



İSTANBUL
GELİŞİM
ÜNİVERSİTESİ

Ekolojik, Ekonomik ve Sosyal Sürdürülebilirlik İçin

İstanbul Gelişim Üniversitesi



Biyomekanik ve Kinezyoloji I

10. Hafta Dokuların Biyomekanik Özellikleri: Kas

Öğr. Gör. Zeynep KAÇAR

zkacar@gelisim.edu.tr

f t gelisimedu @igugelisim

www.gelisim.edu.tr



Dokuların Biyomekanik Özellikleri: Kas





Kas dokusu

Mezenkimal kökenlidir

Bağ dokusundan farklı

Hücre var

Ekstrasellüler matriks yok



Sınıflandırma

İskelet kası (Çizgili kas)

Uzun, silindirik, çok çekirdekli hücre demetleri

Çapraz çizgilenmeler gösterir

Hızlı, güçlü ve istemli kontrol altında kasılırlar

Solunum kasları

İskelet kasları ile aynı yapıda

Bazı yönleri ile farklı

Kalp kası

Hücreler uzun, paralel, ancak dallanmıştır

Çapraz çizgilenmeler gösterir

Bağlantılar arasında ara diskler vardır.

Güçlü, ritmik ve istemsiz kasılır

Düz kas

Füziform hücre yığınınından oluşur

Çizgilenme göstermez.

Yavaş ve otonom kasılır.



İskelet Kası

Vücut ağırlığının %40-45'i
430'dan fazla iskelet kası var

Her biri ayrı bir organ

Kas liflerinden oluşur

Her lif bir kas hücresidir.

Bir çok hücrenin füzyonu ile oluşur

Uzunluğu 0,1-30 cm (ort. 3cm)

Çapı 10-100 μm

Kas tipine,

Yaşa,

Cinsiyete,

Beslenme durumuna ve

İdman durumuna göre değişir.



Embriyogenez

Kök (Satellit) hücreler sıralanır

Birbirleri ile kaynaşır (Füzyon)

Uzun bir miyotüp (lif) oluşur

Miyotüp olgunlaşır

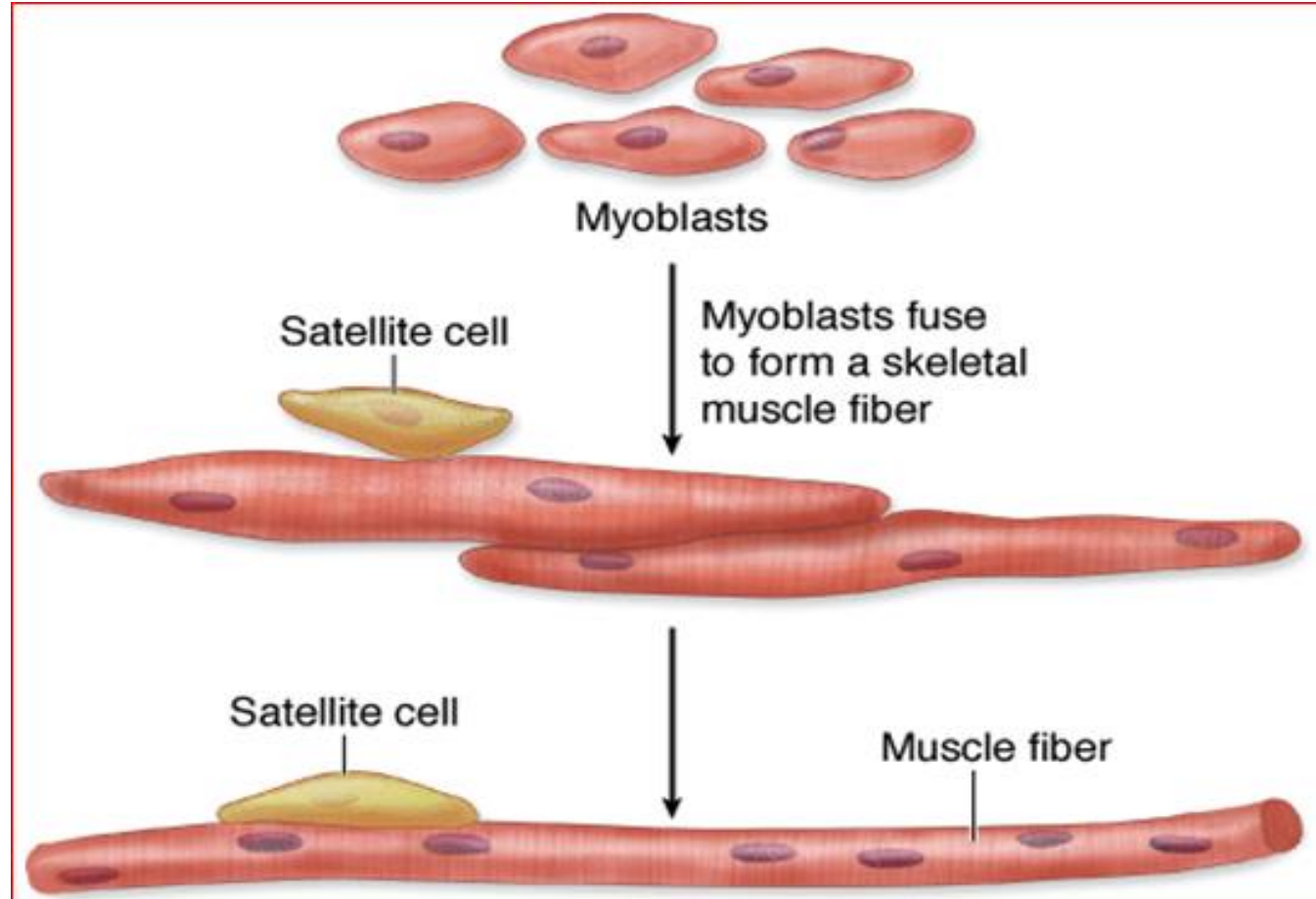
Miyofilament sentezler

Çapraz çizgilenmeler gösterir.

