

Çok az sayıda mitokondri içerir: ATP'nin büyük bölümü anaerobik yolla elde edilir

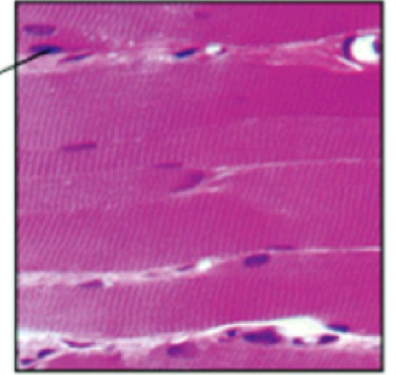
	İskelet Kası	Düz Kas	Kalp Kası
Mikroskopik	Çizgili	Düz	Çizgili
Lif düzenlenmesi	Sarkomerler	Demetler	Sarkomerler
Lif proteinleri	Aktin, miyozin, troponin ve tropomiyozin	Aktin, miyozin ve tropomiyozin	Aktin, miyozin, troponin ve tropomiyozin
Kontrol	İstemli	İstemsiz	İstemsiz
Sinirler	Somatik motor	Otonom	Otonom
Hormonal etki	Yok	Bir çok hormon	Epinefrin
Yer	Hareket sistemi ve bazı sfinkterler	Organ duvarları, tübüler yapılar, sfinkterler	Kalp
Morfoloji	Çok çekirdekli, büyük, silindirik	Çok çekirdekli, iğ biçimli, küçük	Daha kısa ve dallı lifler
İç yapı	T-tübül ve S.R. “triad”lar	T-tübül YOK; S.R. minimum	T-tübül ve S.R. “diad”lar
Kasılma hızı	En hızlı	En yavaş	Orta
Tek lif kasılma gücü	Hep veya hiç	Dereceli	Dereceli
Kasılma başlangıcı	Motor nöron	Otoritmik olabilir	Otoritmik

Kas Tipleri

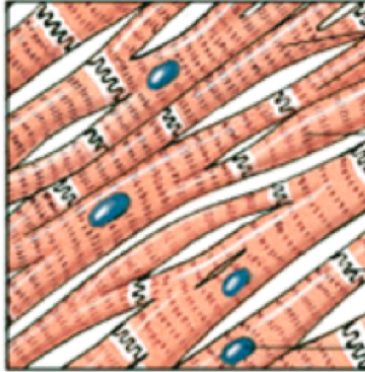
İskelet kası



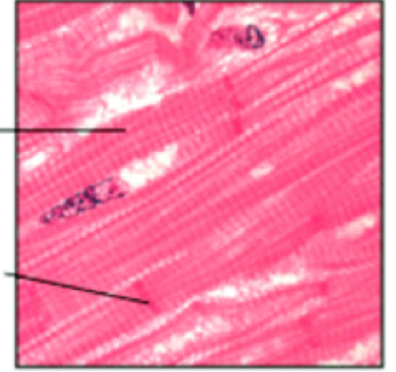
Çekirdek
Kas lifleri
(hücreler)
Çizgilenmeler



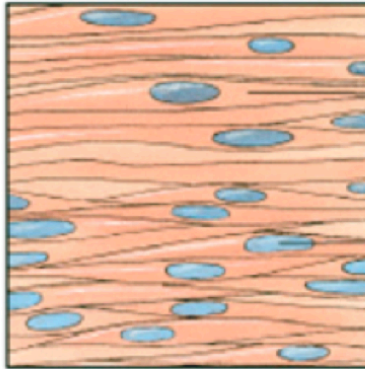
Kalp kası



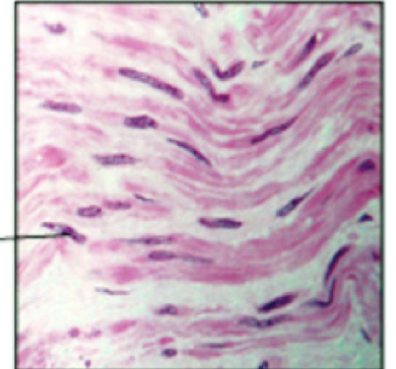
Çizgilenmeler
Kas lifleri
İnterkalat
diskler
Çekirdek



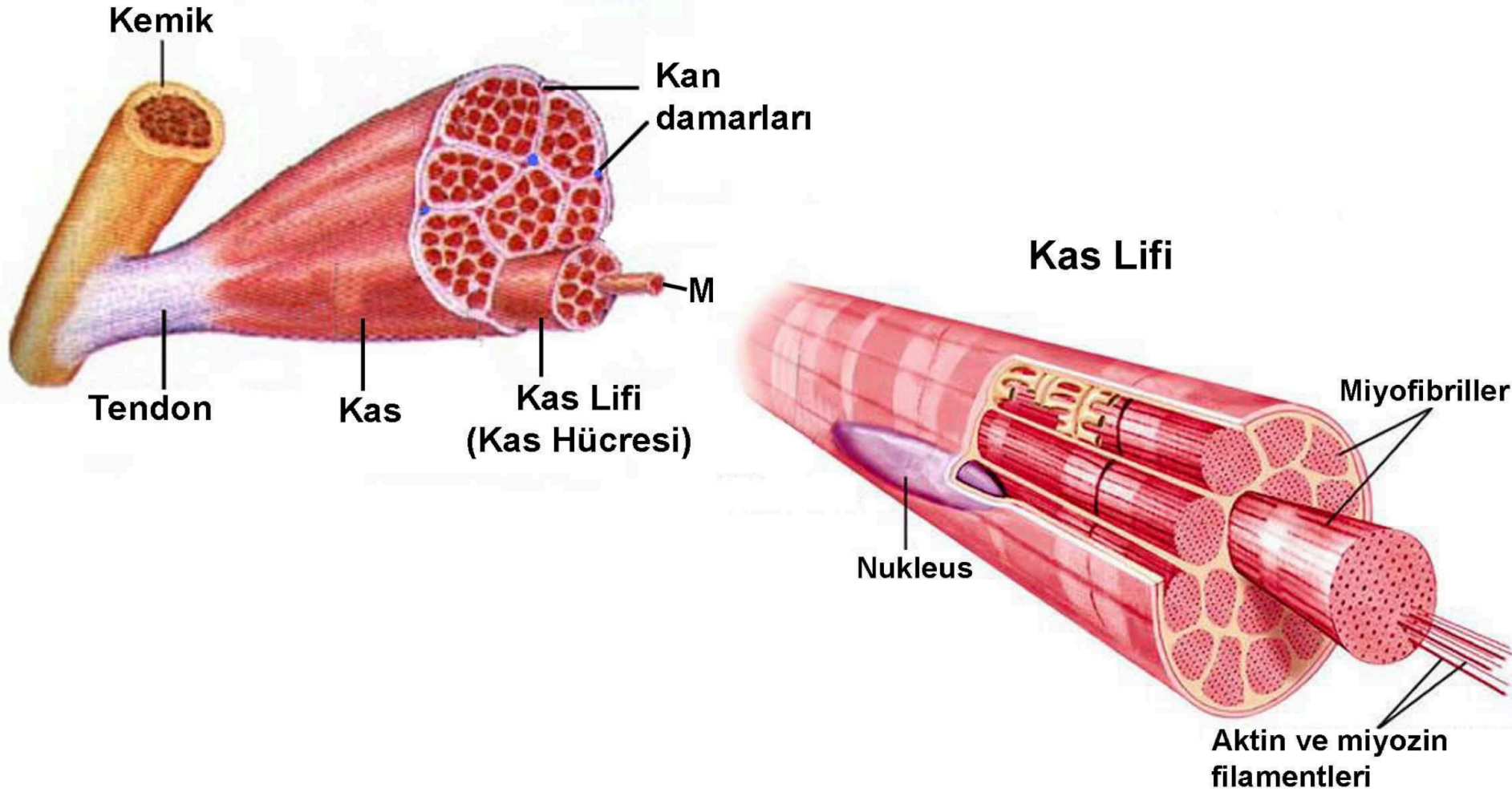
Düz kas



Kas lifleri
Çekirdek

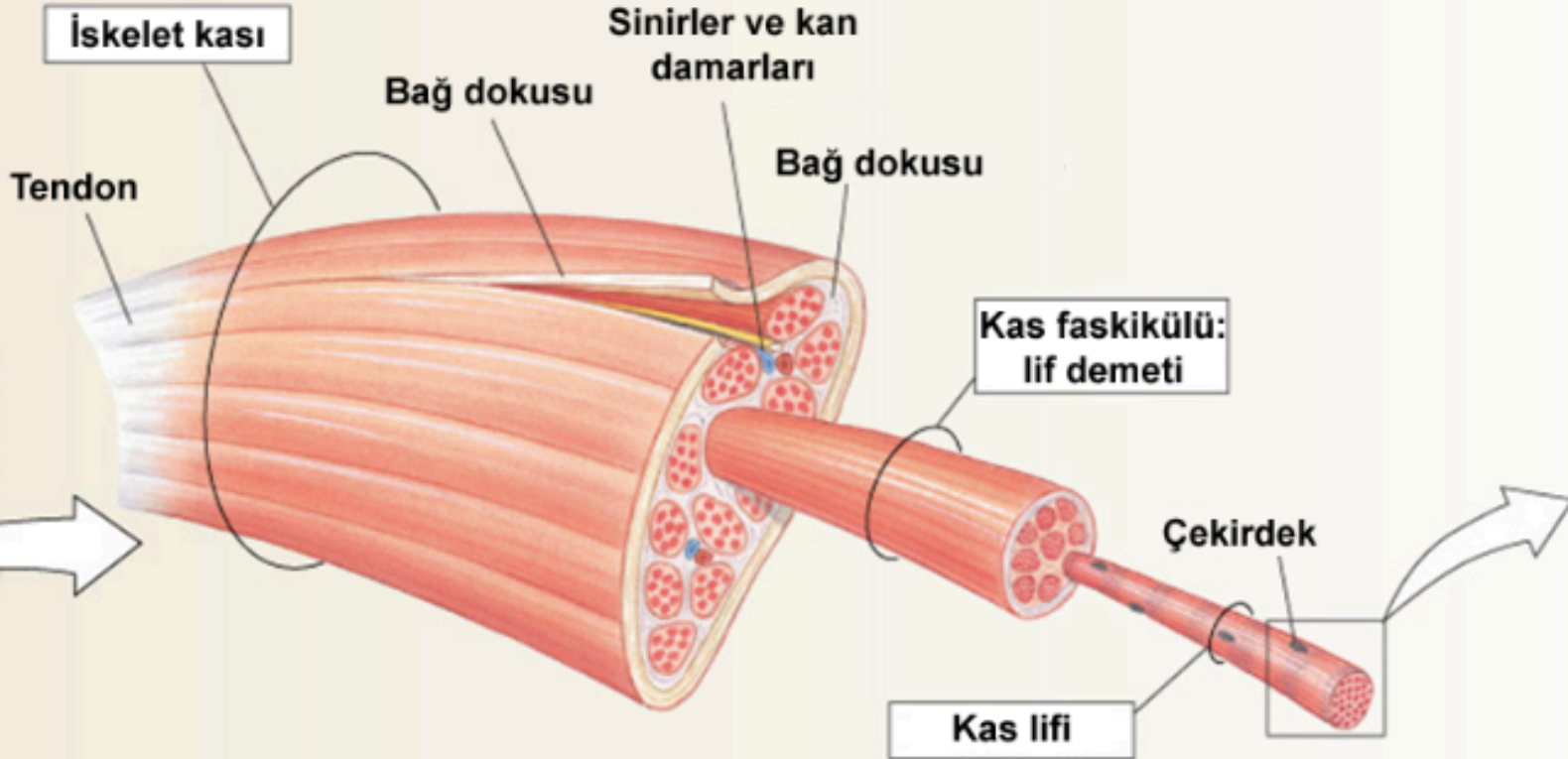


Çizgili Kas



İSKELET KASININ YAPILANMASI

(a)



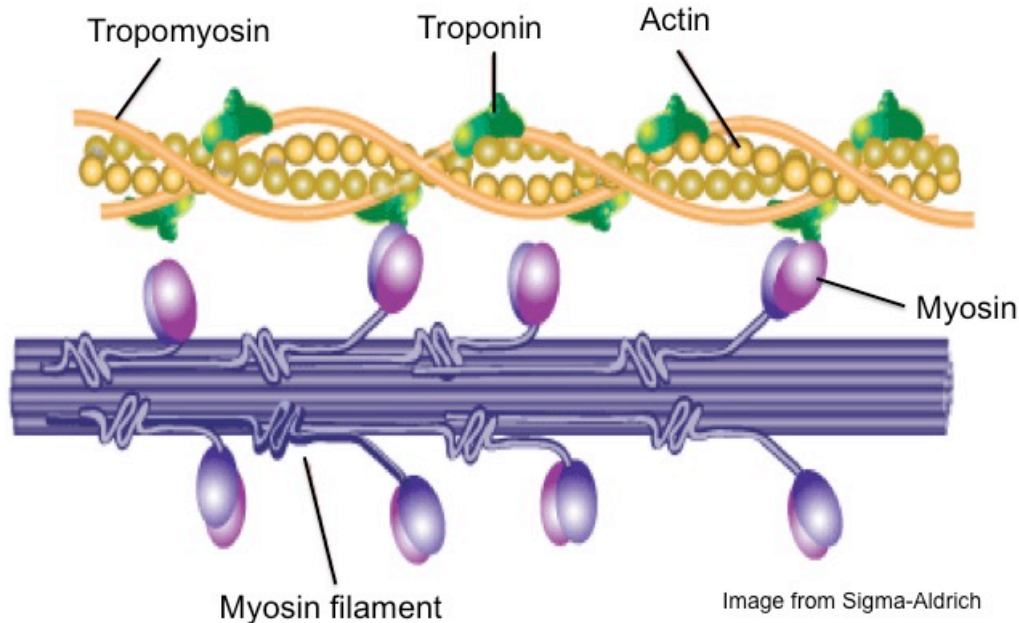
İskelet Kası

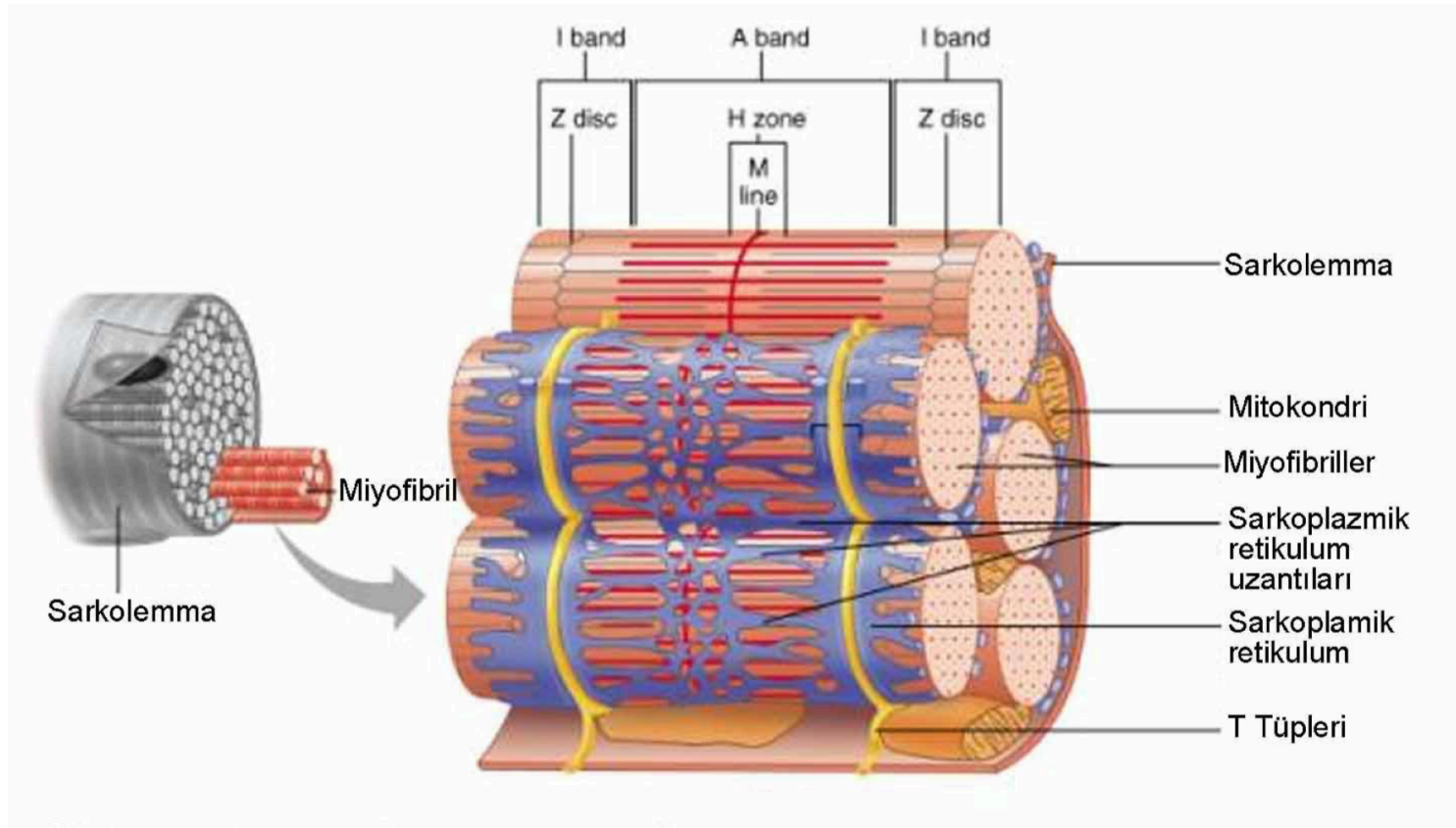
- Kas hücresi kas lifi olarak da isimlendirilir.
- Uzun silindirik yapıdadır ve birden fazla çekirdek ihtiva eder.
- **Kas lifleri myofibril adı verilen daha küçük lifler içerir.**
- Myofibriller de myofilament adı verilen kalın ve ince uzantılardan oluşur.
- Myofilamentler myozin, aktin, tropomiyozin ve troponin adı verilen kısılabılır proteinlerden oluşurlar.