Rezidüel satellit hücreleri kalır

Travma sonrası çoğalır

Kas lifini onarırlar





Liflerin Organizasyonu; Hiyerarşik Düzen

Kas kütlesi

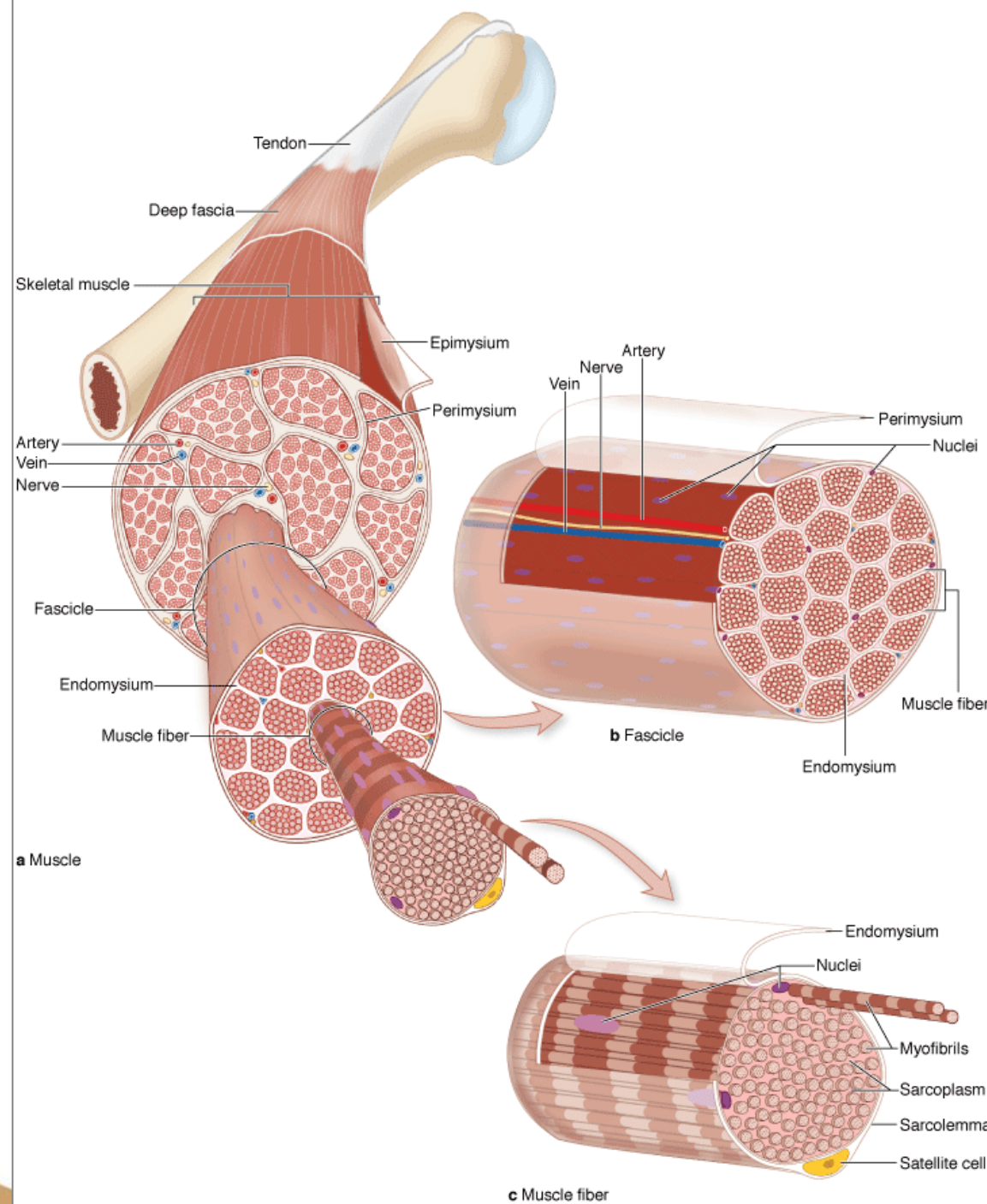
Epimisyum ile kaplı
Tendonla devam eder
Kemiğe bağlanır.

Kas demetleri (Fasiküller)

Perimisyum ile örtülü

Kas lifi

Endomisyum ile kaplıdır.
Endomisyum ile hücre zarı arasında
Bazal lamina
Satellit hücreler bulunur.





Epimisyum, perimisyum ve endomisyum

Kasın ekstrasellüler bağ dokusu

Fasyal sisteme aittirler

Biribirleri ile

Derin fasya ile

Tendonla bağlantılıdır.

Endomisyum

Retiküler lifler ve

Bazal laminadan oluşur.

Hücre beslenmesini düzenler

Kuvvet iletimini sağlar



Damarlar

Kardiyak output'un

İstirahatte %20'si

Egzersizde %80'i kaslara

Küçük arter ve arterioler kan akımını düzenler

Endomisyumda çok sayıda kapiller

Diğer bağ dokusu tabakalarında

Daha büyük kan damarları

Lenf damarları bulunur.



Sinirler

Motor sinirler %60

Ektrafüzal liflere gidenler

Kalın, miyelinli alfa efferent

İntrafüzal liflere gidenler

İnce miyelinli gamma efferent

Damar düz kaslarını innerve edenler

Miyelinsiz otonomik lifler

Duyusal sinirler %40

Kas içciğinin miyelinli lifleri



Kas lifleri

Sarkolemma (Hücre zarı)

Sarkoplazma

Çok az endoplazmik retikulum

Çok az ribozom vardır.

Esas olarak miyofibril ile doludur.



Çapraz Çizgiler

Işık mikroskopunda görülür

Lifin uzunluğu boyunca devam eder

Miyofibrillerin moleküler yapısına bağlıdır

Koyu bantlar

A (Anizotropik) bantlar

Polarize ışıktaki çift kırılır

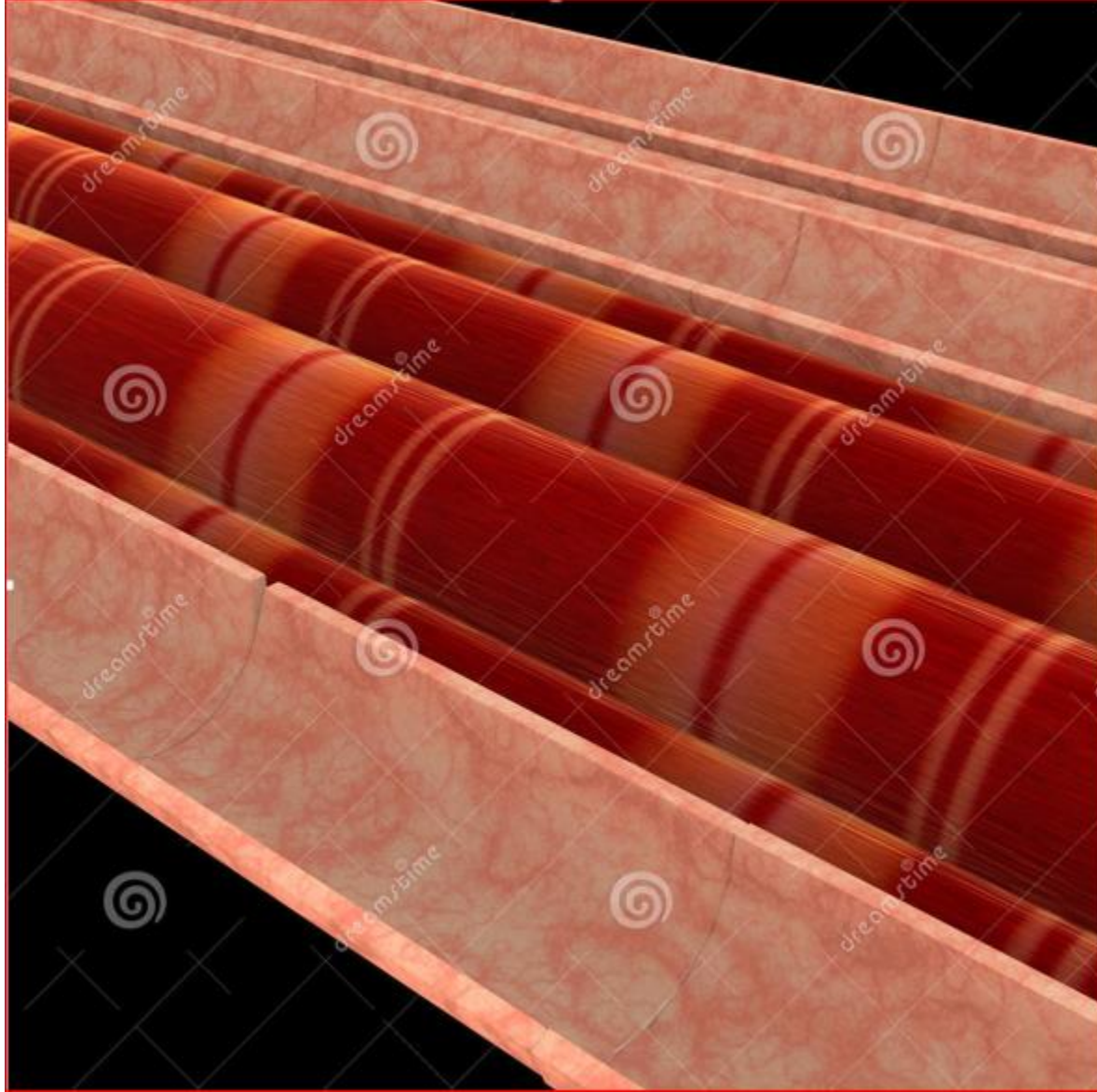
M çizgisi ile ortadan ikiye ayrılır.

Açık bantlar

I (İzotropik) bantlar

Polarize ışıktaki değişmez

Z çizgisi ile ortadan ikiye ayrılır.





Miyofibril

Sarkomerlerden oluşur

Sarkomerler;

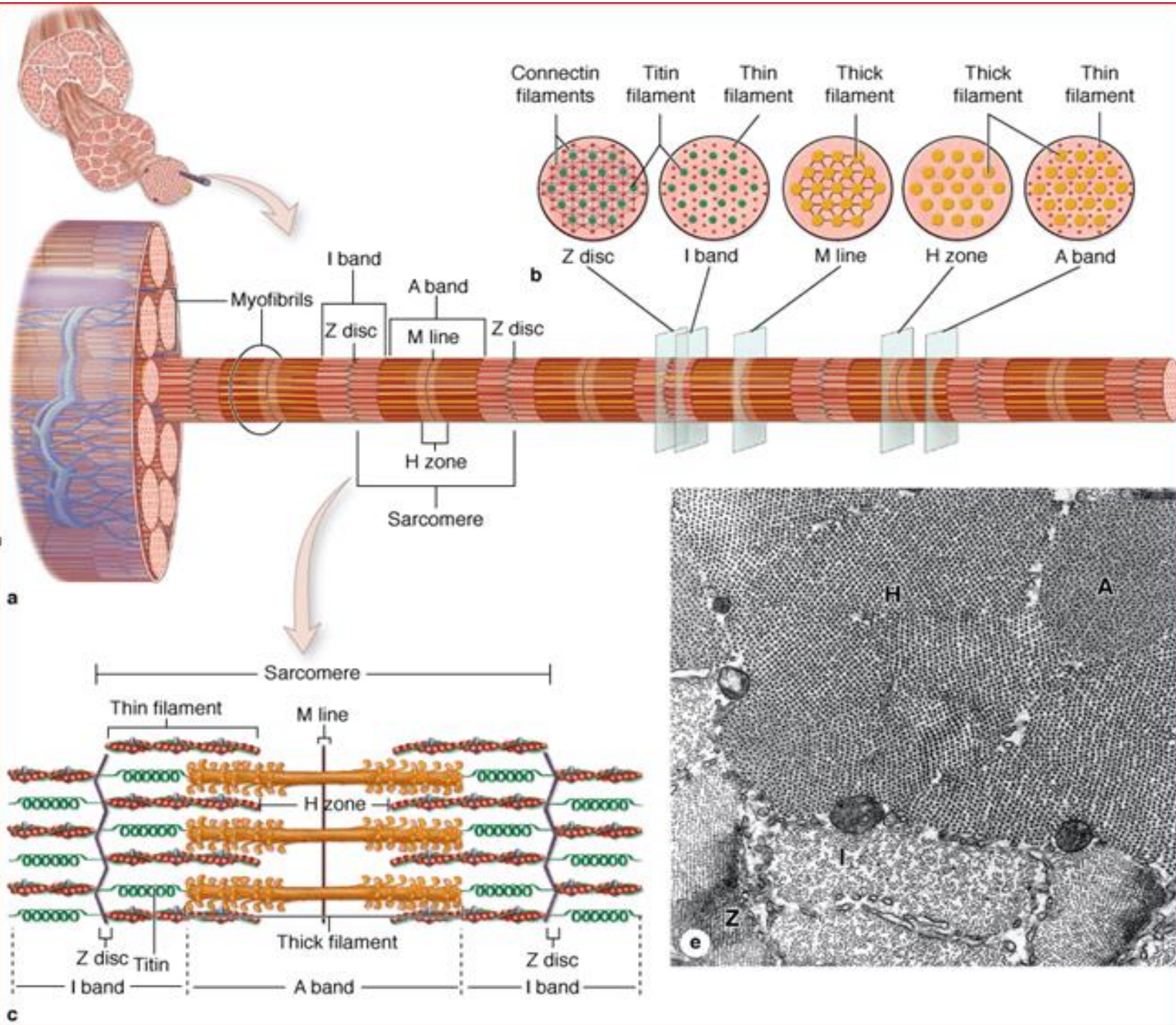
2 Z çizgisi arasında uzanır

Yan yana sıralanmışlardır

Çapları 1-2 μm 'dir

Uzunlukları 2,5 μm 'dir (istirahat halinde)

Çapraz çizgilenmelere neden olurlar.





Her kas lifi binlerce miyofibril içerir (a)

Her miyofibril bir sarkomer zinciridir (b) ve (e)

Sarkomerler

Kalın ve ince filamentler içerirler

Altıgen şeklinde düzenlenmiştir.

1 miyozin demeti

6 aktin filamenti ile temas halindedir

Z diskleri ile birbirlerinden ayrılırlar.

İnce filamentler (c)