Mikrofilamentler

- Bunlardan ince olan ağırlıklı olarak **AKTİN** olmak üzere **TROPONİN** ve **TROPOMYOZİN** moleküllerinden, kalın olan ise **MYOZİN** moleküllerinden oluşmuştur.





- Sarkolemma: Kas lifinin hücre membranı
- Sarkoplazma: Kas lifinin sitoplazması
- Sarkoplazmik retikulum: Kas lifinin **endoplazmik retikulumu**

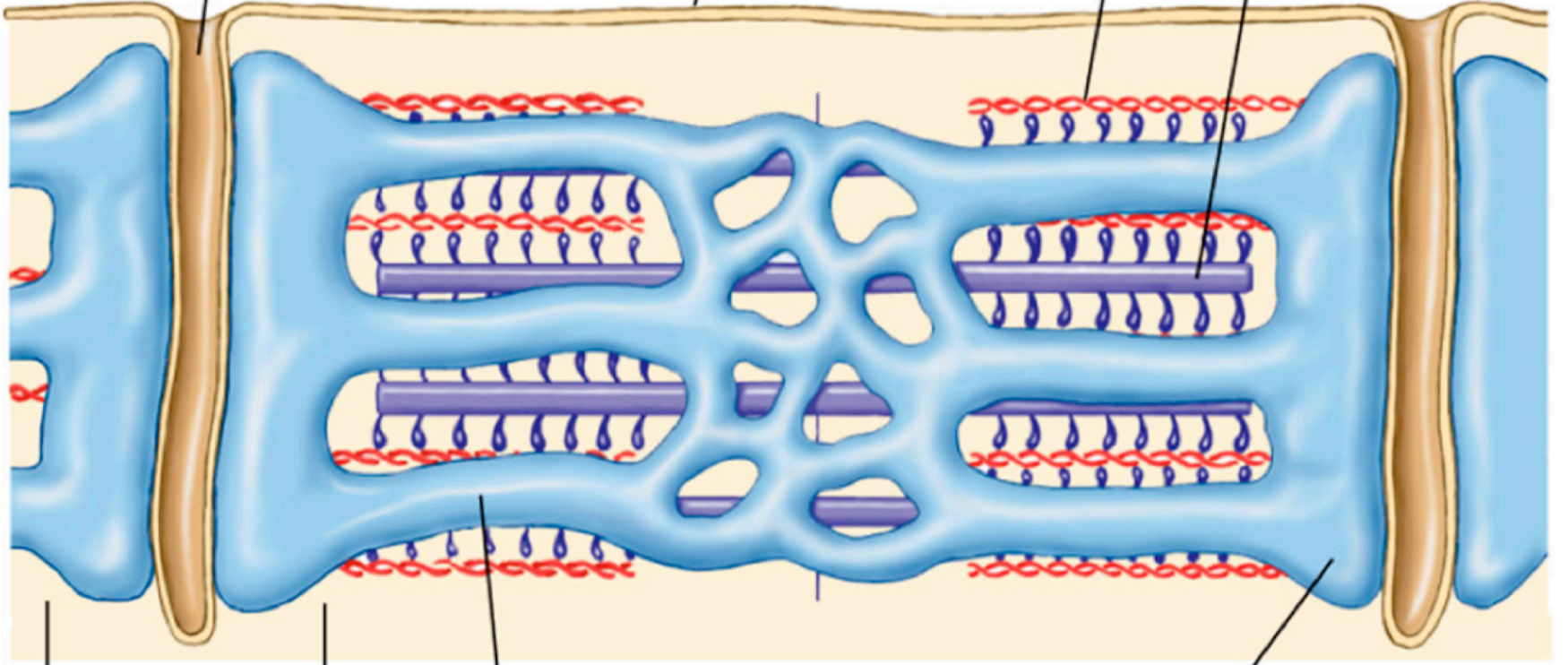
T-tübüller

aksiyon potansiyellerini
kas hücresinin iç kısımlarına
kadar iletirler

Sarkolemma

İnce filamentler

Kalın filamentler



Triad

Sarkoplazmik retikulumda
kalsiyum iyonu depoları

Terminal
sisterna (sarnıçlar)

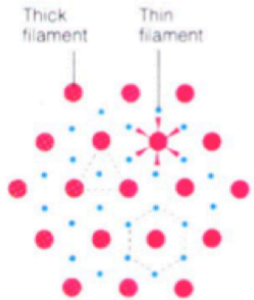
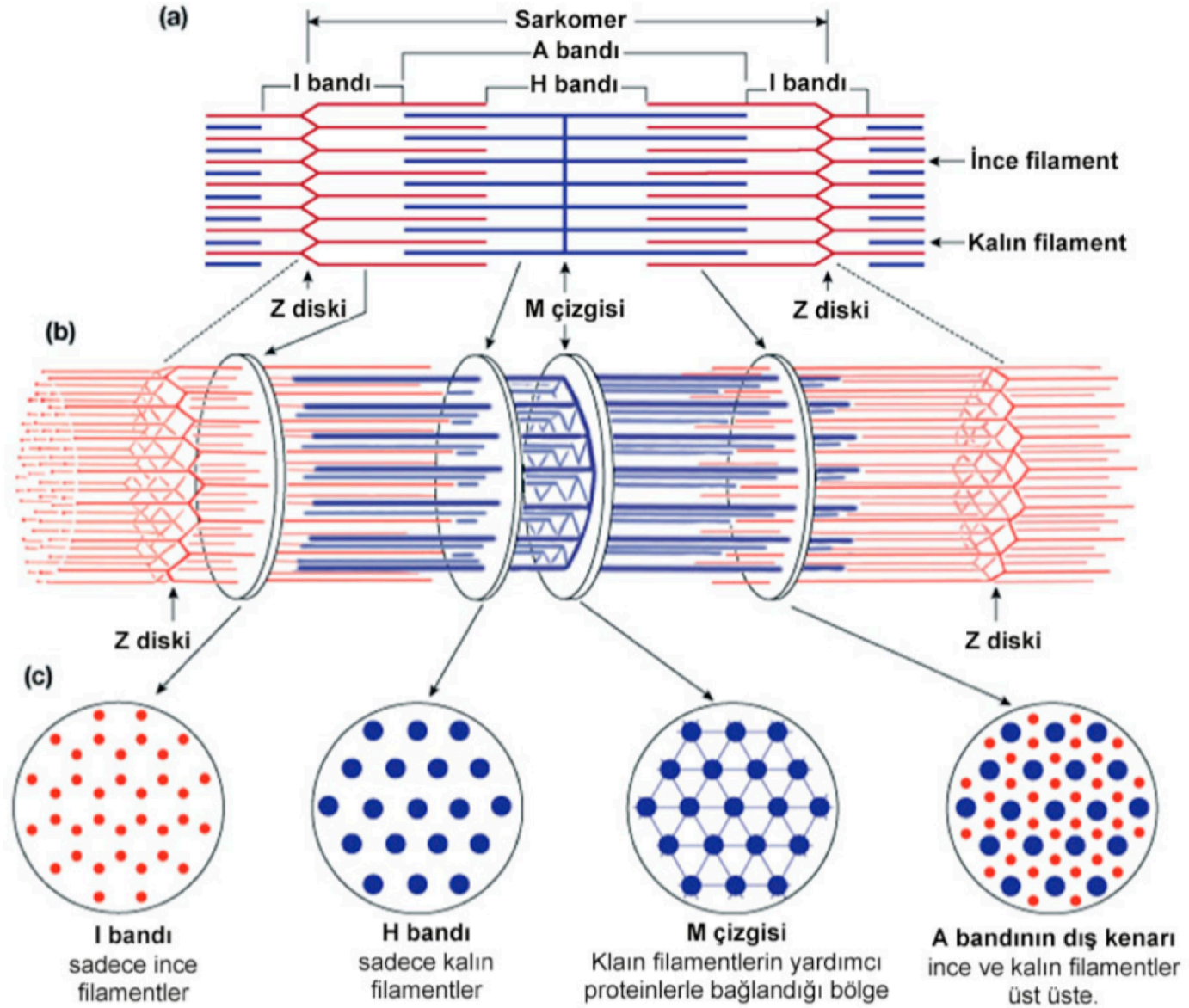
Sarkomer

- Sarkomer üzerinde, yalnızca aktin filamentlerin bulunduğu bölge **I bandı** adını alır ve ışık mikroskobunda açık renk görüntü verir.
- Aktin ve miyozin filamentlerinin birlikte yer aldığı kısımlar daha koyu renk görülürler. Bu bölgeler A
BANDI olarak isimlendirilirler.

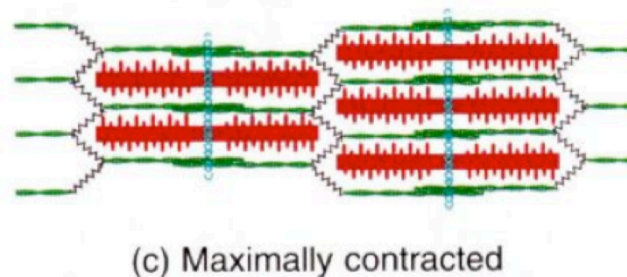
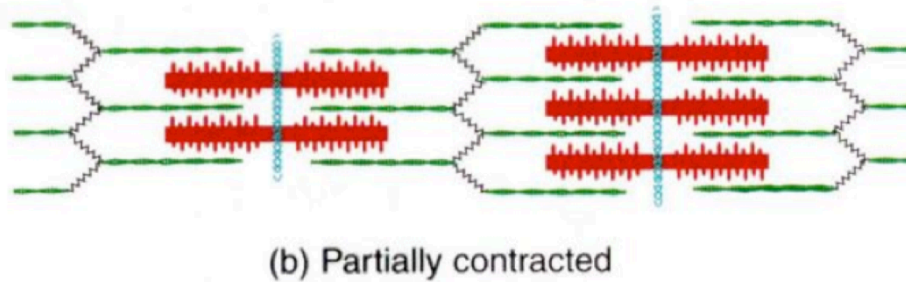
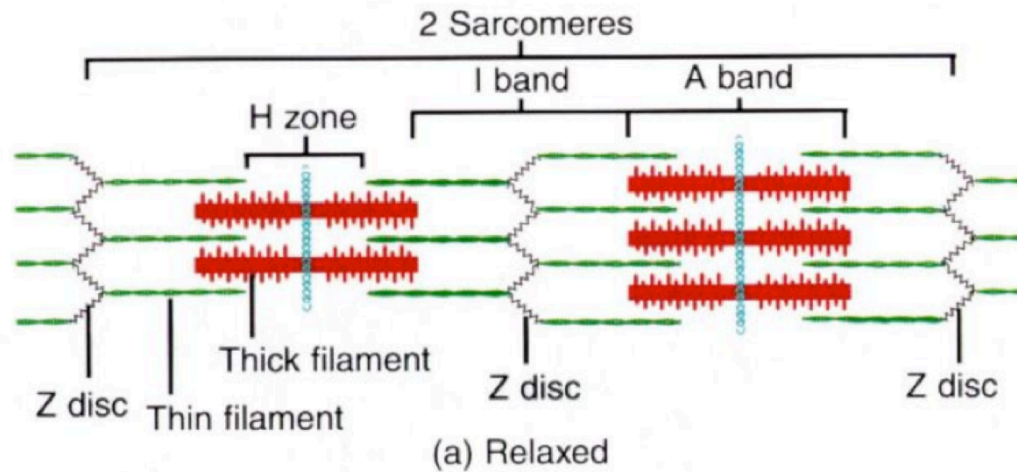
Sarkomer

- A bandının ortasında aktinin ulaşamadığı ve yalnızca miyozinden oluşan bir alan vardır. **H BÖLGESİ** olarak adlandırılan bu bölge I bandından daha koyu, A bandından ise daha açık renkte görülecektir.

- Z diski
- I bandı
- A bandı
- H bandı
- M çizgisi
- Titin
- Nebulin



Sarkomerlerin Kısılması

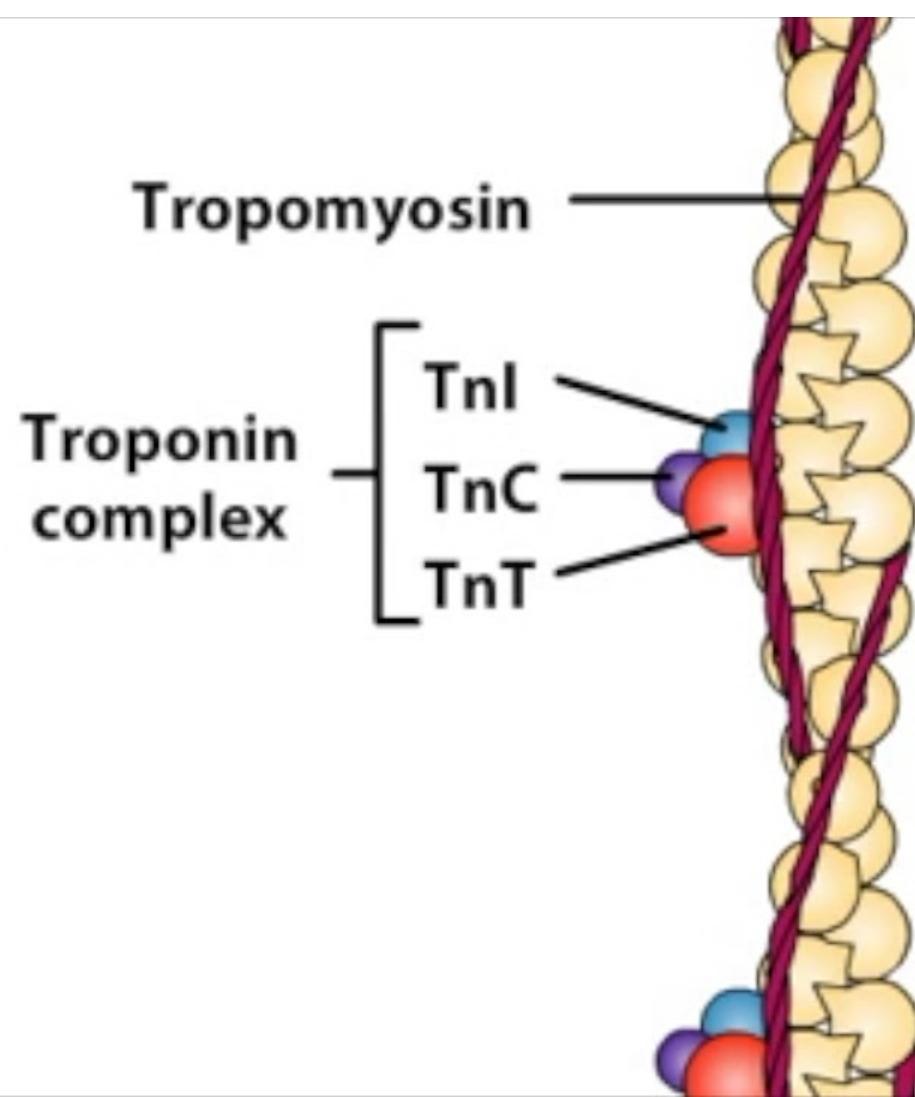


Aktin

- İnce filamanların esas parçasıdır. Globüler G-aktin polimerleri ardarda dizilerek bir zincir oluşturur.
- İkinci bir zincir buna sarılarak bir sarmal oluşturur.
- Her G-aktin molekülü aktif bölge içerir ve buraya miyozinin baş bölgesi (S1 fragmanı) bağlanır.