Bir uçta Z diske bağlı

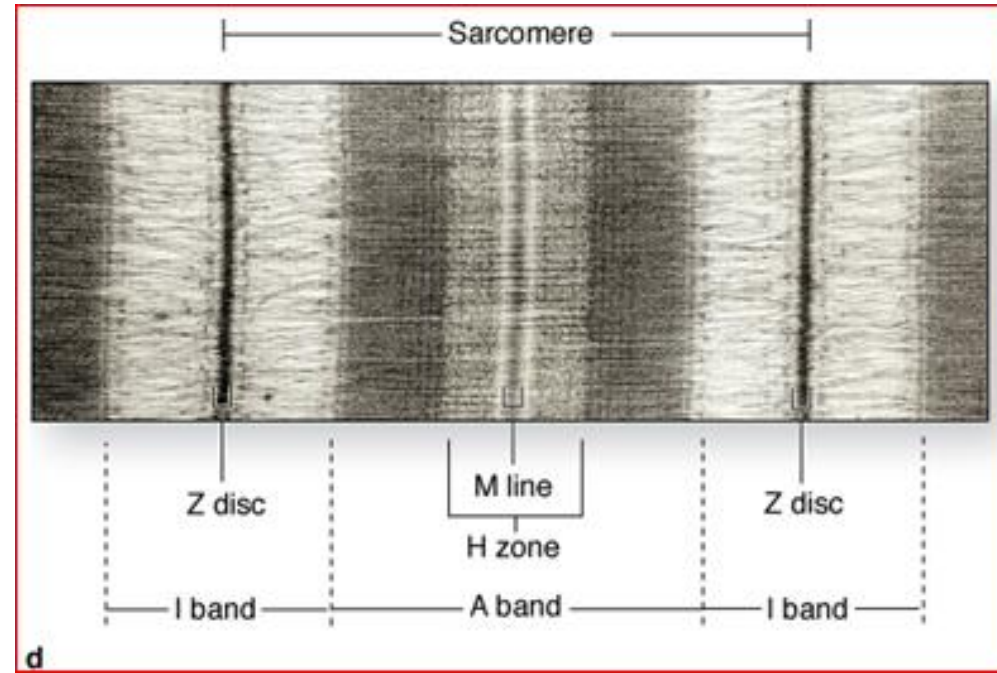
Diğer ucu serbest

Kalın filament

A bandı boyunca uzanır

Bir ucu M hattının proteinlerine bağlı

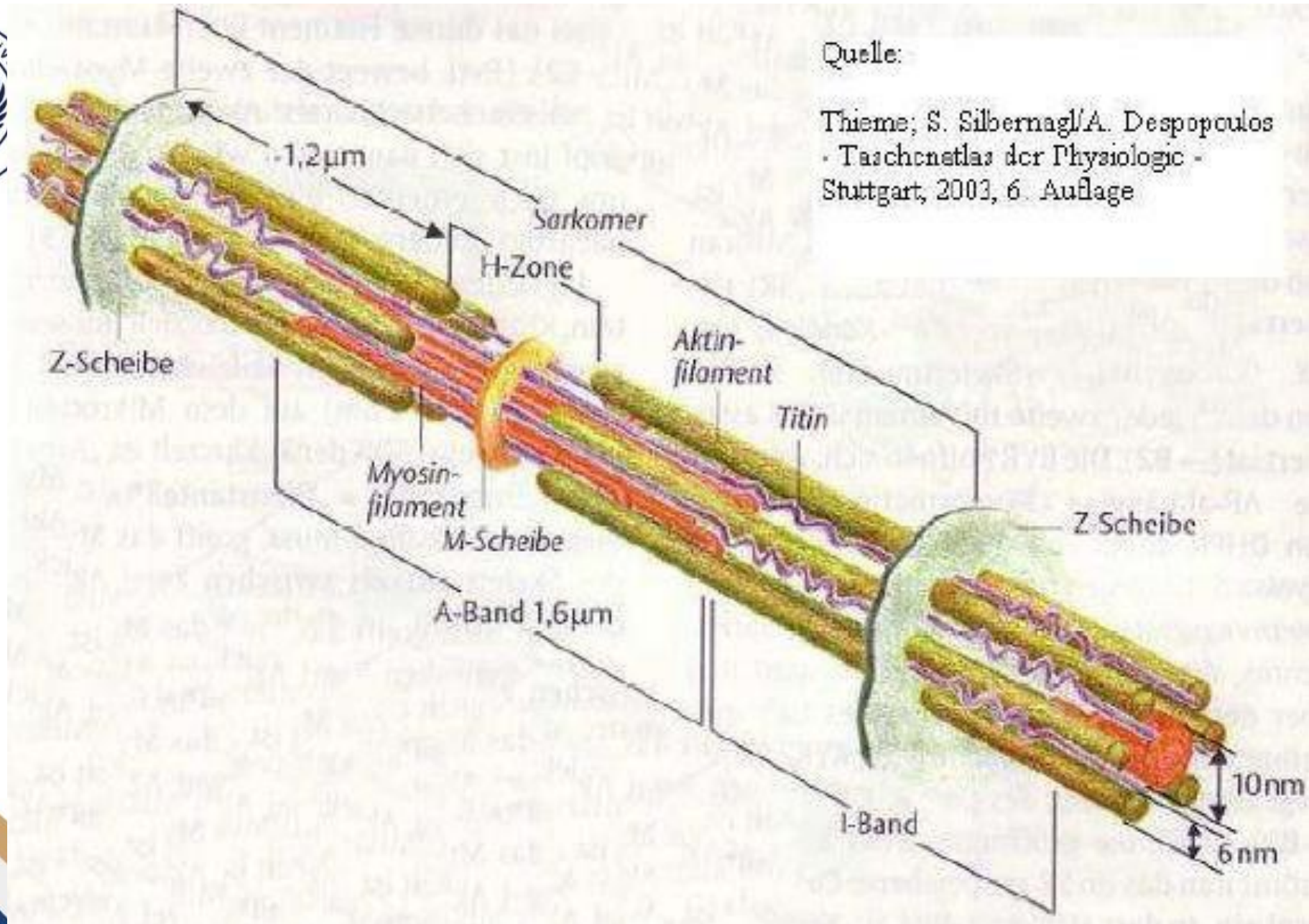
Diğer ucu Z diskine bağlı



Sarkomer (ışık mikroskopunda)

Açık veya koyu bantlar

Protein yoğunluğuna göre



Quelle:

Thieme; S. Silbernagl/A. Despopoulos
- Taschenatlas der Physiologie -
Stuttgart, 2003, 6. Auflage



Miyozin

Kalın filament

A bandında bulunurlar.

Aralarında ince filamentler bulunur

Aktin

İnce filament

Hem I, hem A bandında bulunur

I bandında sadece ince filament bulunur

A bandında kalın filamentle üst üste gelir

Kasılma / gevşeme durumuna göre



I bandı

Kalın filament içermez

İnce filamentin bir kısmını içerir.

Kalın filamentle örtüşmeyen kısım

Uzunluğu kasılma gevşeme durumuna göre değişir.

A bandı

İnce ve Kalın filamentlerden oluşur.

Orta kısmında H zonu bulunur

H zonunda ince filament bulunmaz.

Sadece miyozin molekülü vardır

M (Mitte) çizgisi ile ikiye ayrılır.

Myomesin (miyozini bağlar)

Kreatin kinaz (ADP'yi ATP'ye dönüştürür)



Kontraktıl proteinler

İnce miyofilamentler

F-aktin,
Tropomiyozin ve
Troponin (TnT, TnC, TnI) kompleksi

Kalın miyofilamentler

Miyozin molekülleri

Miyozin başı

Serbesttir

İnce filamente doğru uzanır

Kuyruk

Birbirine sarılı çubuklar şeklinde

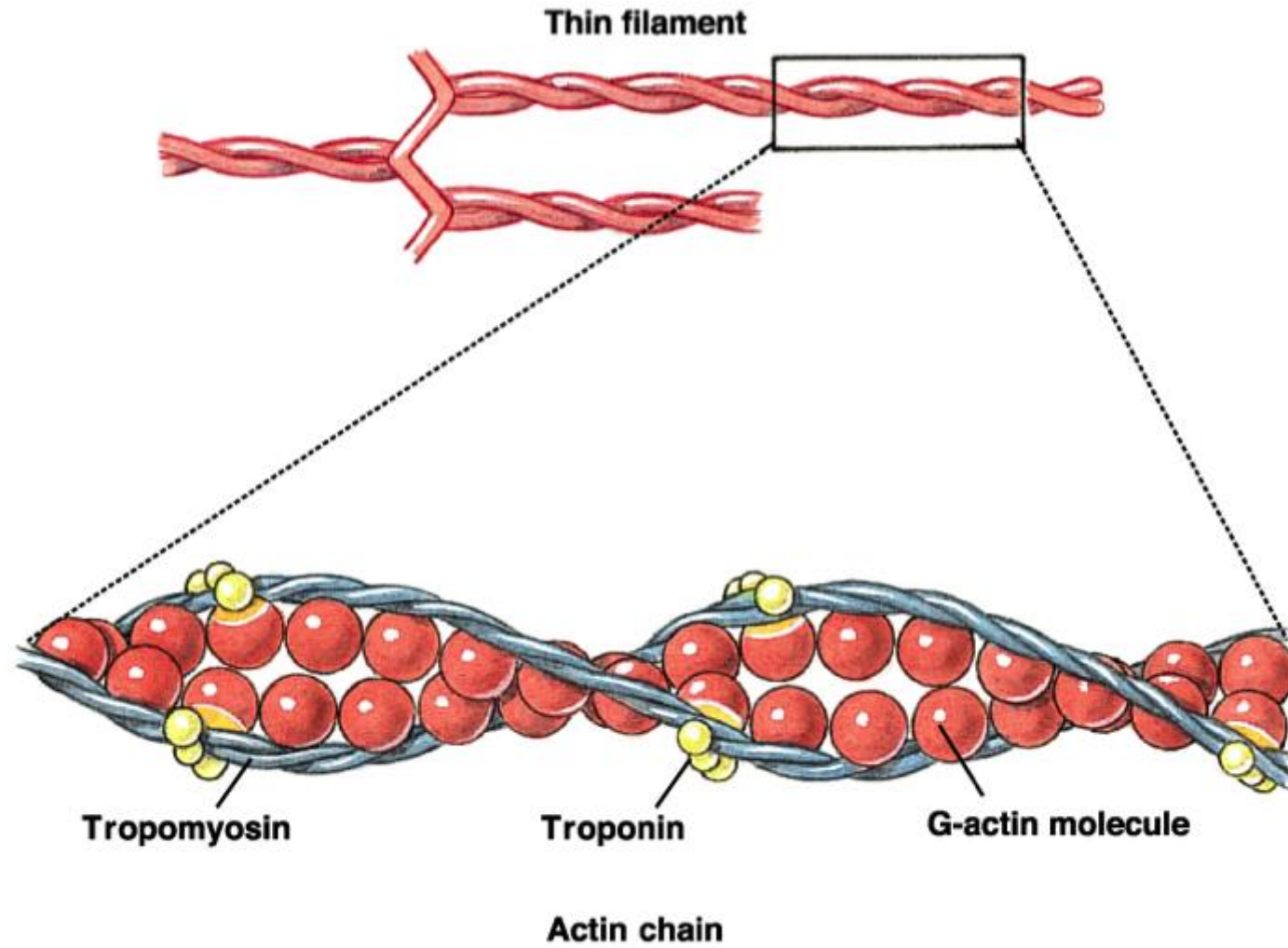