Troponin

- Troponin, çizgili ve kalp kasındaki kasılmada görevli 3 düzenleyici protein kompleksinden oluşur. Düz kasta yoktur.
- **Troponin C**, kalsium iyonunu bağlar ve aktin üzerindeki tropomiyozin molekülünün konformasyonunu (Troponin I da yapısal değişiklik) değiştirerek aktinin miyozin bağlanma bölgelerini açığa çıkarır.
- **Troponin T**, tropomiyosine bağlanarak troponin-tropomyosin kompleksini oluşturur.
- **Troponin I**, kasılmayı inhibe edici etkiye sahiptir, ince myofilamentlerdeki aktine bağlanır. En yoğun olduğu yer miyokarddır

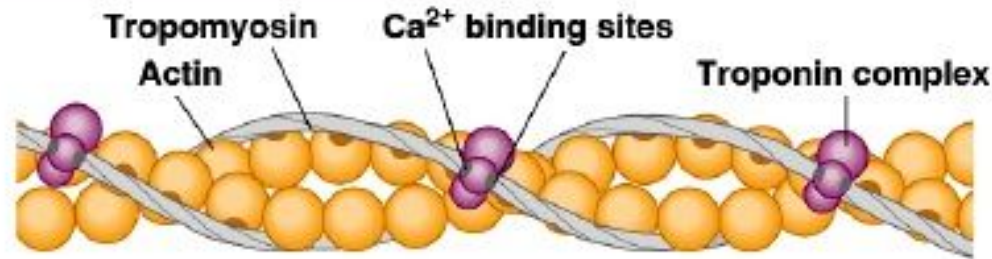


Actin
filament

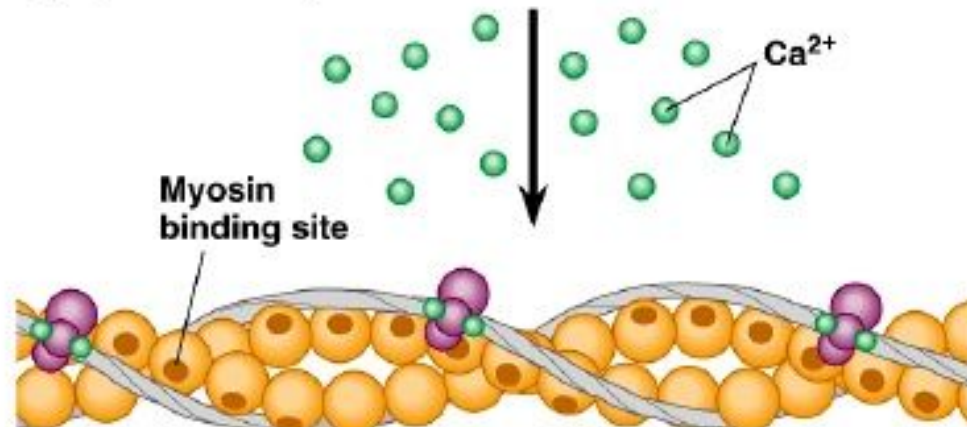


Ca²⁺ triggers muscle action

- At rest, tropomyosin blocks myosin-binding sites on actin
 - ◆ secured by troponin
- Ca²⁺ binds to troponin
 - ◆ shape change causes movement of troponin
 - ◆ releasing tropomyosin
 - ◆ exposes myosin-binding sites on actin

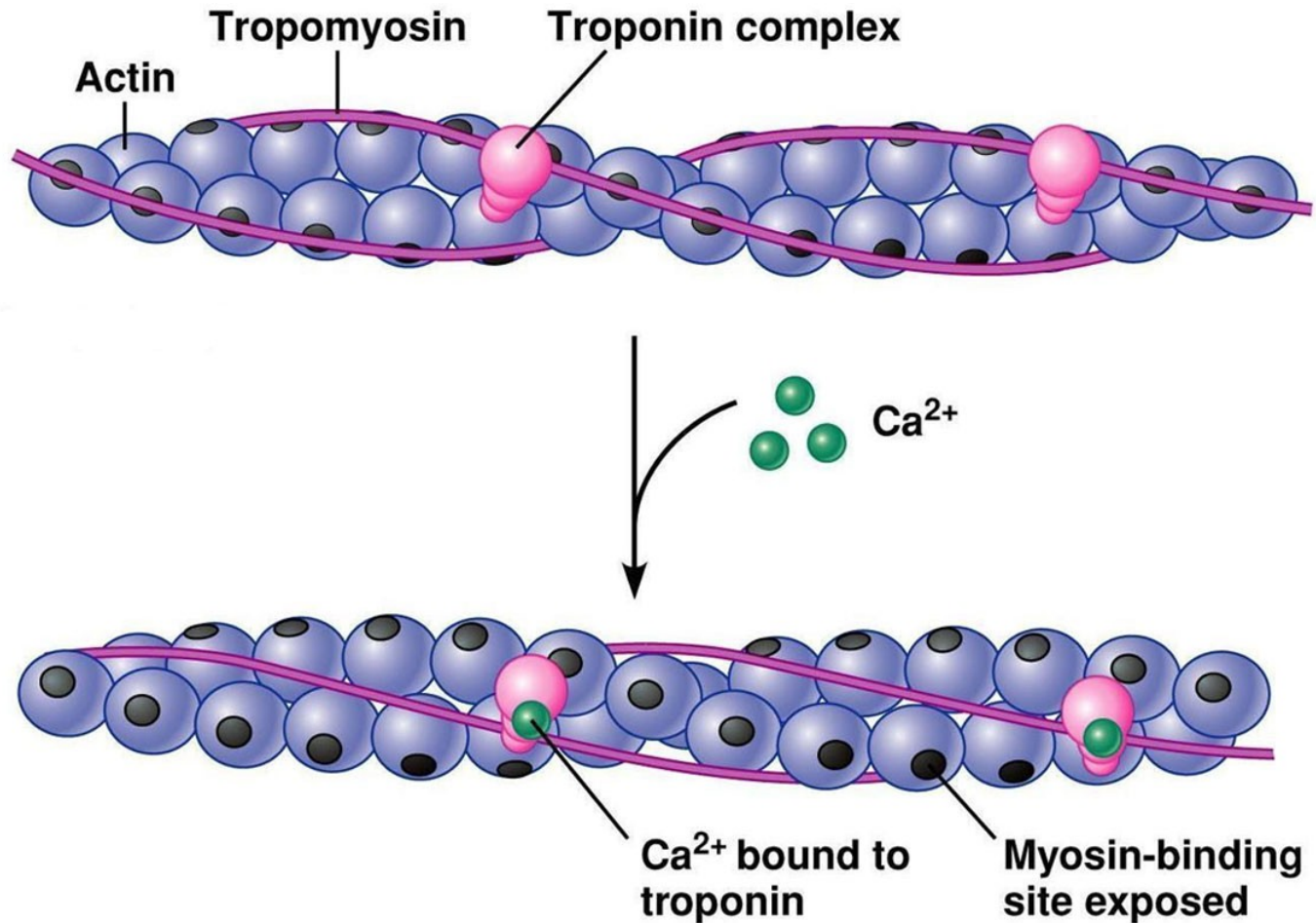


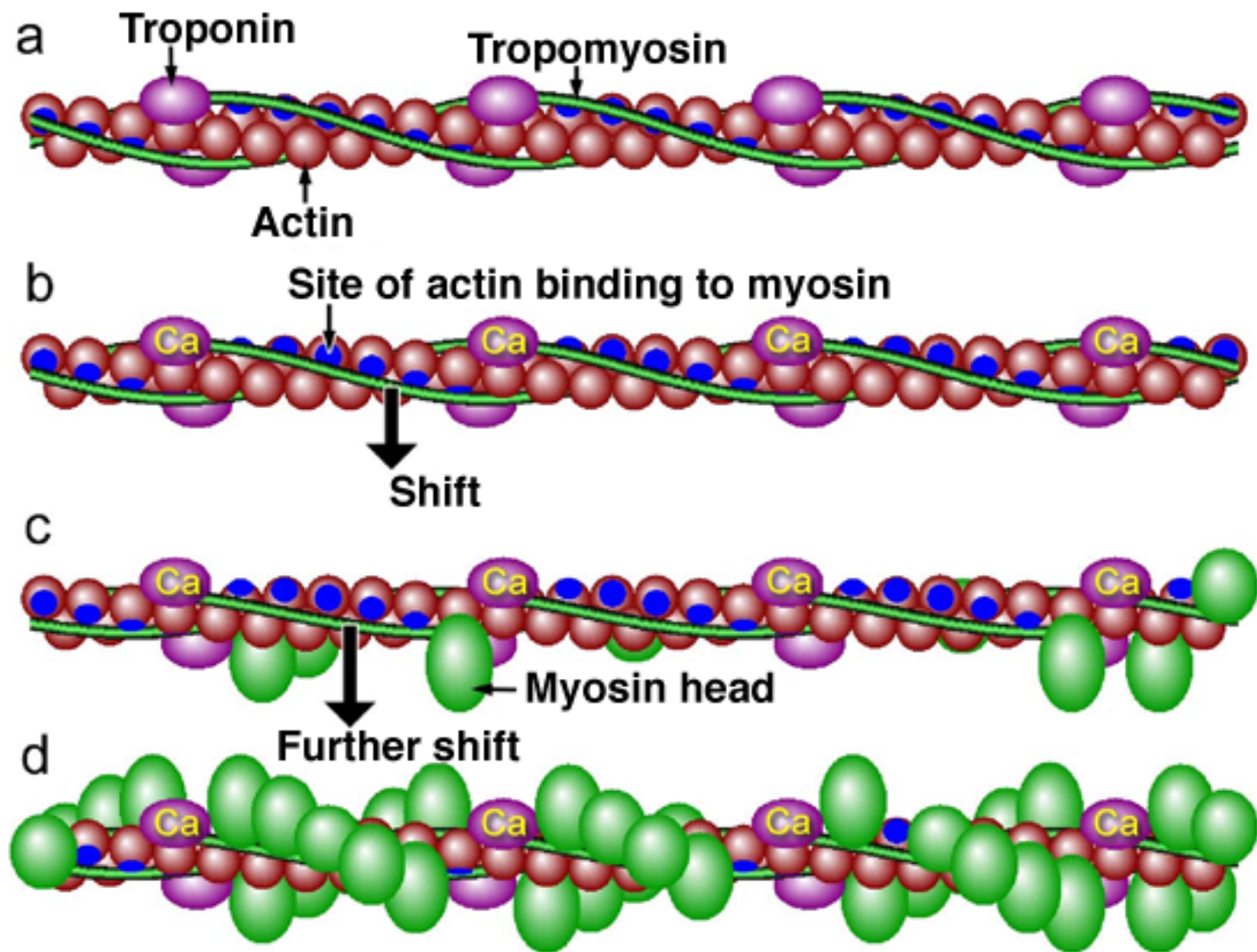
(a) Myosin binding sites blocked; muscle cannot contract



(b) Myosin binding sites exposed; muscle can contract

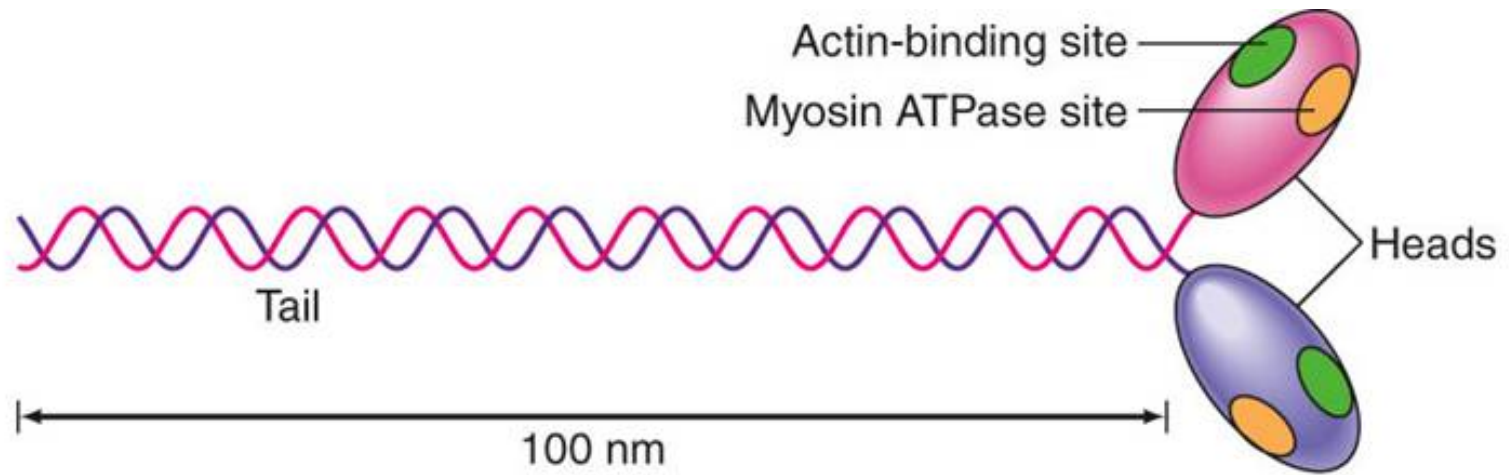
Tropomyozin-Troponin Kompleksi



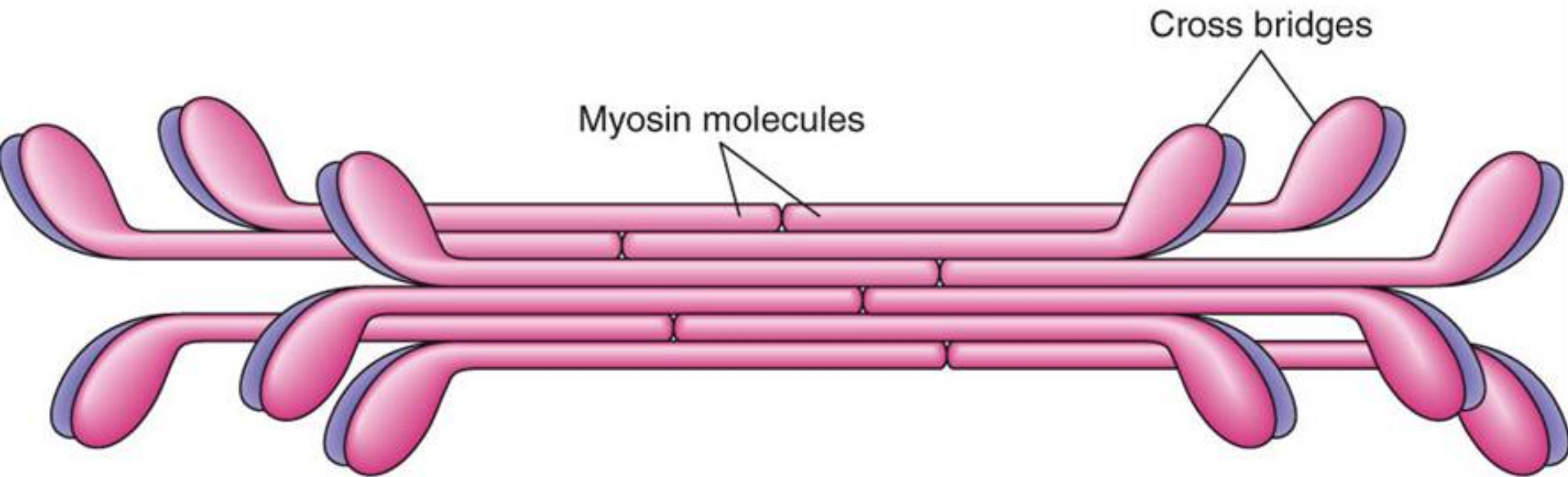


Miyozin

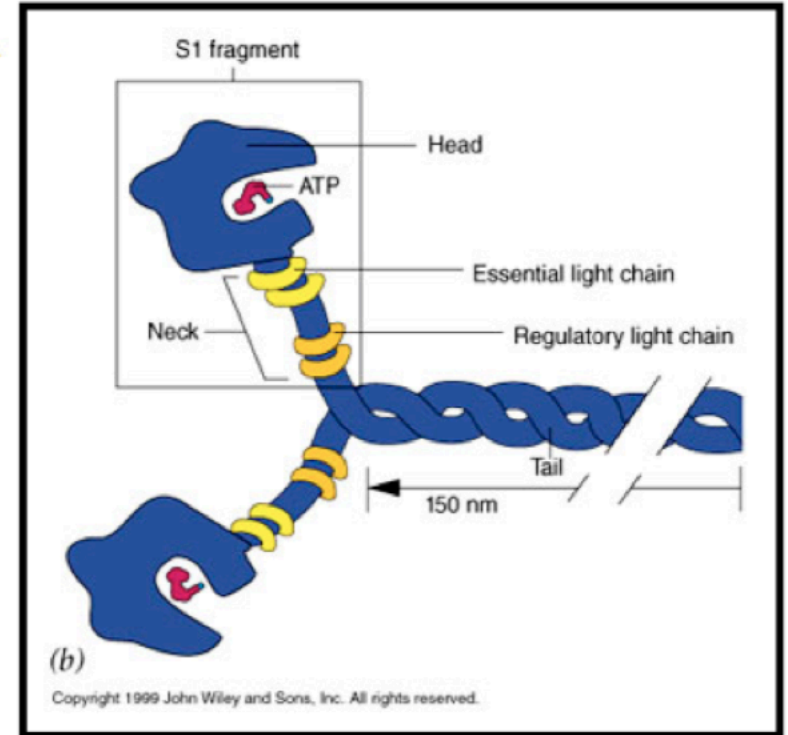
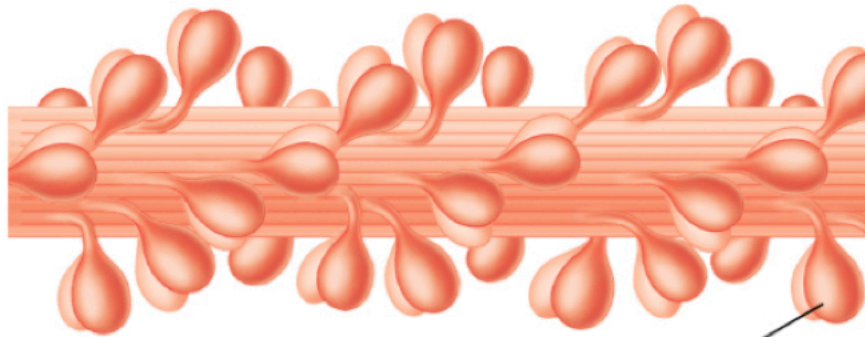
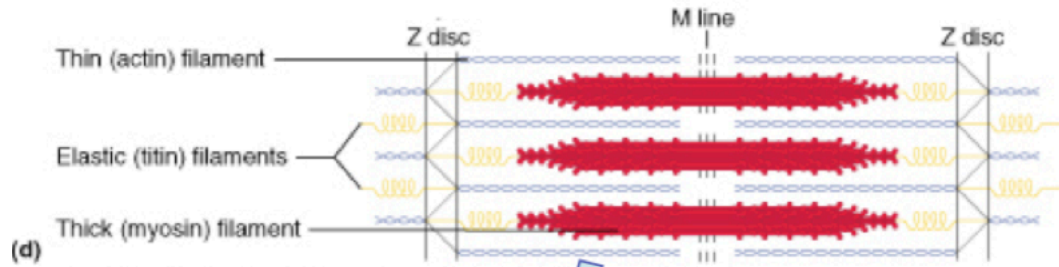
- **Miyozinler**, 16 kadar üyesi tanımlanmış ATP-bağımlı bir motor protein ailesidir.
- Kas hücrelerinde "miyozin 2" bulunur ve toplam kas protein kütlesinin % 55'ini oluşturur.
- Aktin ile birlikte aktomiyozin oluşturarak kaslardaki kasılma ve gevşeme hareketlerini düzenler.