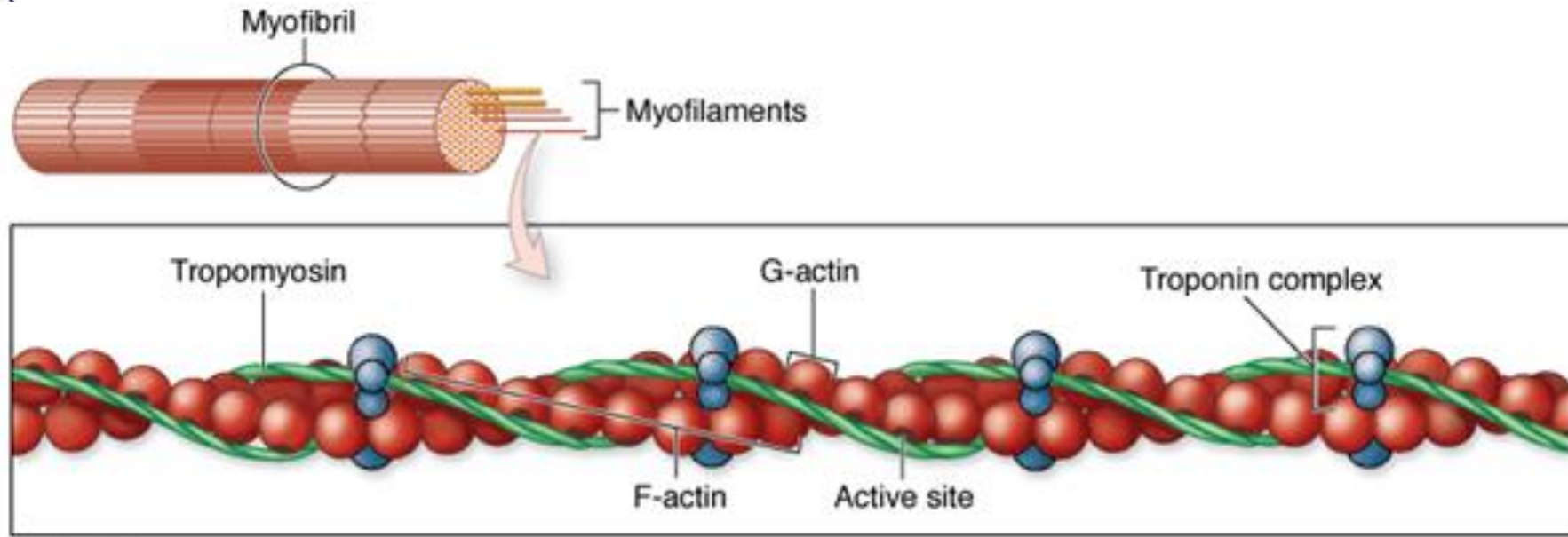
Çapraz köprüler

İnce ve kalın filamentler arasında

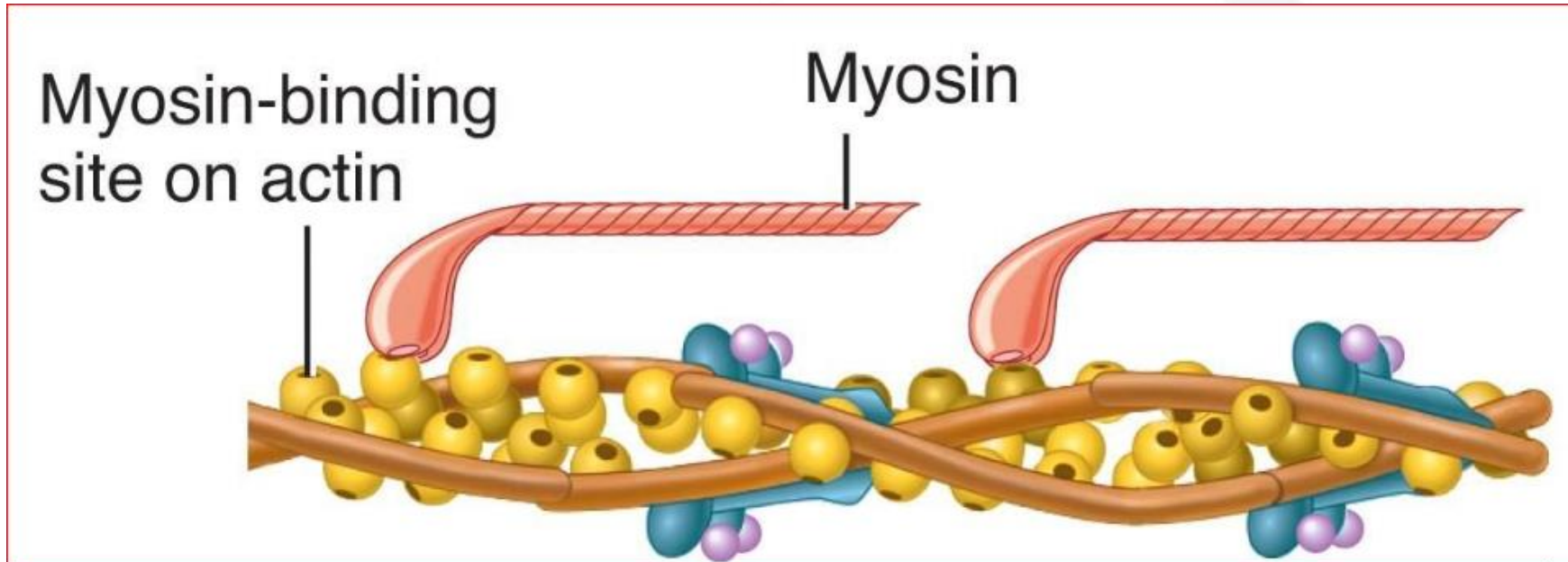
Miyozin başı ve

Kuyruğun bir kısmı tarafından

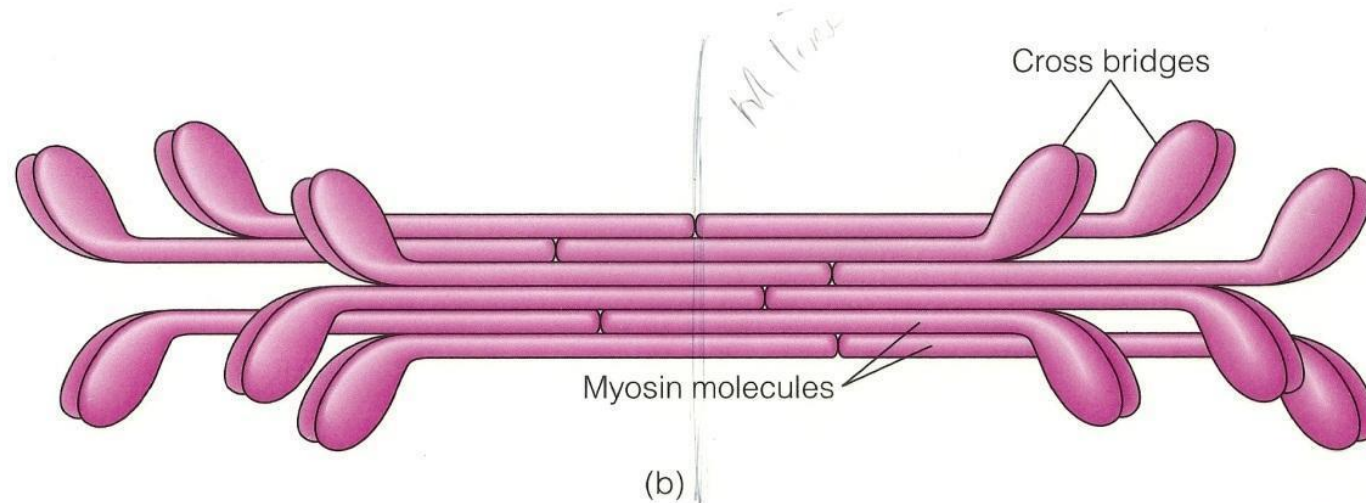
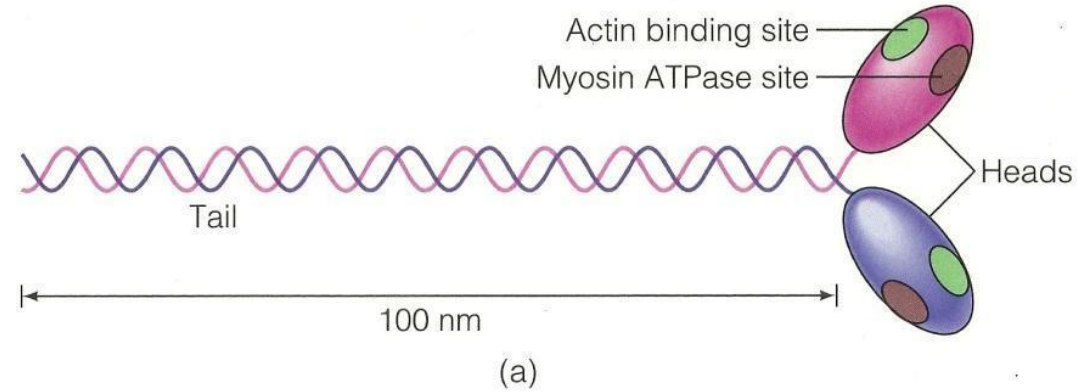




a Thin filament

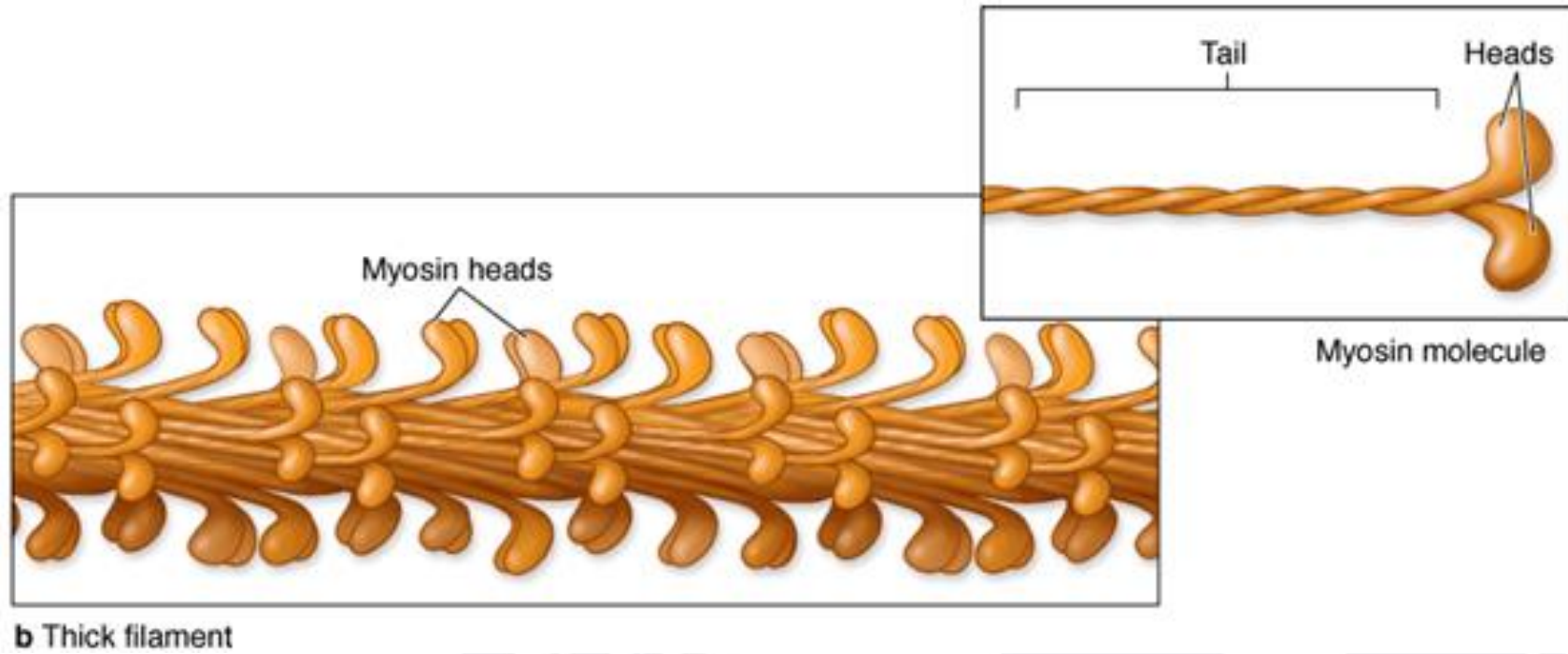


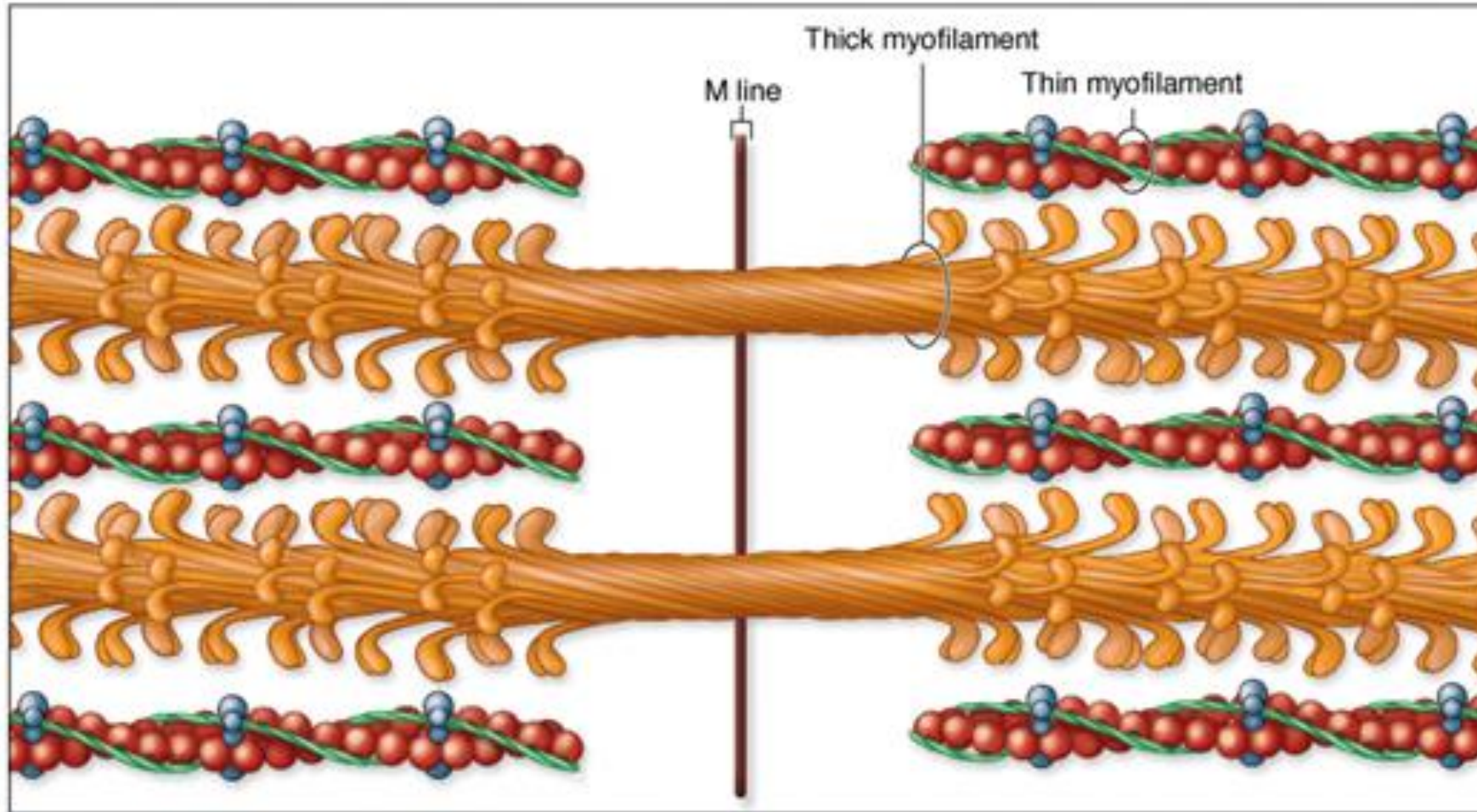
Structure of Myosin Molecules and Their Organization within a Thick Filament



Acetate 62 (Figure 6.4)

© 1995 West Publishing Company





c Comparison of thick and thin filaments



Sarkoplazmik retikulum ve transverse tübül sistemi

Endoplazmik retikulum (SER)

Ca^{2+} sekestrasyonu için özelleşmiştir.

Uyarılması Ca^{2+} iyon salınımına neden olur.

Uyarılma nöromusküler kavşakta başlar.