(a) Myosin molecule



(b) Thick filament

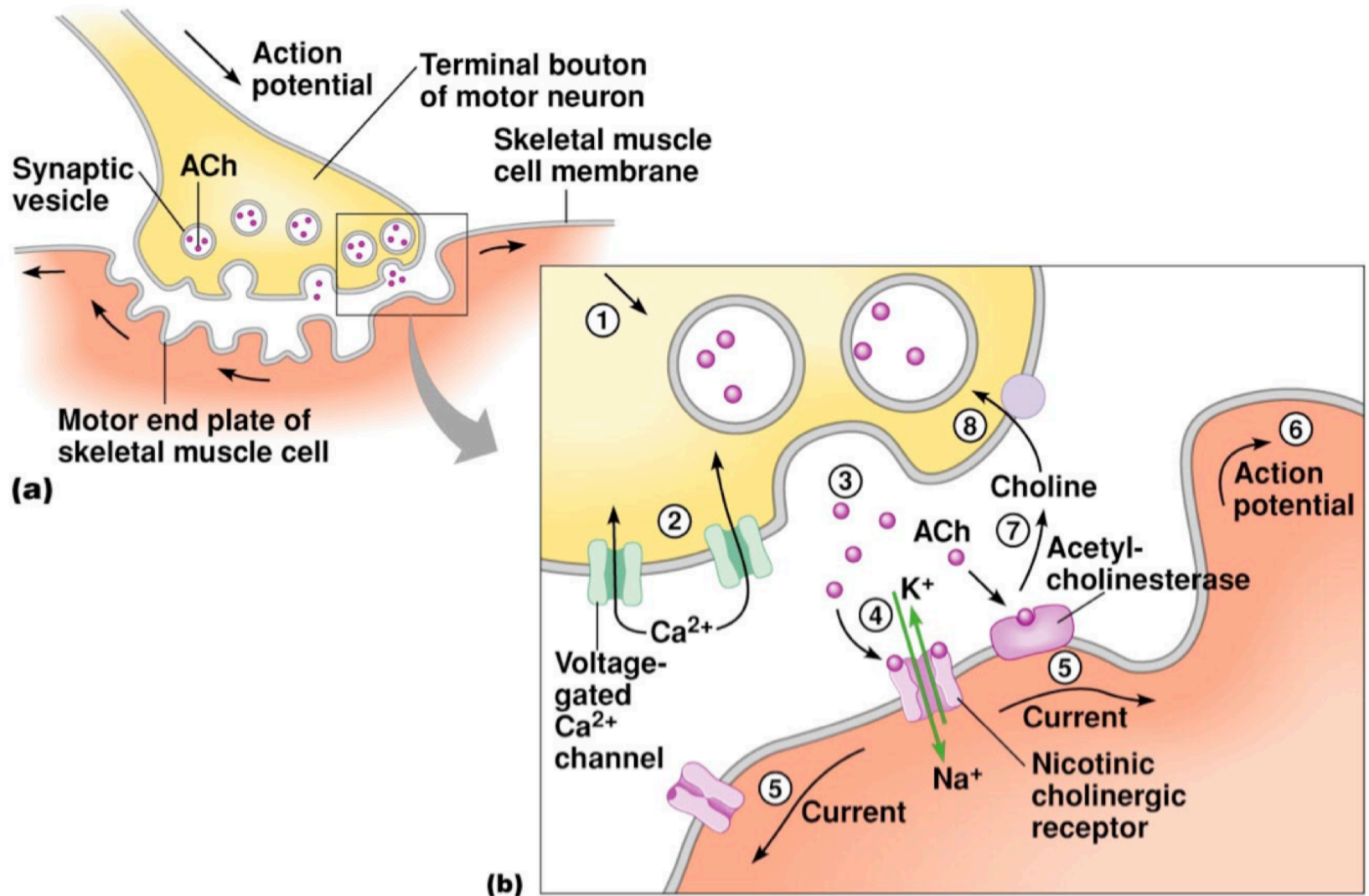


Miyozin

T Tübül-Sarkoplazmik Retikulum Sistemi

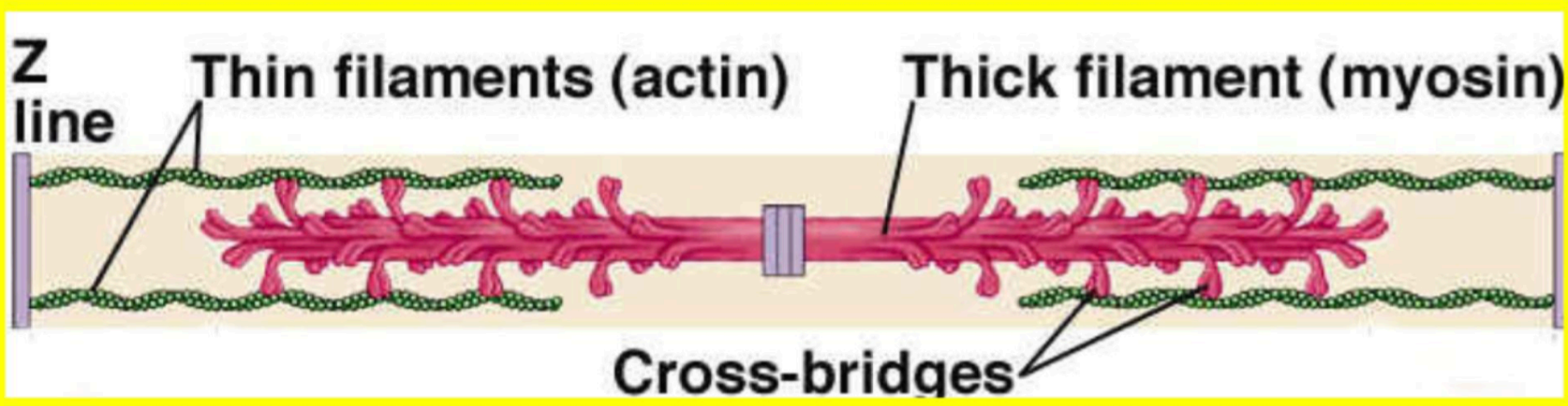
- T Tübül-Sarkoplazmik retikulum Sistemi ilişkisi sayesinde aksiyon potansiyeli lif içlerine kadar iletilebilir.
- Bu ileti bir kalsiyum deposu olan sarkoplazmik retikulumdan Ca++ iyonunun sarkoplazmaya salınmasına yol açarak kas kasılmasına neden olur.

Sinir – Kas Kavşağı (Uyarılma-Kasılma)



Kas Kasılması

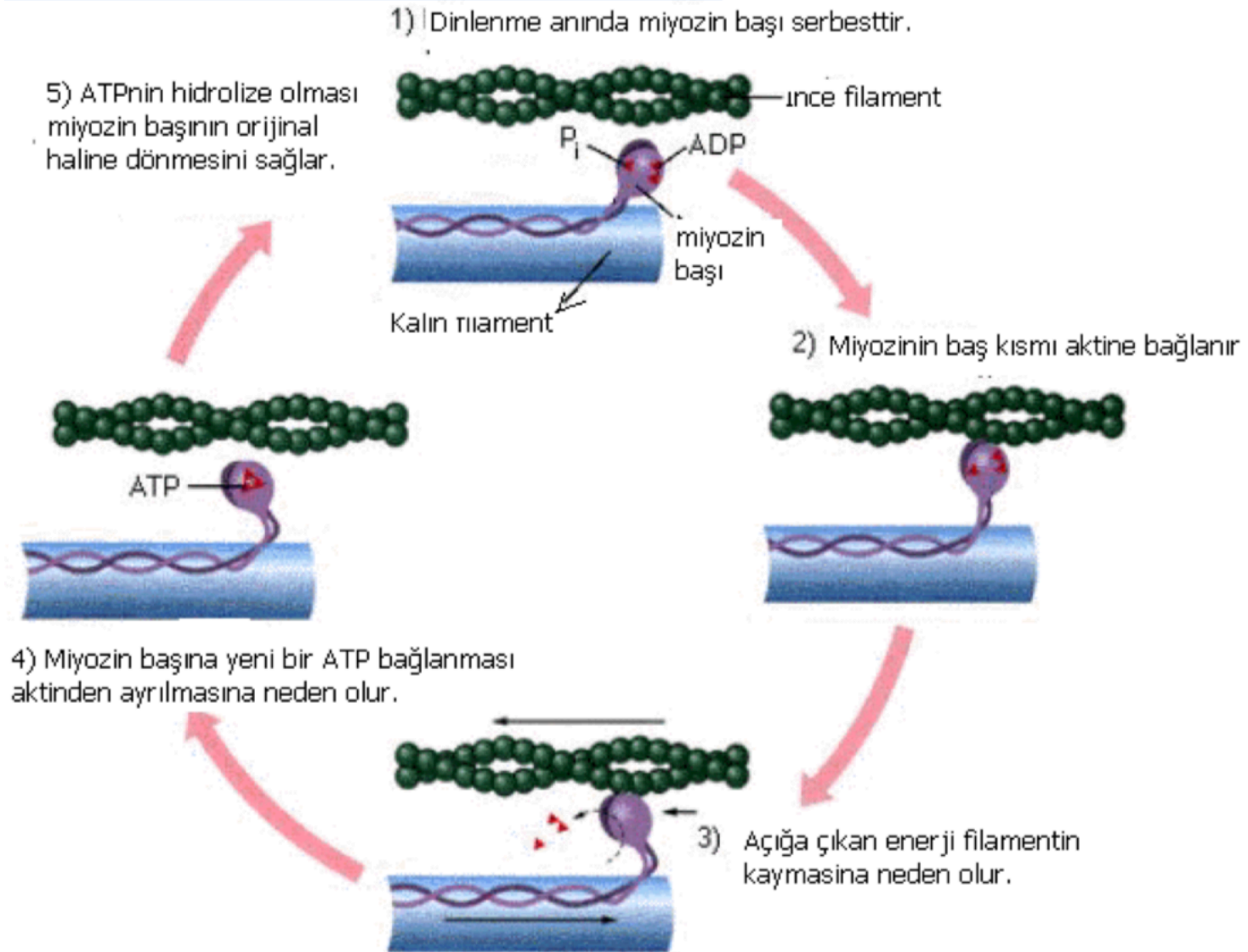
- Kalın ve ince filamentler, kasılma sırasında çapraz köprüler aracılığıyla birbiriyle etkileşirler.



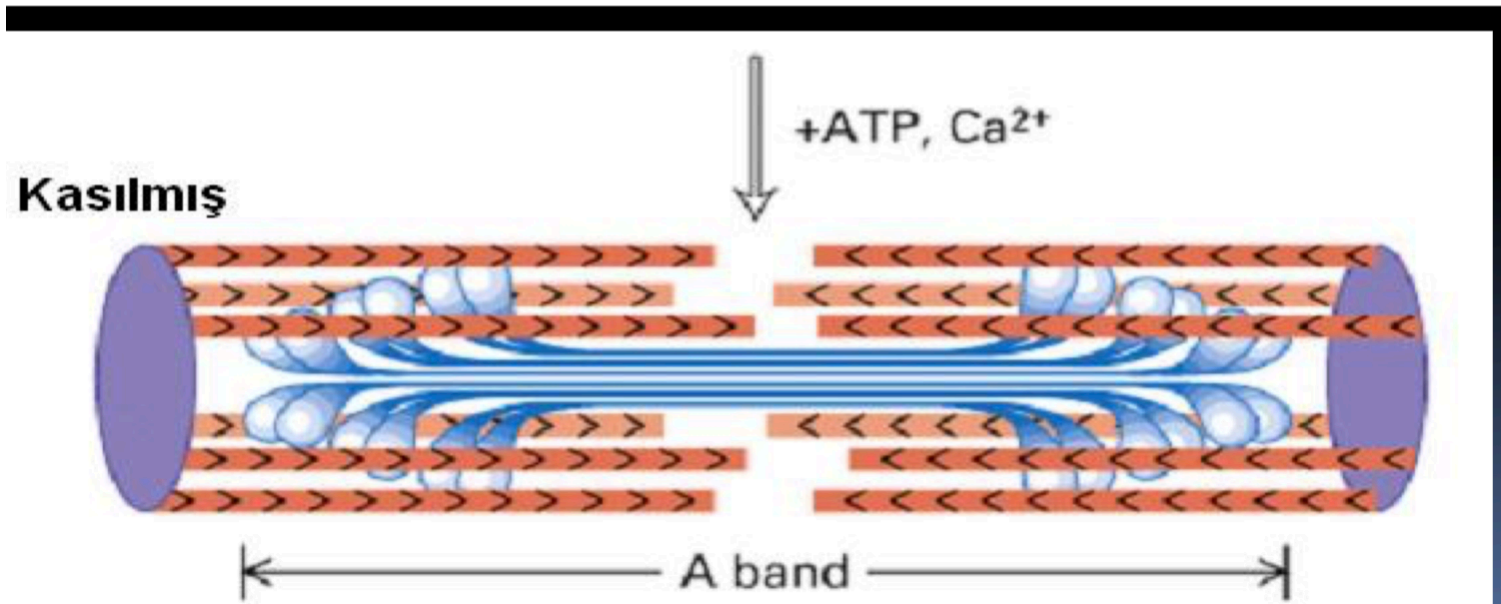
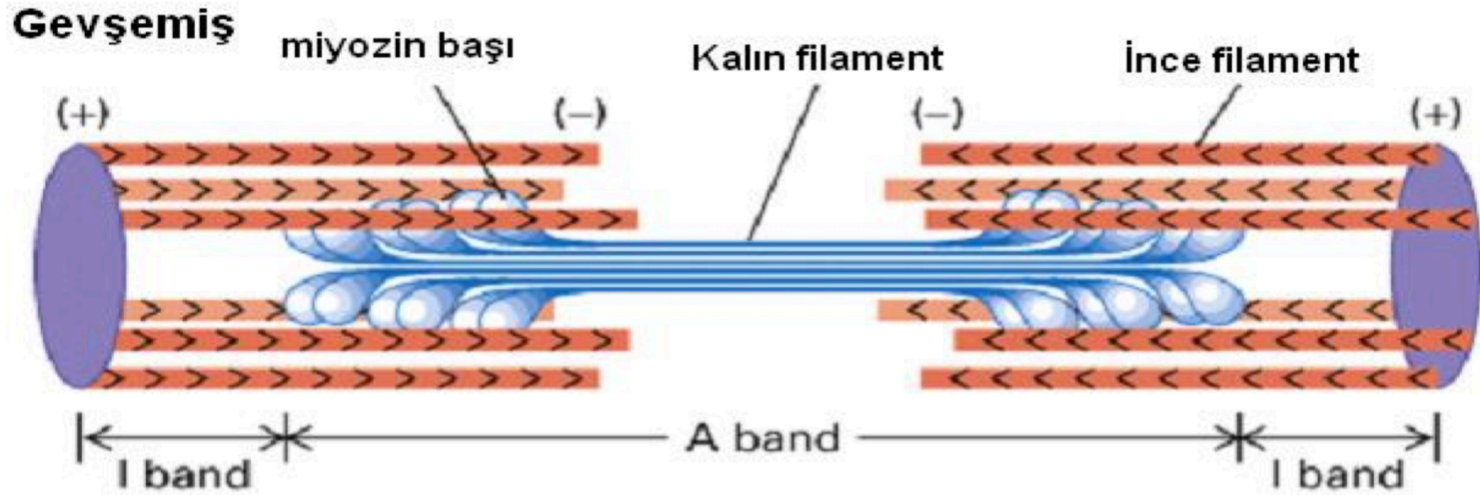
Kas Kasılması

- 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.

Kas Kasılması



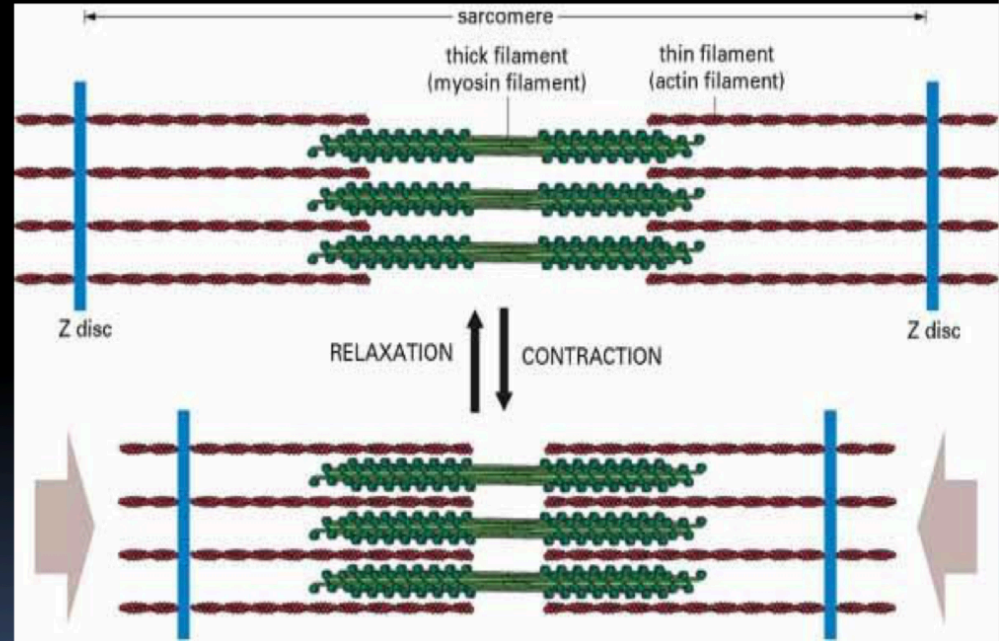
Kayan Filamentler Teorisi



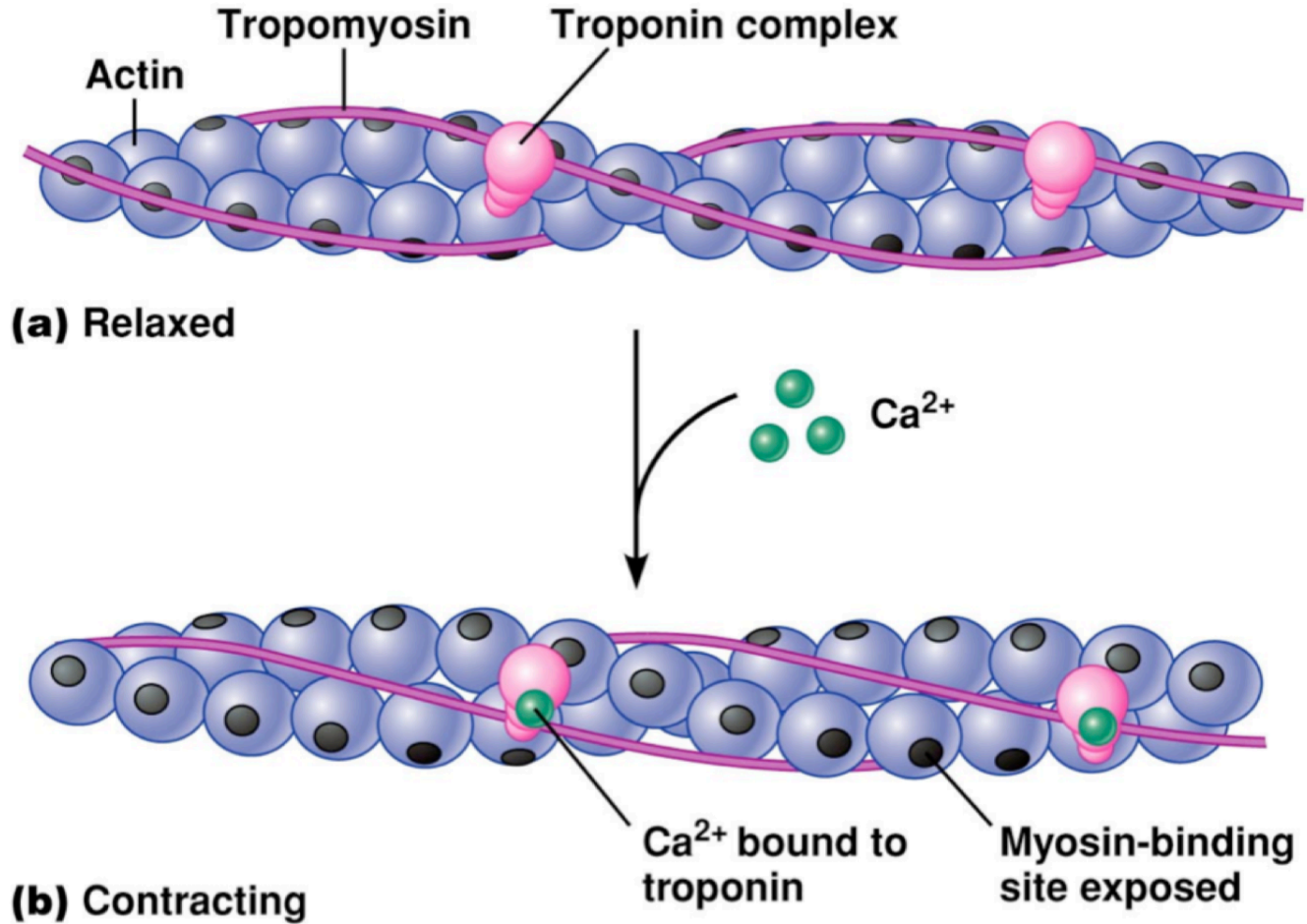
Kayan Filamentler Teorisi-1

Z diskleri birbirine yaklaşır.

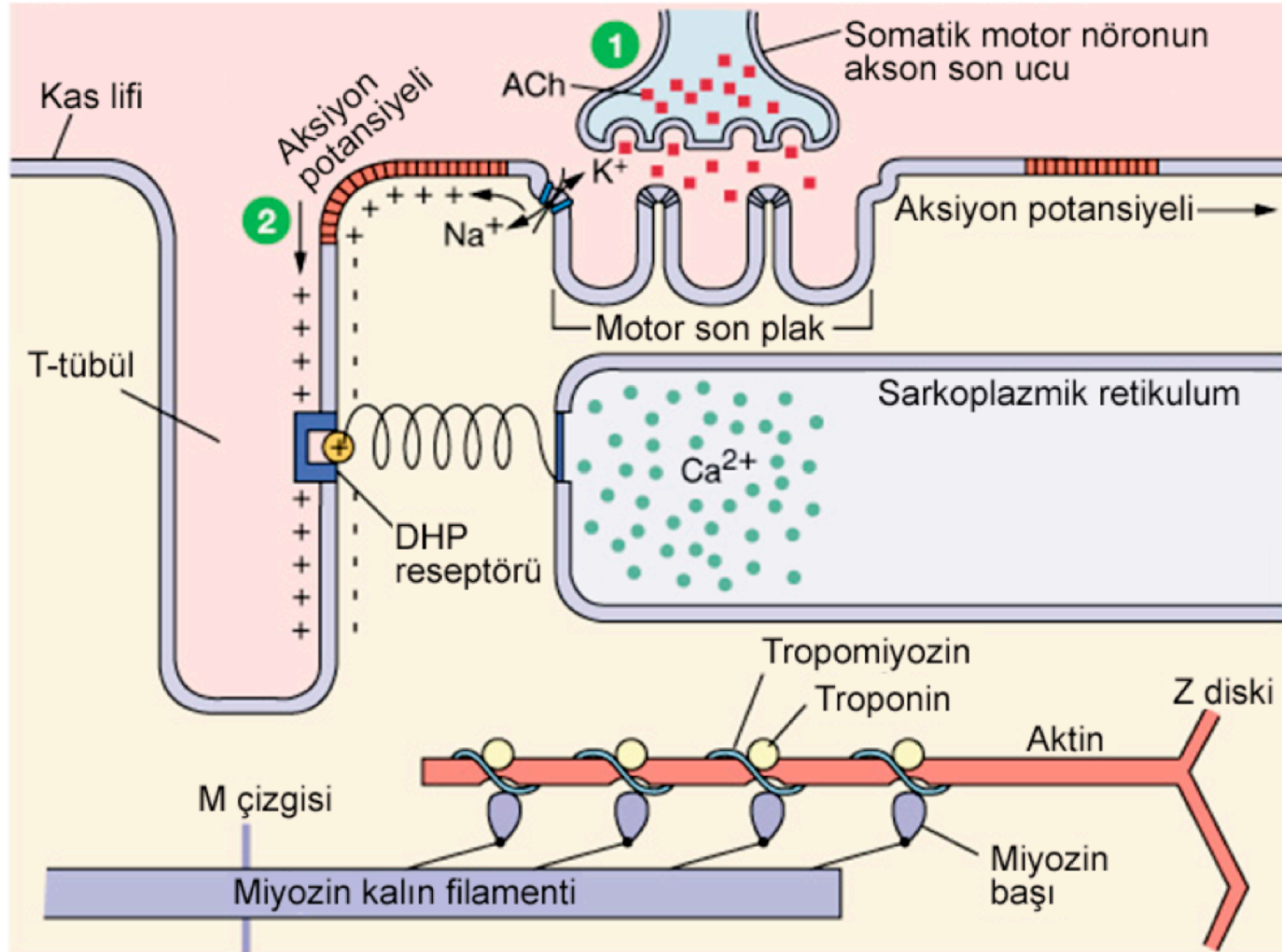
- Sarkomer boyu kısalır (kasılma).
- Kas fibrili kısalır.
- Tüm kas kısalır
- H bandı daralır
- I bandı daralır
- A bandı değişmez
- Miyofilamentlerin boyu değişmez



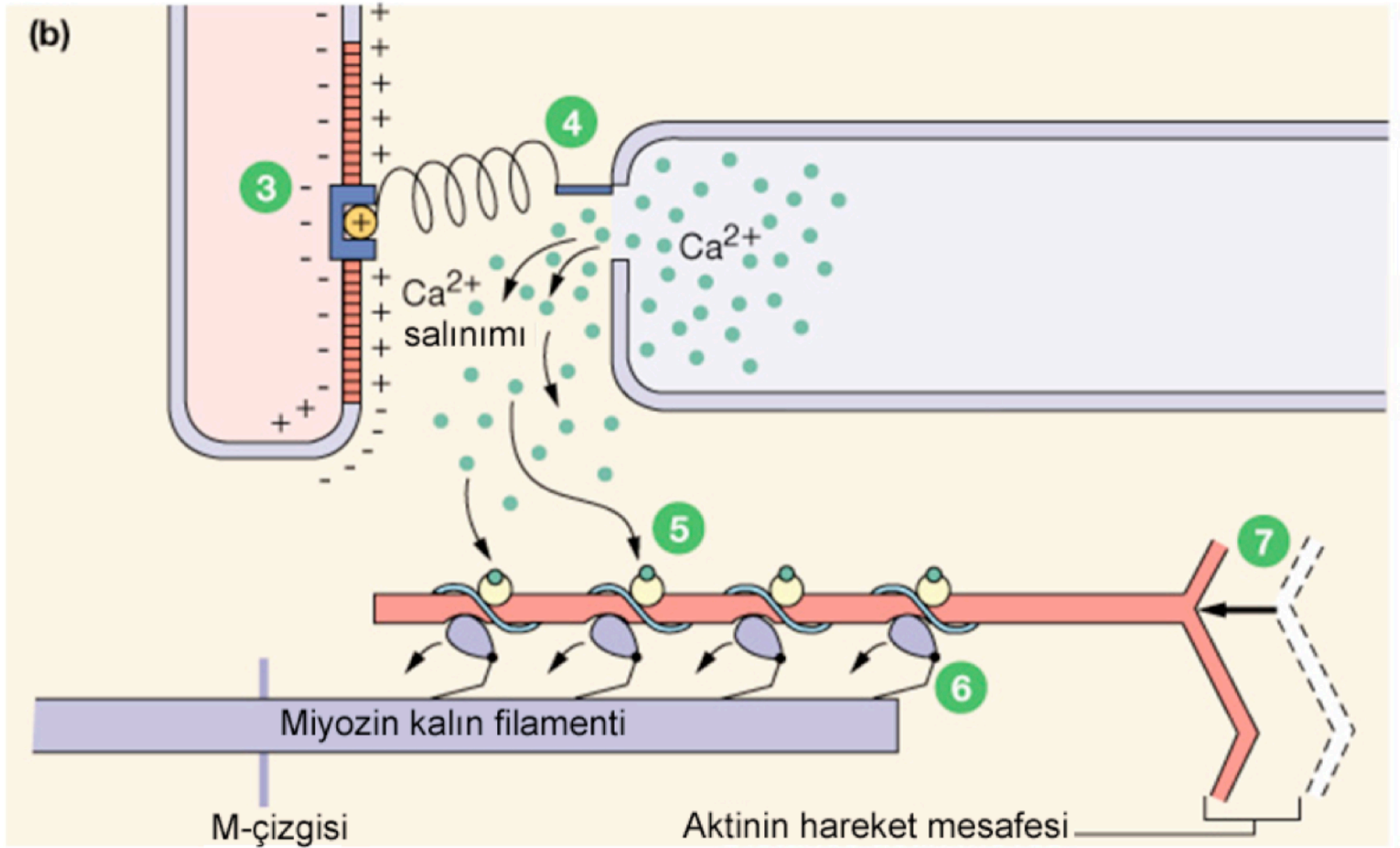
Uyarılma-Kasılma Eşleşmesi-Kalsiyumun önemi



Uyarılma-Kasılma Eşleşmesi



Uyarılma-Kasılma Eşleşmesi



1

Nerve impulse arrives at axon terminal of motor neuron and triggers release of acetylcholine (ACh).

Nerve impulse

Muscle action potential

2

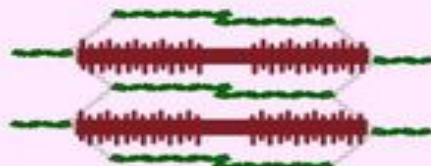
ACh diffuses across cleft, binds to its receptors in the motor end plate, and triggers a muscle action potential (AP).



3

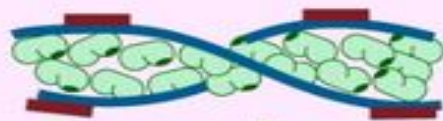
Acetylcholinesterase in synaptic cleft destroys ACh so another muscle action potential does not arise unless more ACh is released from motor neuron.

AChE



6

Contraction: power strokes use ATP; myosin heads bind to actin, swivel, and release; thin filaments are pulled toward center of sarcomere.



8

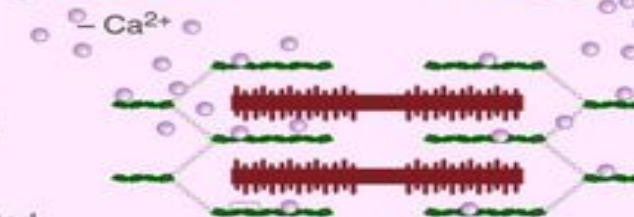
Troponin-tropomyosin complex slides back into position where it blocks the myosin-binding sites on actin.

9

Muscle relaxes.

4

Muscle AP traveling along T tubule opens Ca^{2+} release channels in the sarcoplasmic reticulum (SR), which allows calcium ions to flood into the sarcoplasm.



5

Ca^{2+} binds to troponin on the thin filament, exposing the binding site for myosin.

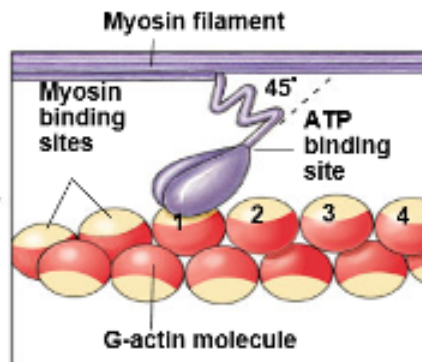


7

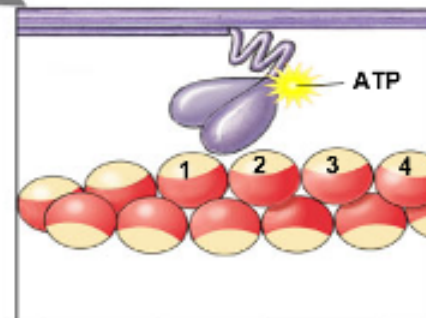
Ca^{2+} release channels in SR close and Ca^{2+} active transport pumps use ATP to restore low level of calcium ions in sarcoplasm.



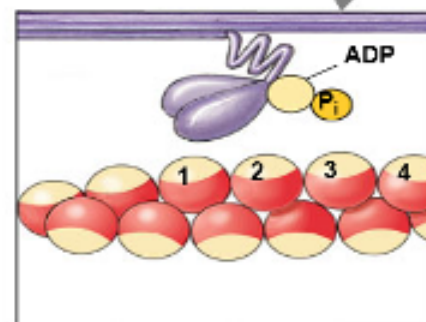
1 Tight binding in the rigor state. The crossbridge is at a 45° angle relative to the filaments.



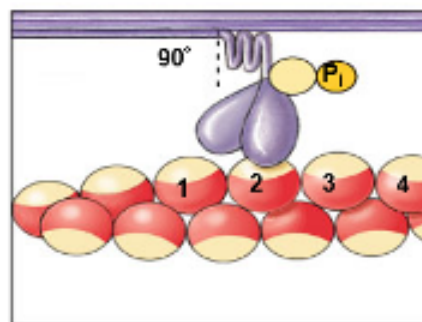
2 ATP binds to its binding site on the myosin. Myosin then dissociates from actin.



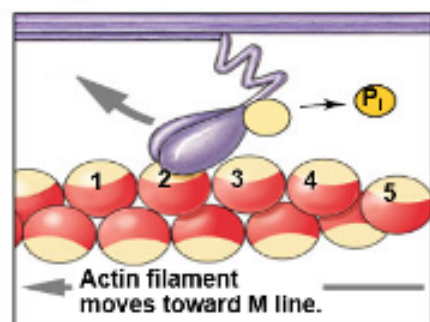
3 The ATPase activity of myosin hydrolyzes the ATP. ADP and P_i remain bound to myosin.



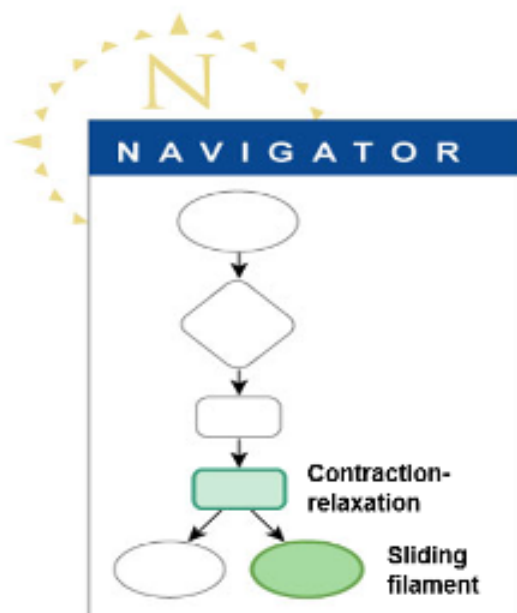
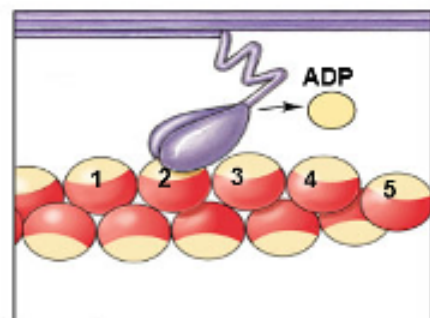
4 The myosin head swings over and binds weakly to a new actin molecule. The crossbridge is now at 90° relative to the filaments.

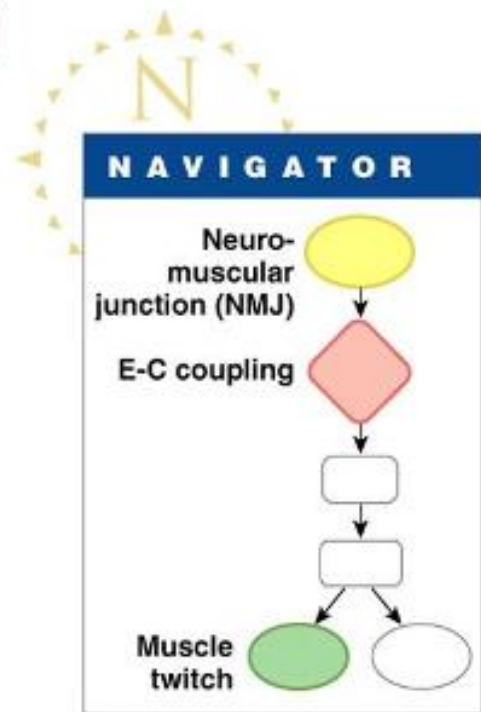
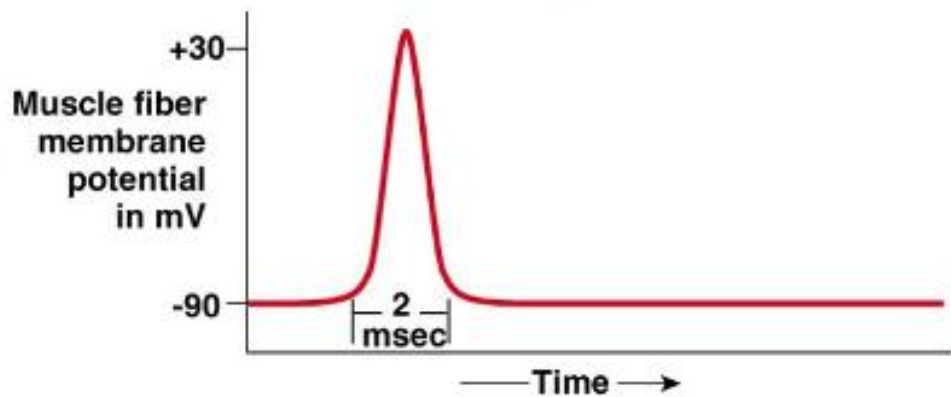
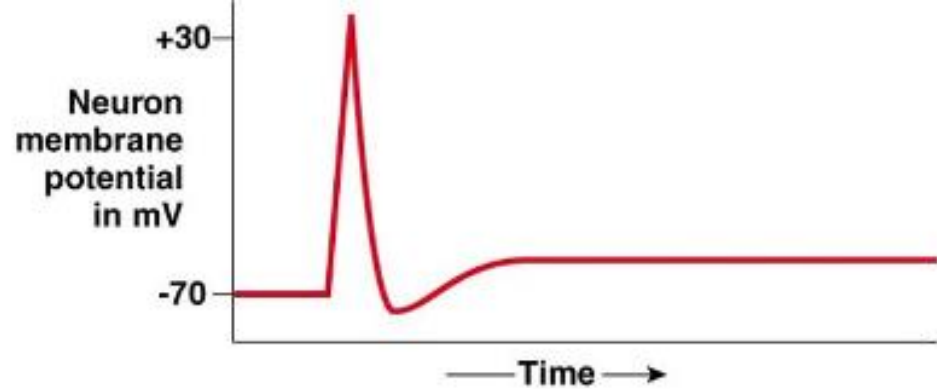
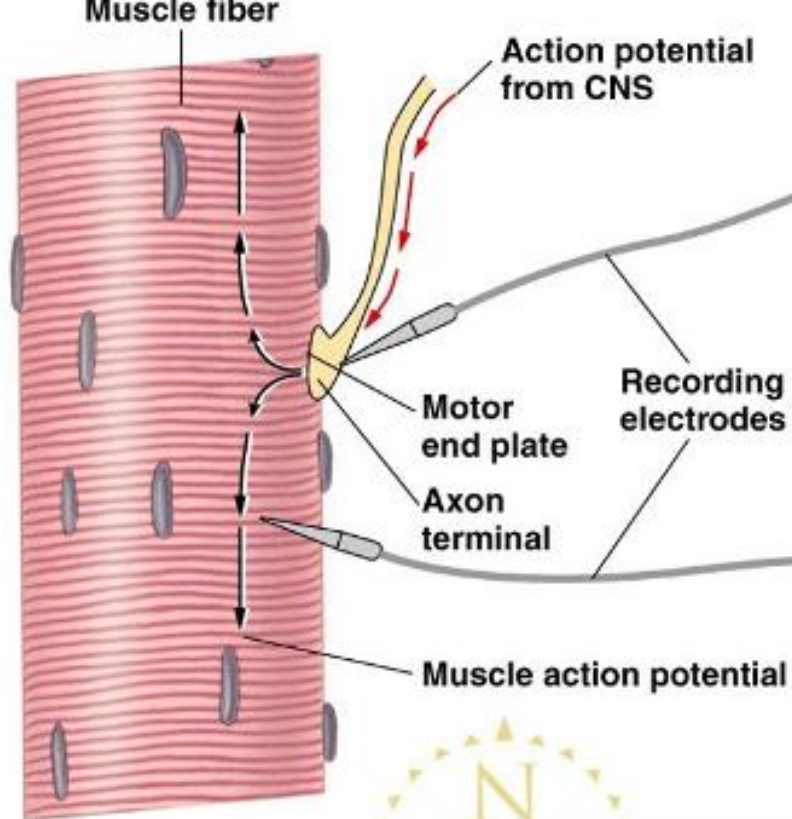


5 Release of P_i initiates the power stroke. The myosin head rotates on its hinge, pushing the actin filament past it.

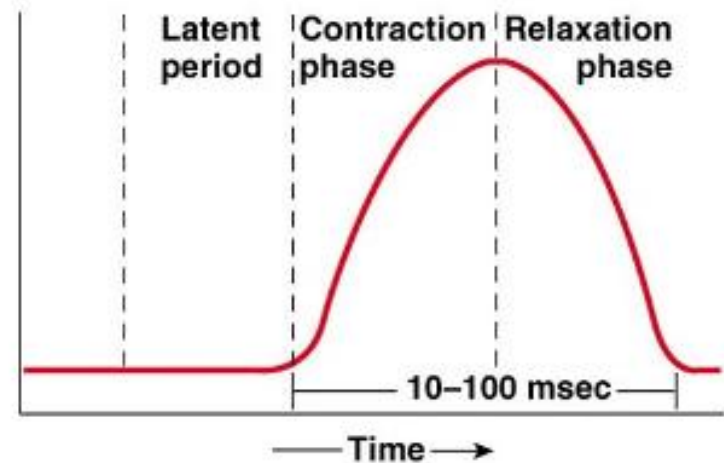


6 At the end of the power stroke, the myosin head releases ADP and resumes the tightly bound rigor state.

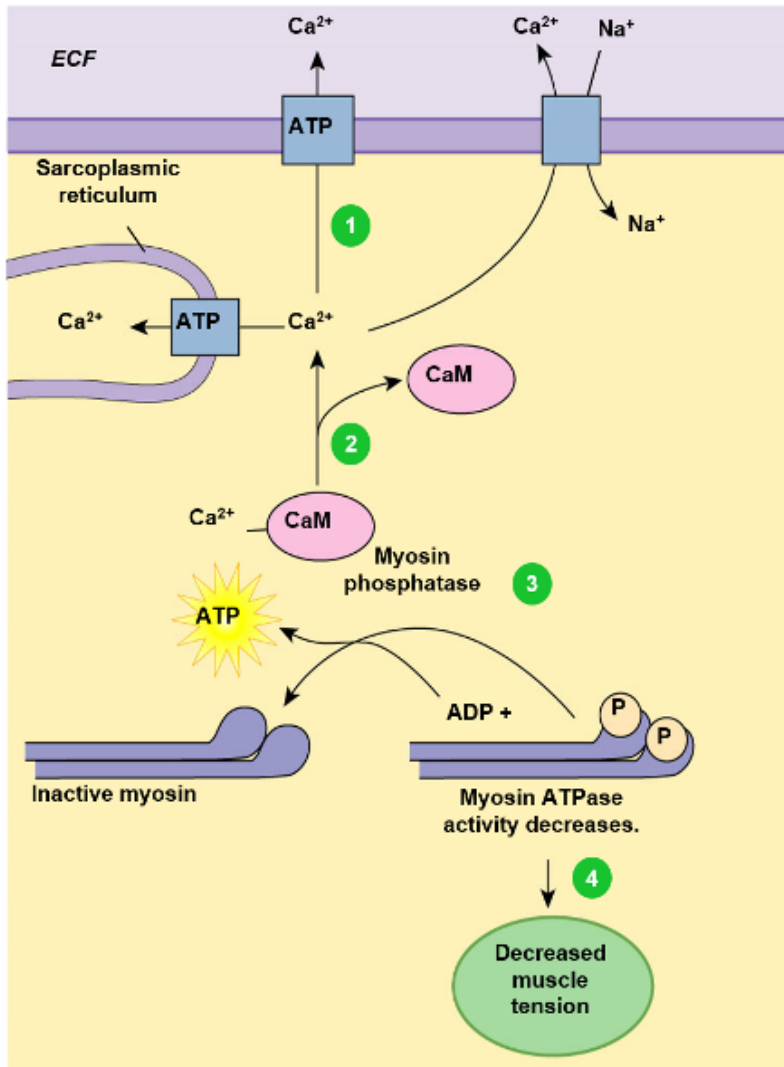




Development of tension during one muscle twitch



Kas Gevşemesi



1 Free Ca^{2+} in cytosol decreases when Ca^{2+} is pumped out of the cell or back into the sarcoplasmic reticulum.

2 Ca^{2+} unbinds from calmodulin (CaM).

3 Myosin phosphatase removes phosphate from myosin, which decreases myosin ATPase activity.

4 Less myosin ATPase results in decreased muscle tension.

Kasılma sonucu biyokimyasal değişiklikler

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

Kasılmanın Enerjisi: ATP ve Fosfokreatin

- **Oksijenli** (aerobik) solunum
 - Oksijen
 - Glikoz
 - Yağ asitleri
 - 30-32 ATP üretilir
- **Oksijensiz** (anaerobik) solunum
 - Hızlıdır, *fakat*;
 - 1 mol glikoz başına **2** mol ATP
- **Fosfokreatin** → ATP

Kasılmanın Enerjisi: ATP ve Fosfokreatin

Dinlenme halinde



Metabolizmadan ATP + kreatin $\longrightarrow$ ADP + Fosfokreatin

Çalışan kas



Fosfokreatin + ADP $\xrightarrow[\text{kinaz}]{\text{kreatin}}$ Kreatin + ATP

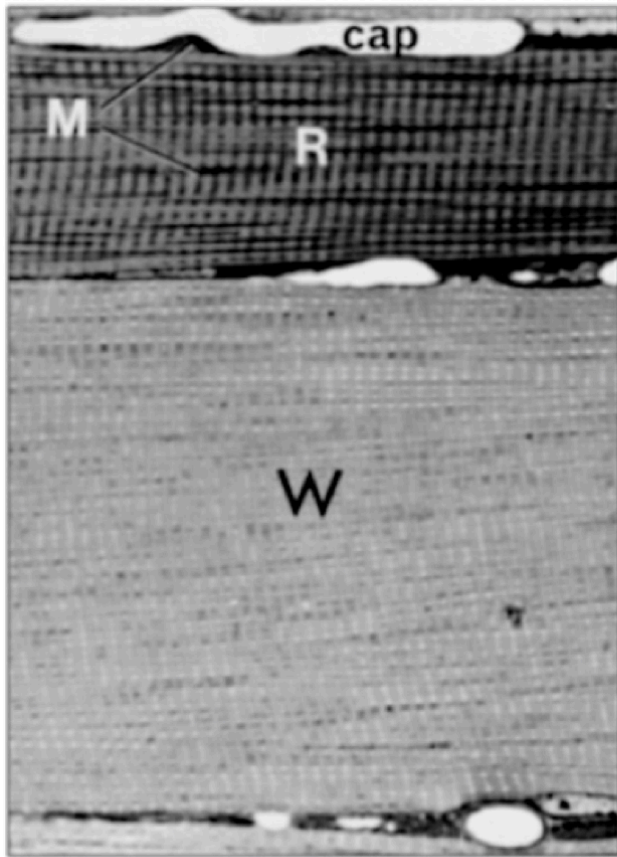
$\downarrow$
kullanıldığı yerler

- Miyozin ATPaz (kasılma)
- Kalsiyum-ATPaz (gevşeme)
- Na-K ATPaz (aksiyon potansiyeli sırasında bozulan iyon dengesinin düzeltilmesi)

İskelet Kası Enerji Kaynakları

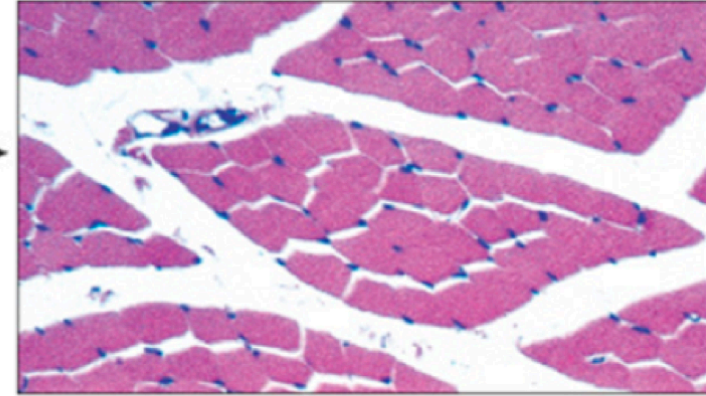
- İskelet kası, istirahatte ve hafif egzersizde enerji kaynağı olarak yağ asitlerini kullanır.
- Serbest yağ asitleri mitokondride beta oksidasyonu ile ATP ye dönüştürülür ve kreatin ile birleştirilerek kreatin fosfat şeklinde depo edilir.
- Egzersiz sırasında acil depo olarak bu kreatin fosfat kullanılır. Egzersiz şiddet artarsa enerji kaynağı olarak karbonhidratlar daha baskın olarak kullanılır.
- Karbonhidratlar glikolize uğrar ve sonucunda laktat oluşur. Laktat ise kasta ağrı oluşturur.

Liflerin Kasılma Hızı-Lif tipleri



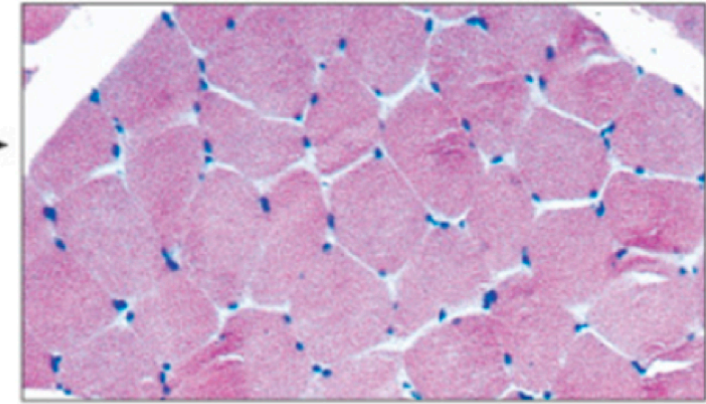
Yavaş kasılan oksidatif kas lifleri

- Daha küçük çaplı
- Koyu renk (miyoglobin)
- Yorulmaya dirençli



Hızlı kasılan glikolitik kas lifleri

- Daha büyük çap
- Açık renk
- Kolay yorulur.



Liflerin Kasılma Hızı:

Glikolitik/Hızlı/Beyaz/Tip II Lifler

- Hızlı lifler
 - 2-3 kez daha hızlı...
 - Oksijensiz/Kolay yorulan lifler
 - Güçlü kaldırma
 - Hızlı/hassas hareketler
 - Kısa süreli koşu (sprint)

Liflerin Kasılma Hızı:

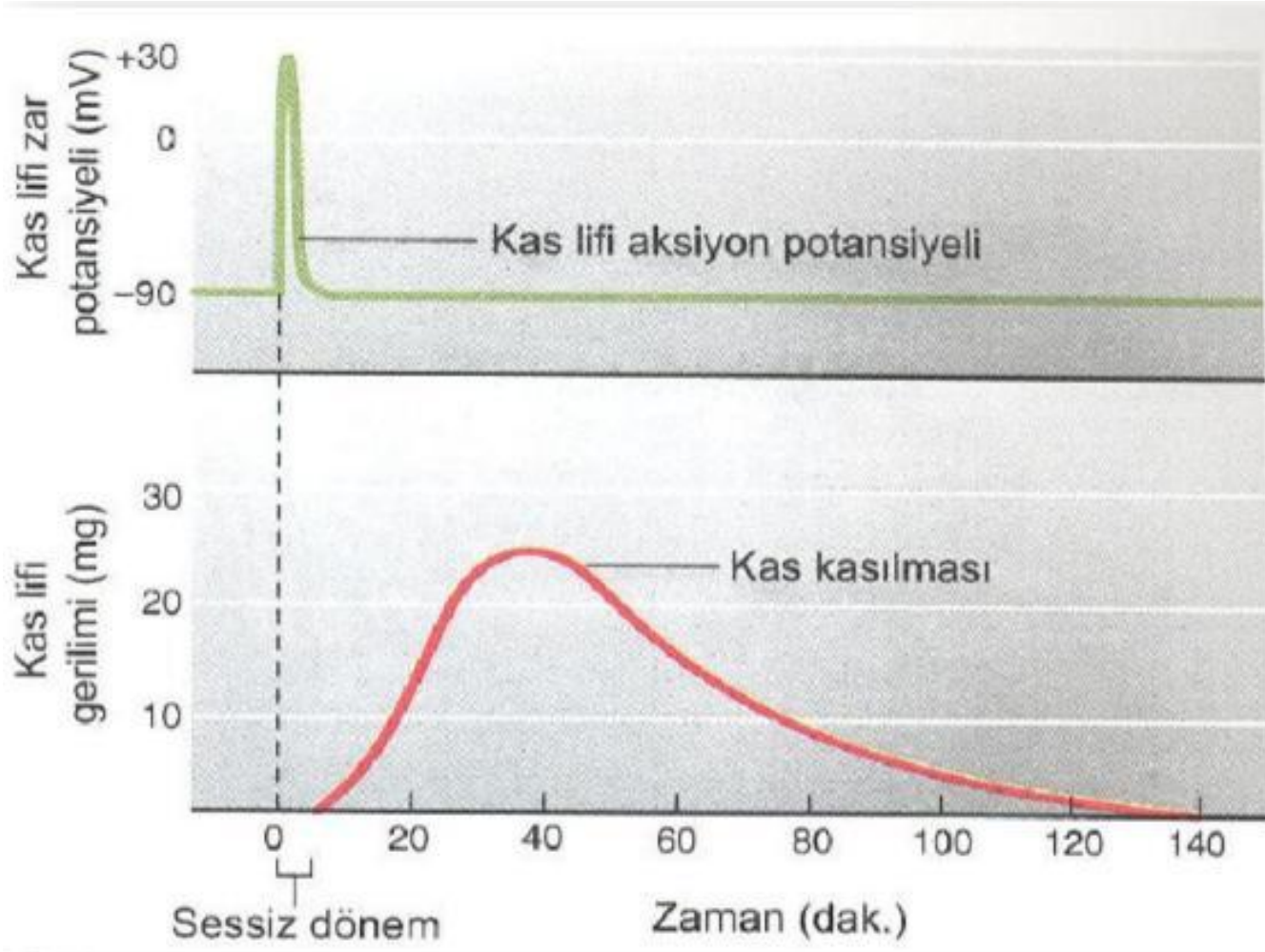
Oksidatif /Yavaş/Kırmızı/Tip I Lifler

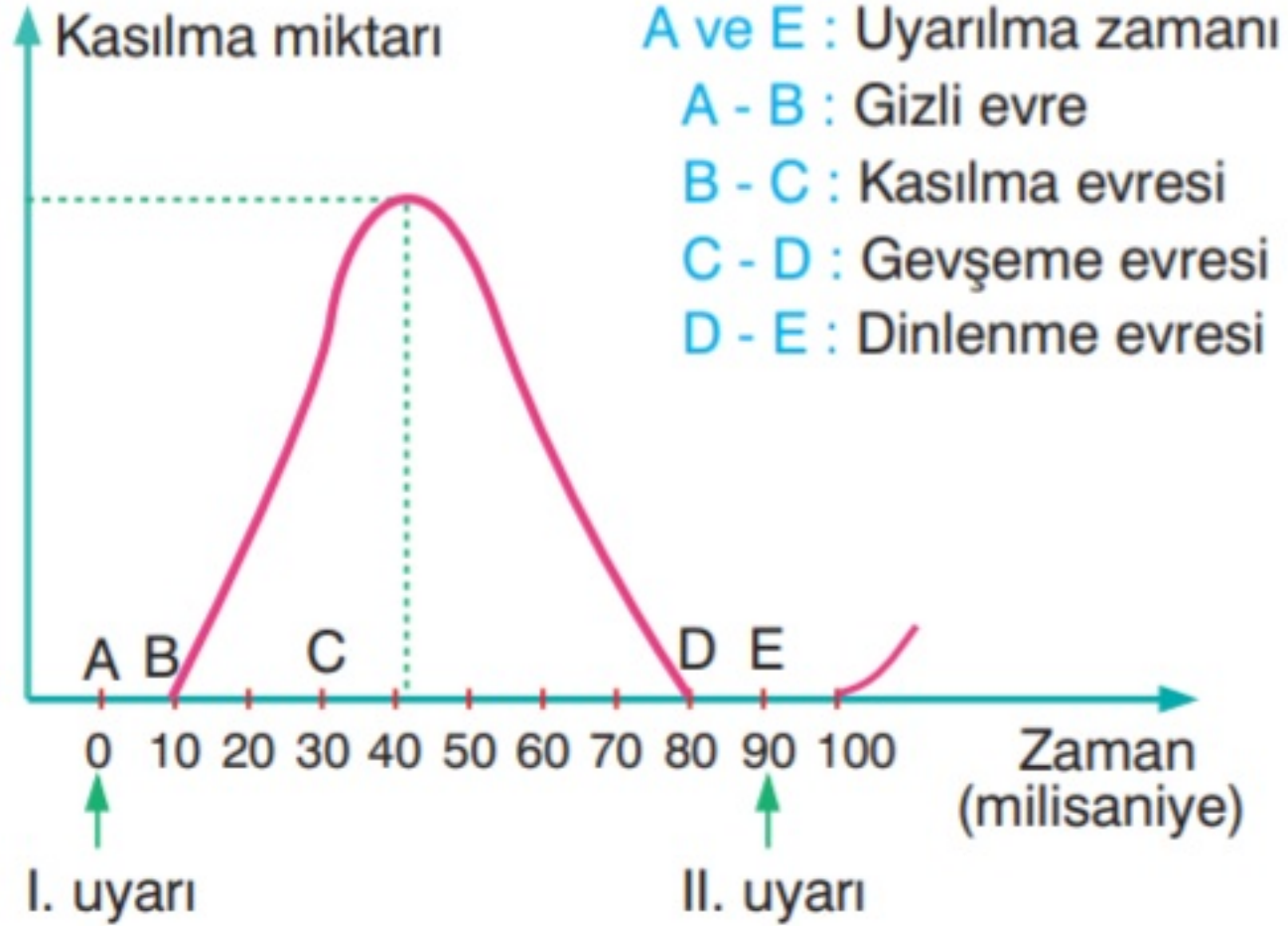
- Yavaş lifler: Oksijenli, daha yavaş yorulur
 - Daha fazla mitokondri
 - Daha fazla kılcal damar
 - Miyogloblin
 - Direnç dayalı etkinlikler
 - Duruş (postür) kasları

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.

Kas Sarsısı





Kasılma olayı dört evrede gerçekleşir.

Kas Tonusu

- 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

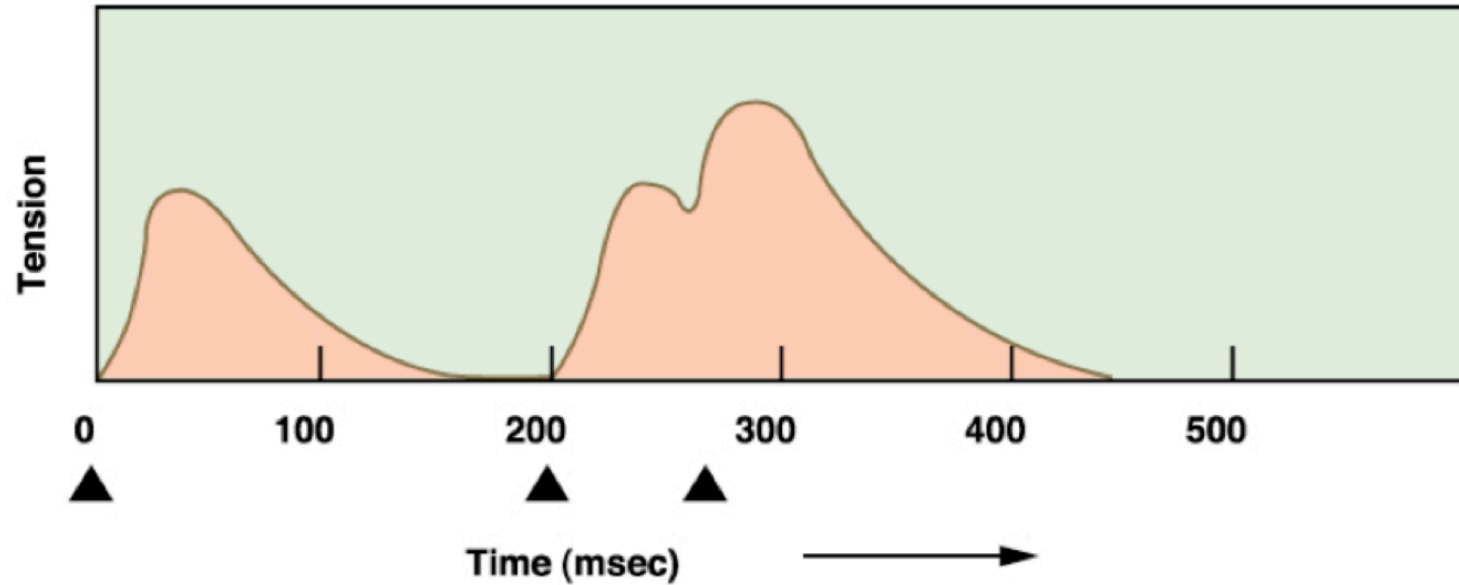
- Kas tonusu vücudun normal duruşunu devam ettirilmesinde de önemlidir.
- Kasın motor siniri kesildiğinde kas tonusunu kaybeder, kaslarda yumuşama ve zayıflama görülür
- Kas tonusu sayesinde kas tamamen gevşemiş bir kasa göre daha hızlı tepki verme yeteneği kazanır.

Frekans Sumasyonu

- Kas sarsısı sürerken verilen bir uyarı, daha yüksek bir cevabın alınmasını sağlar.
- Bu durum “frekans birikimi (sumasyonu) olarak bilinir ve muhtemelen kasın kasılma sırasında kalsiyum salgılama yeteneğinin artmasına bağlıdır.

Frekans Sumasyonu

(b) Summation

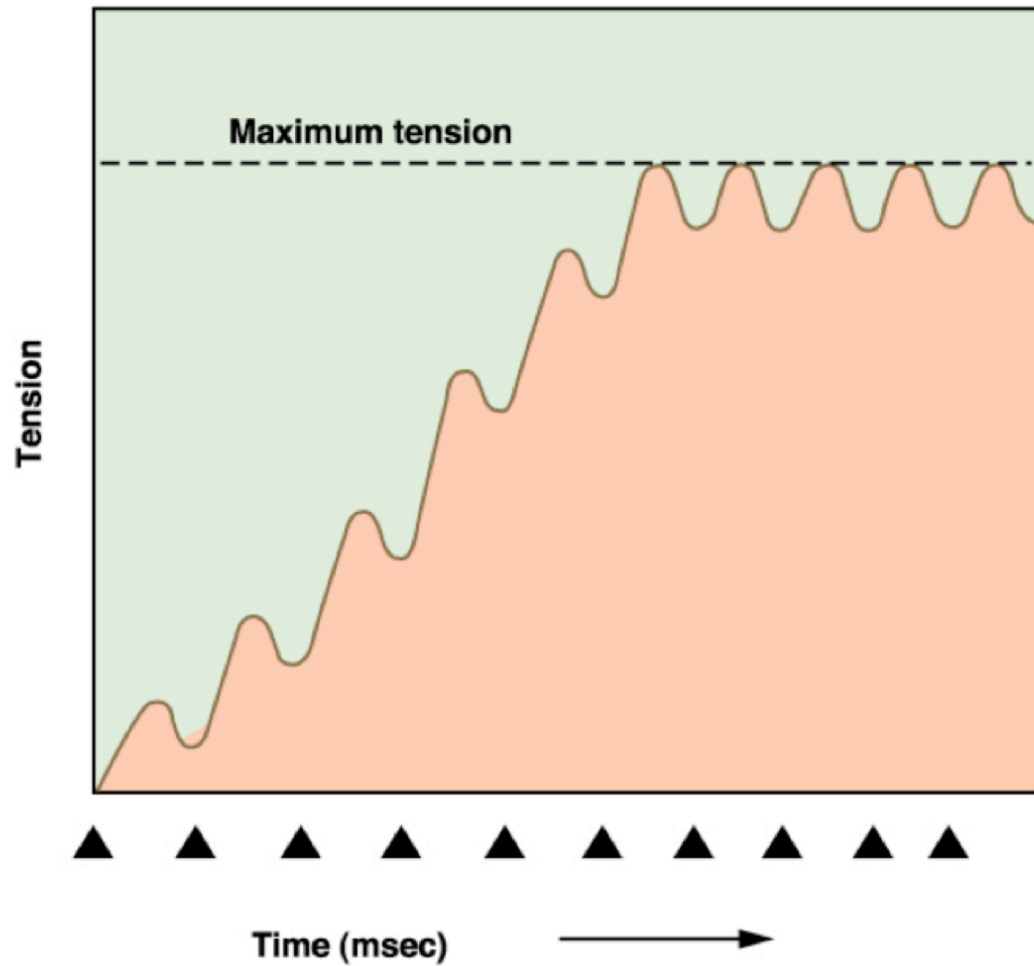


Tam Olmayan Tetanus

- Frekans summasyonu ardışık uyarılarla devam ettiğinde, kasın üretebileceği azami gerime kadar kas gücünde artışa neden olur.
- Bundan sonra, hafif gevşemelerle beraber kas tonusunun azami noktada kaldığı tam olmayan tetanus durumu oluşur.

Tam Olmayan Tetanus

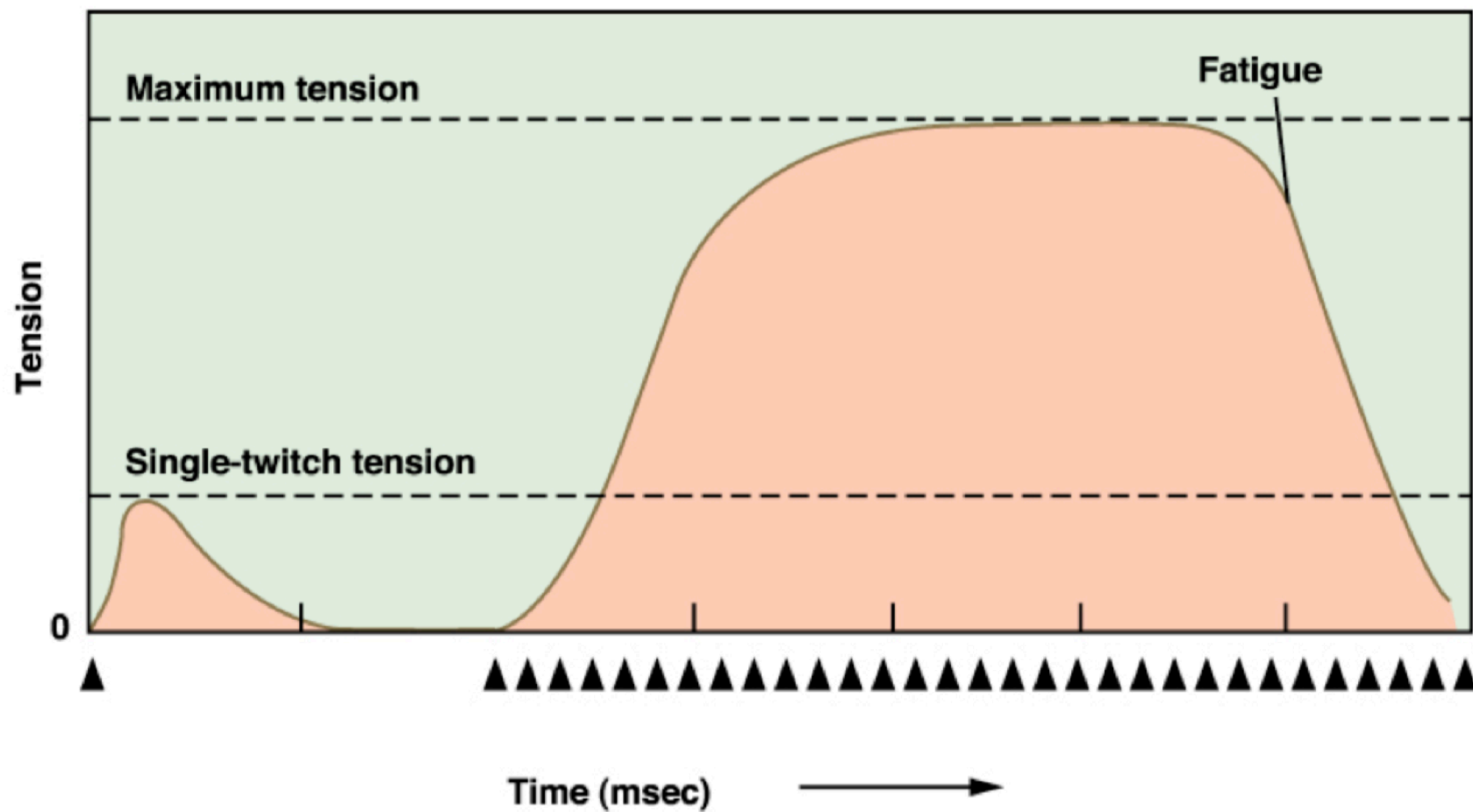
(c) Summation leading to unfused tetanus

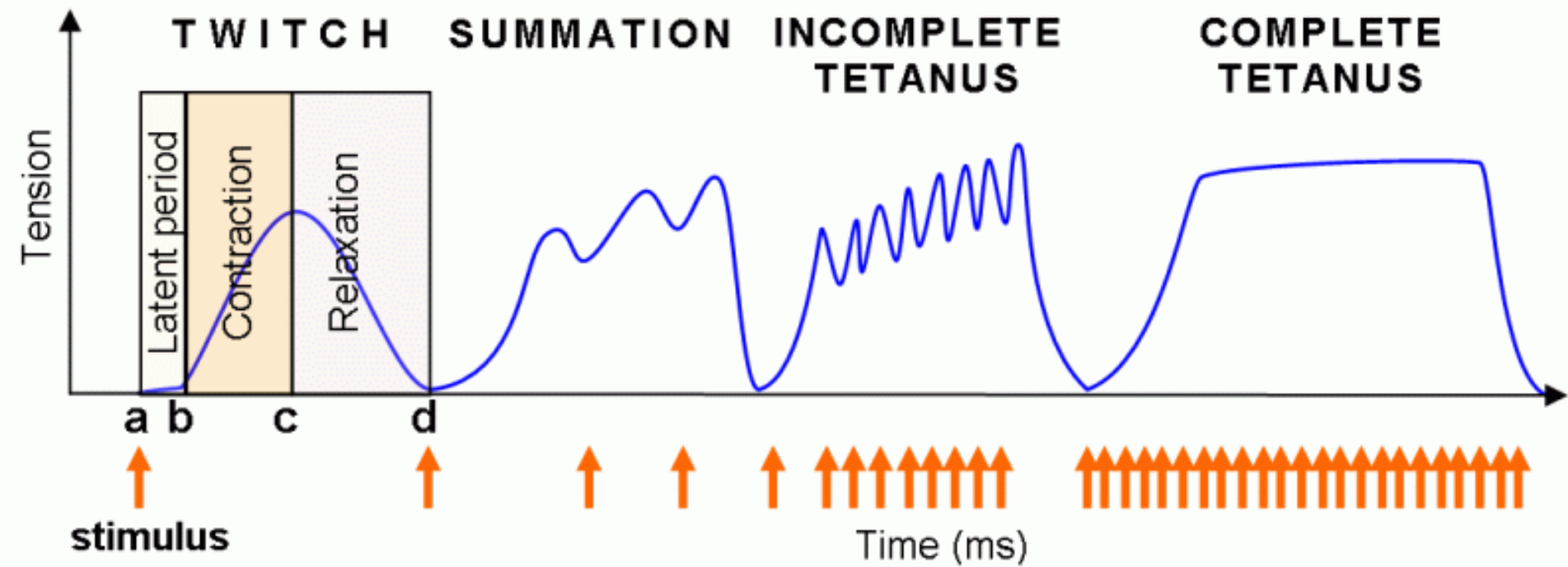


Tam Tetanus

- Yüksek sıklıkta (frekansta) uyarı verildiğinde ise kas “tam tetanus” durumuna geçer ve gevşemeye fırsat bulamadan sürekli gelen uyarılar nedeniyle kasılı durumda kalır.
- Bu hal, uyarılar devam etse bile, kas yorgunluğuna bağlı olarak bir süre sonra kendiliğinde azalarak ortadan kalkar.
- Buna da **tetanus sonrası yorgunluk** adı verilir.

(d) Summation leading to complete tetanus





Kasılma Tipleri

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

Isotonic Contraction



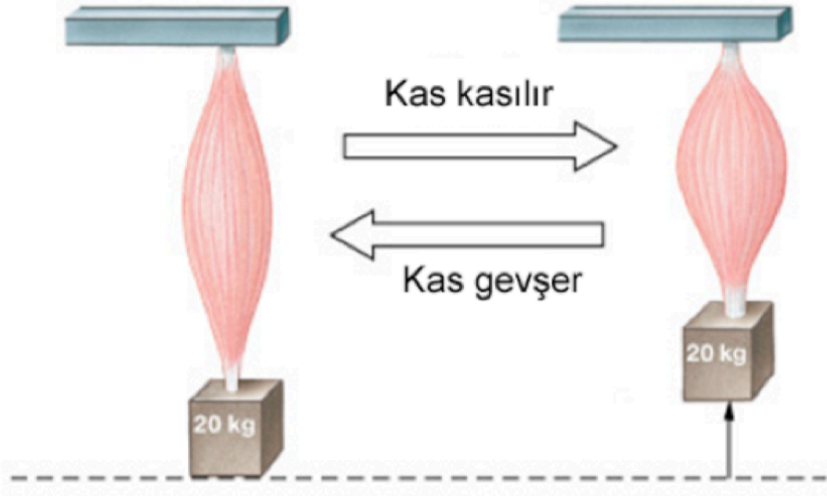
Isometric Contraction



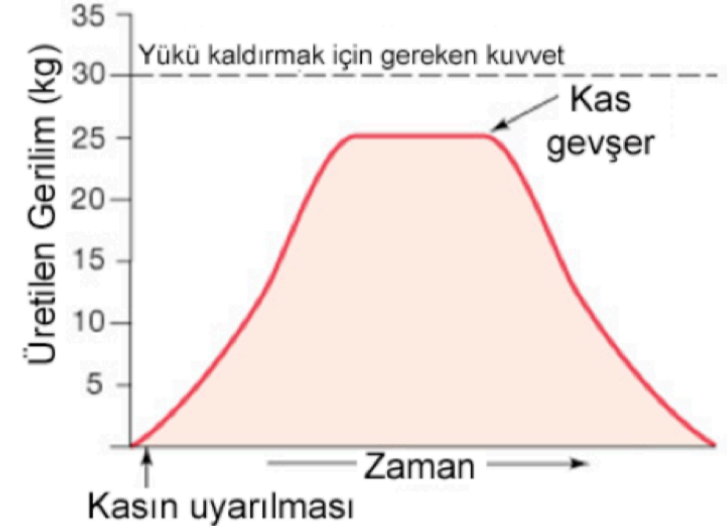
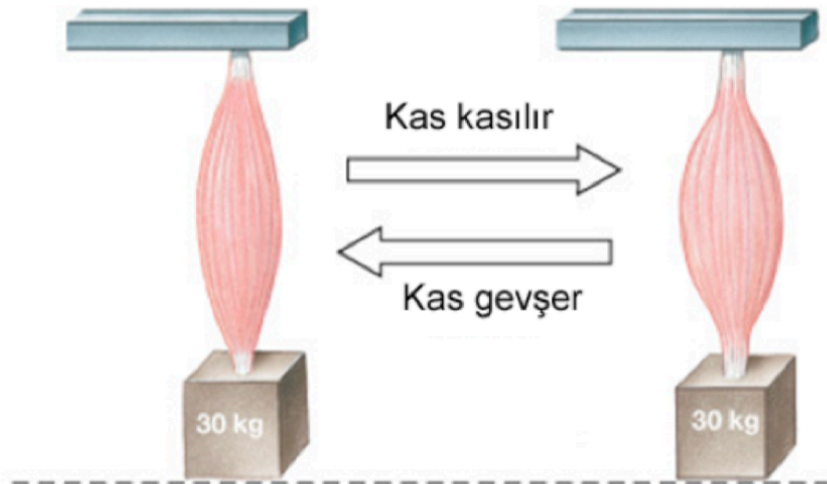
Hole's Human Anatomy and Physiology, 7th edition, by Shier, et al.
copyright ©1996 TM Higher Education Group, Inc.

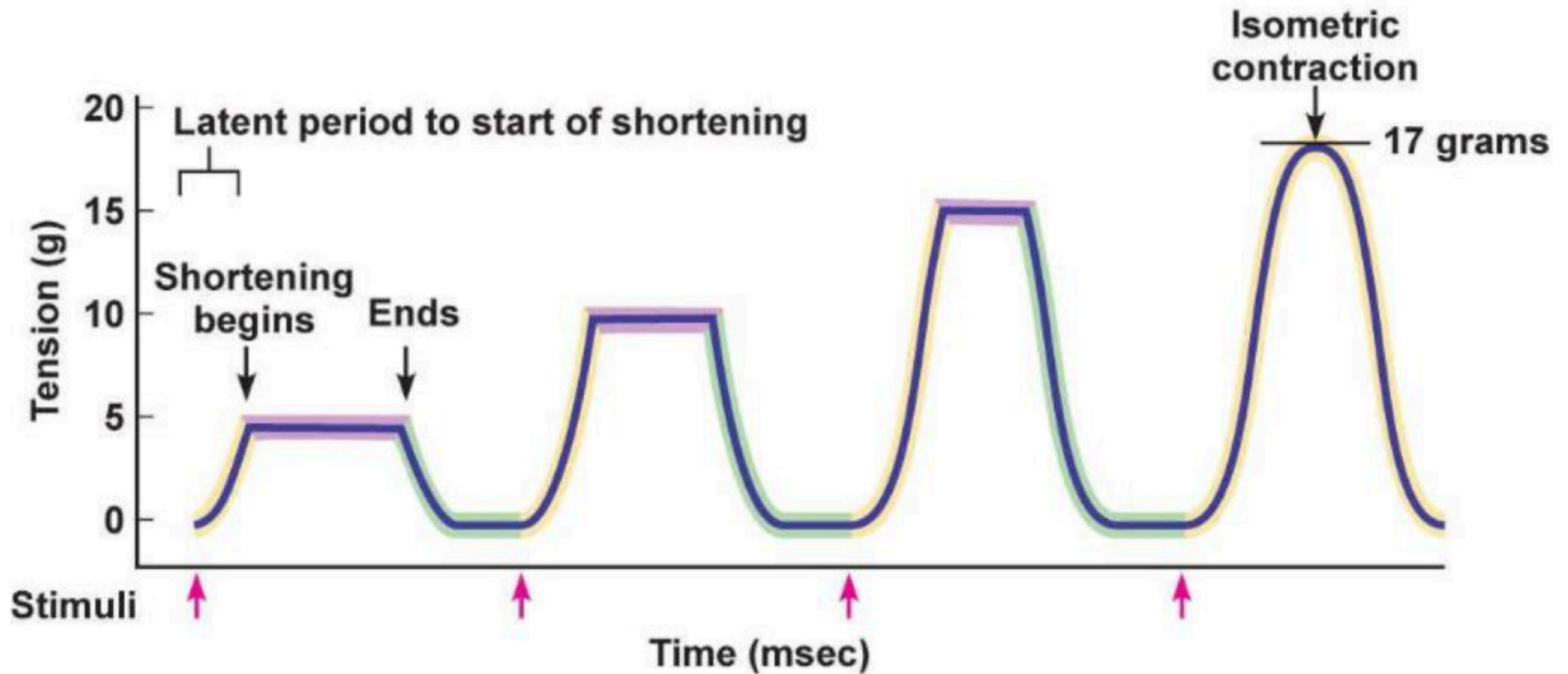
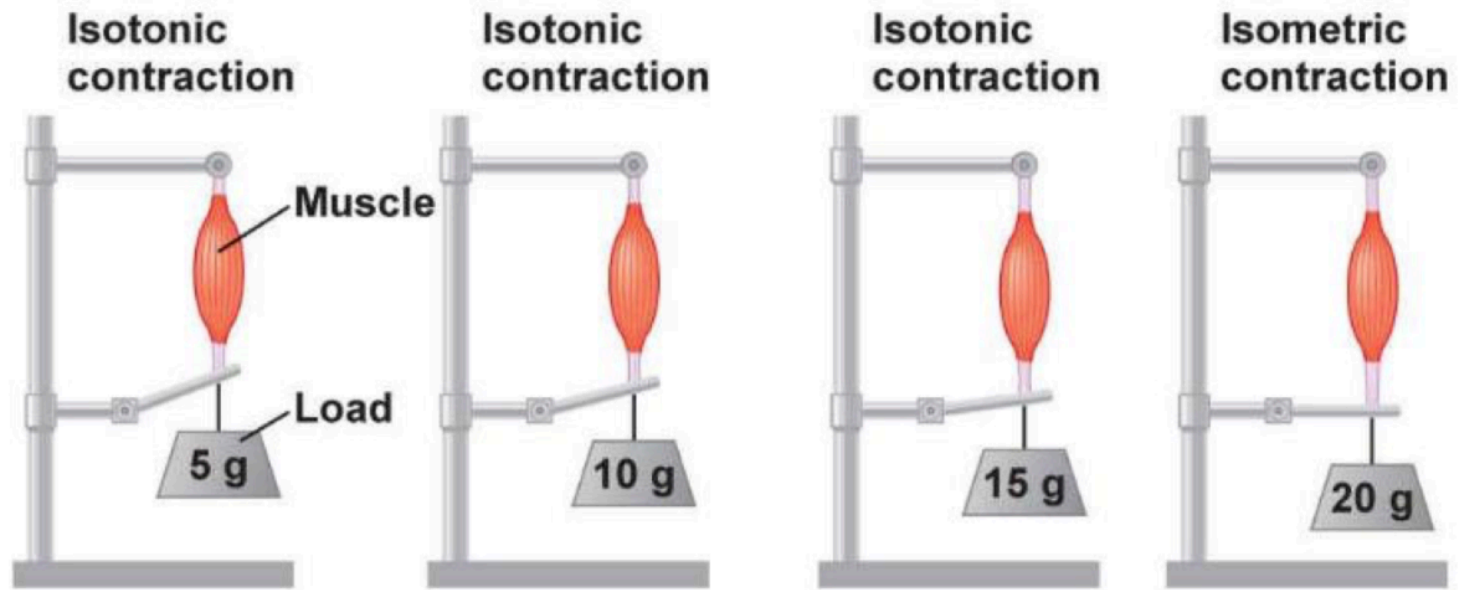
Kasılma Tipleri

a) **İzotonik kasılma:** Kas kasılır, kısalır ve yükü kaldırmaya yetecek gücü üretir.



b) **İzometrik kasılma:** Kas kasılır fakat kısalmaz. Güç, yükü kaldıramaz.





İskelet Kasında Hipertrofi

- *Yoğun güçlü egzersiz sonucunda:*
 - Miyofibril sentezi artar
 - Hücre çapları artar
 - Hücre sayısı değişmez
 - Kas çapı/gücü artar
- Anabolik maddeler ve steroidler!
 - Protein sentezinde ve anabolik aktivitede artış
 - Uzun dönemde tehlikeli yan etkiler!





Kas Atrofisi

- Kas atrofisi, kasların yavaş yavaş azaldığı ve yıprandığı durumu ifade eder. Kas kaybının temel nedeni fiziksel aktivite eksikliğidir.
- **Kas kaybı** bir hastalık veya sakatlığın kol veya bacağınızı hareket ettirmenizi zorlaştırdığı veya imkansız hale getirdiği zaman gerçekleşebilir

Kas Atrofisi Nedenleri

- Uzun süre fiziksel aktivite eksikliği,
- Yaşlanma,
- Alkolle ilişkili miyopati,
- Yanıklar,
- Yırtık bir rotator kılıf veya kemik kırılması gibi yaralanmalar,
- Yetersiz beslenme,
- Omurilik veya periferik sinir yaralanmaları,
- İnme (felç),
- Uzun süreli kortikosteroid tedavisi sebepleri olarak listelenebilir.

İskelet Kasında Atrofi

- *Motor sinir kesildiğinde;*
 - Faskikülasyon
 - Fibrilasyon (günler sonra)
 - **ATROFİ!**
 - 3-4 ay içinde başlar
 - 1-2 yılda yağ dokusu ve bağ dokuya dönüşür.



Stephen Hawking