Hücre boyunca yayılır

Transvers (T) tübüller

Sarkolemmal invaginasyonlar

Sarkomeri çepeçevre sarar

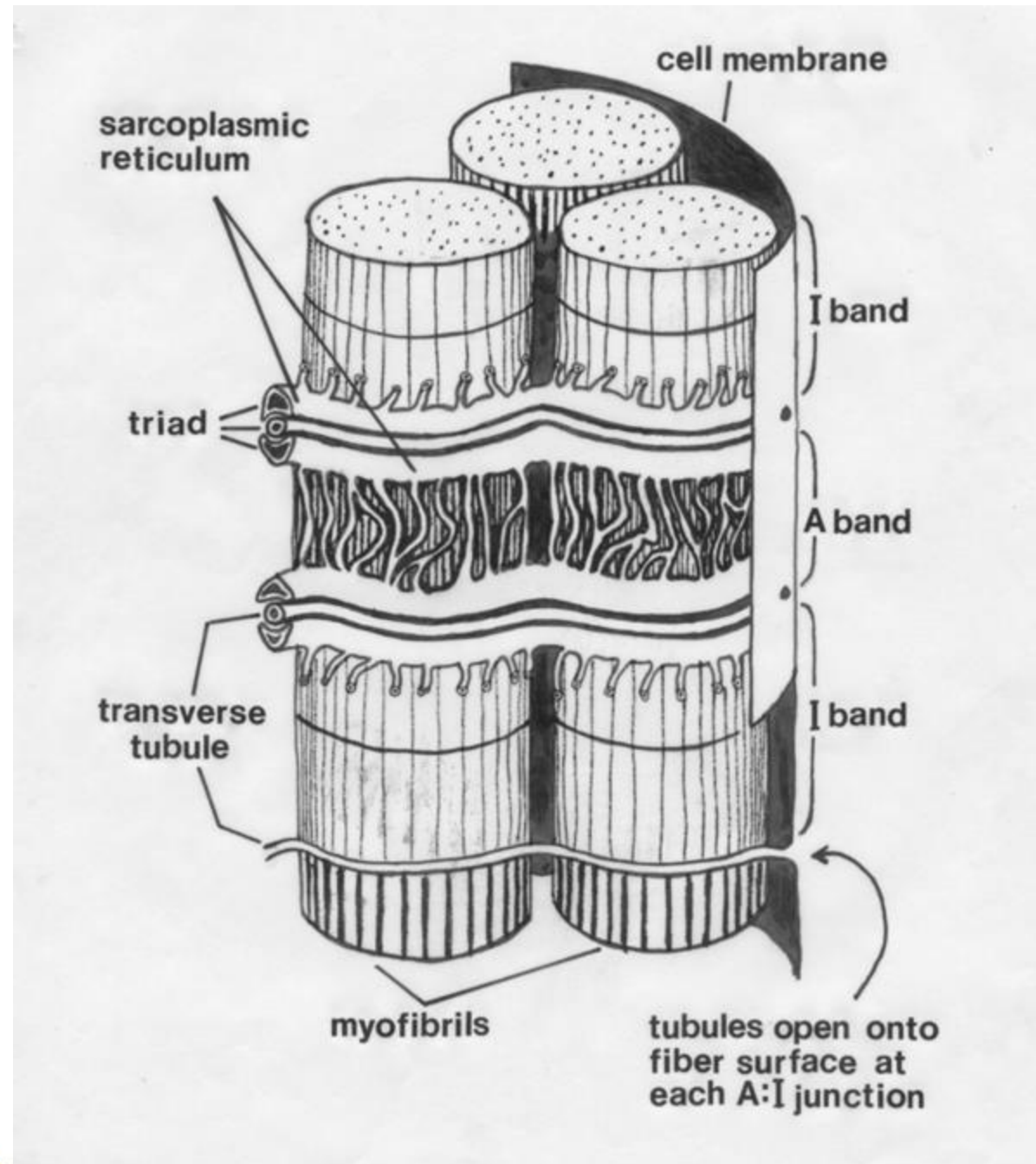
A-I bandı sınırı yakınında

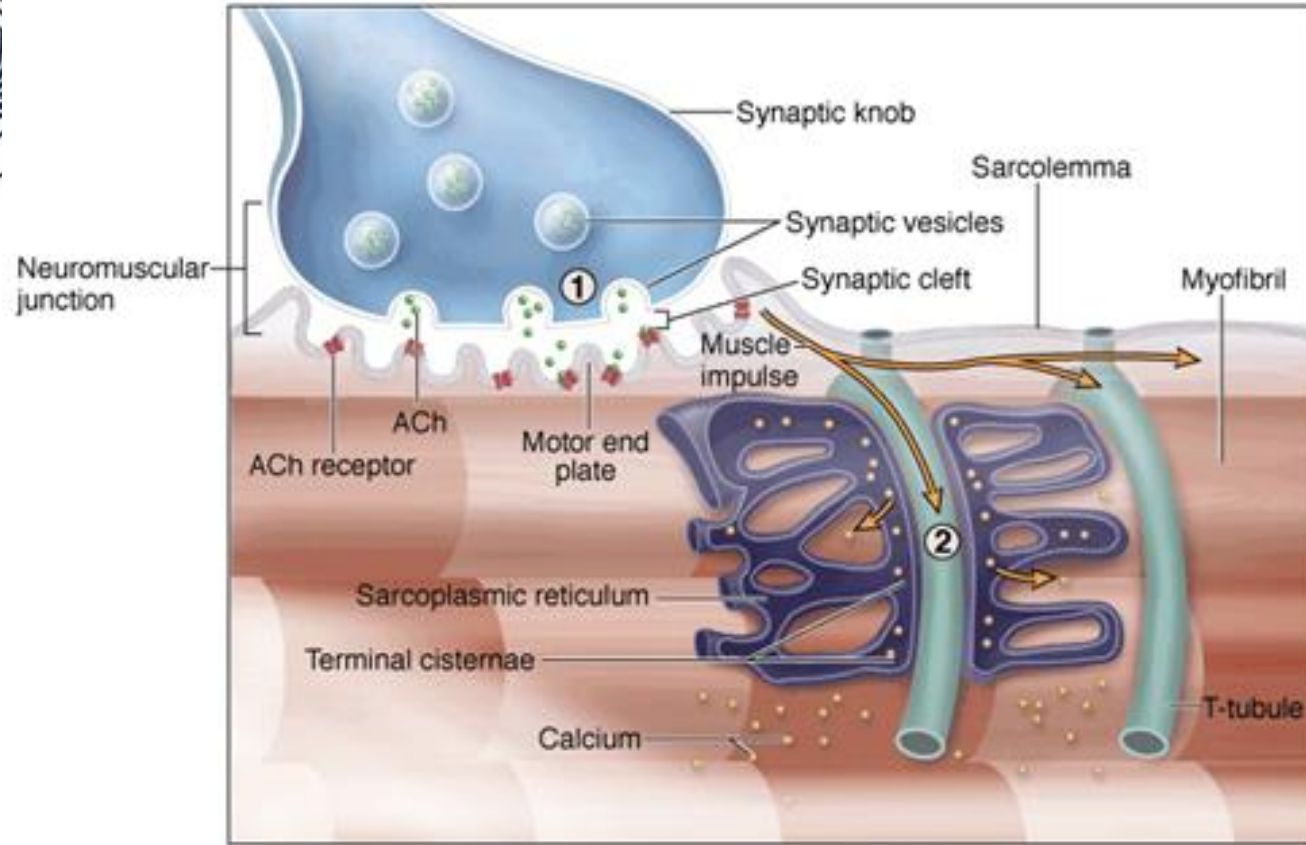
Tüm lifin aynı anda kasılmasını sağlar.

Triad

Ortada T tübül

İki yanda SER'un terminal sisternaları





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

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



Kasılma hızı Ca^{2+} akışına bağlıdır.

Ca^{2+} varsa

Kontraksiyon

Ca^{2+} yoksa

Relaksasyon

Ca^{2+}

SER depolarize olduğunda salınır

Kontraksiyon başlar

Depolarizasyon sona erdiğinde geri alınır

Kontraksiyon sona erer.



Kontraksiyon mekanizması

Huxley'in kayan filament teorisi

Kalın ve ince filamentler bir biri üzerinde kayar

Miyozin aktine bağlanır

Çapraz köprü kurulur

Kuvvet vuruşu (**power strokes**) yapar

Miyozin başı aktini çeker

M çizgisine doğru

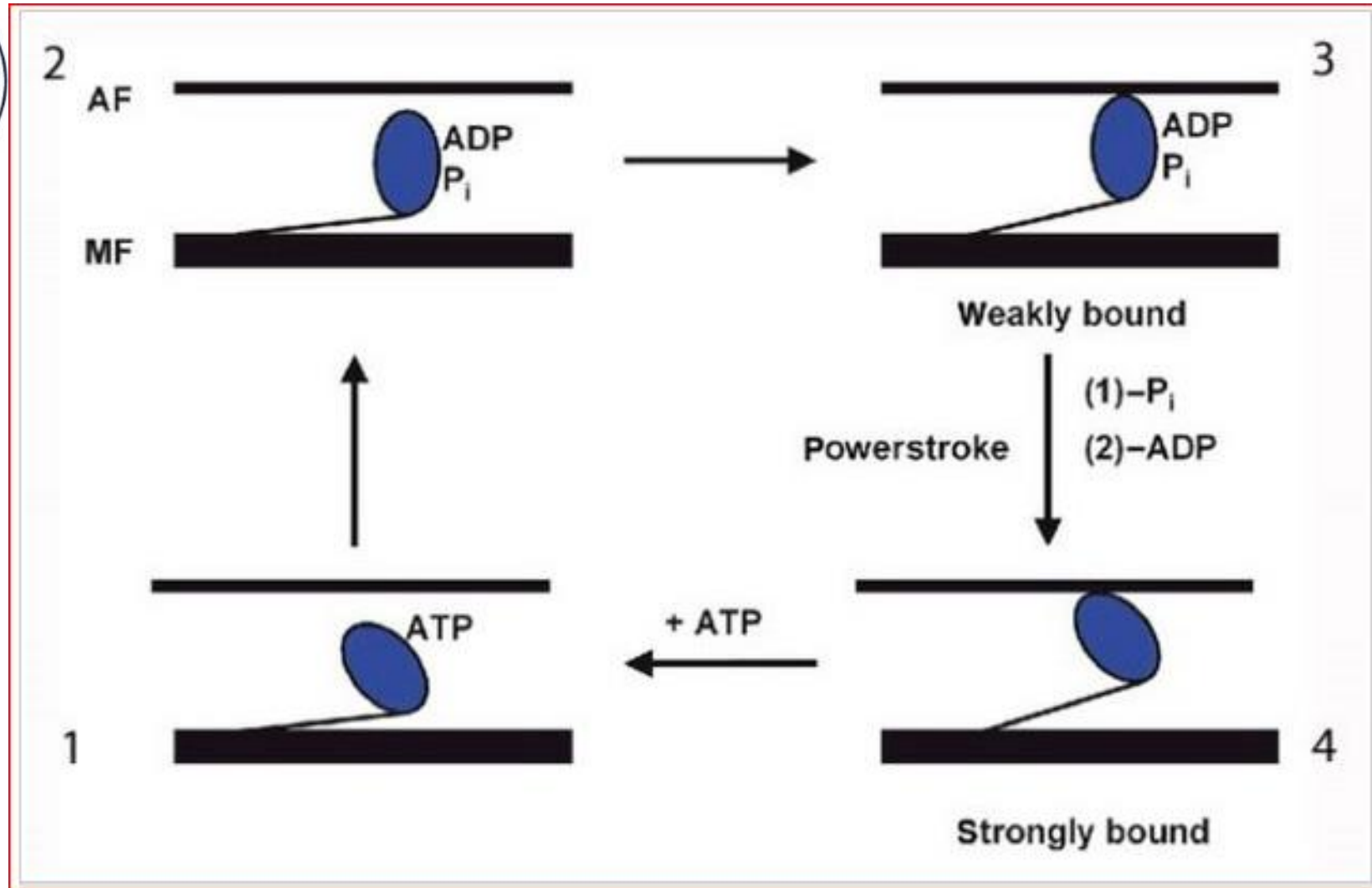
Yaklaşık 10 nm

Filamentlerin örtüşen kısmı artar

I bandı kısalır,

H zonu kısalır,

Sarkomer kısalır





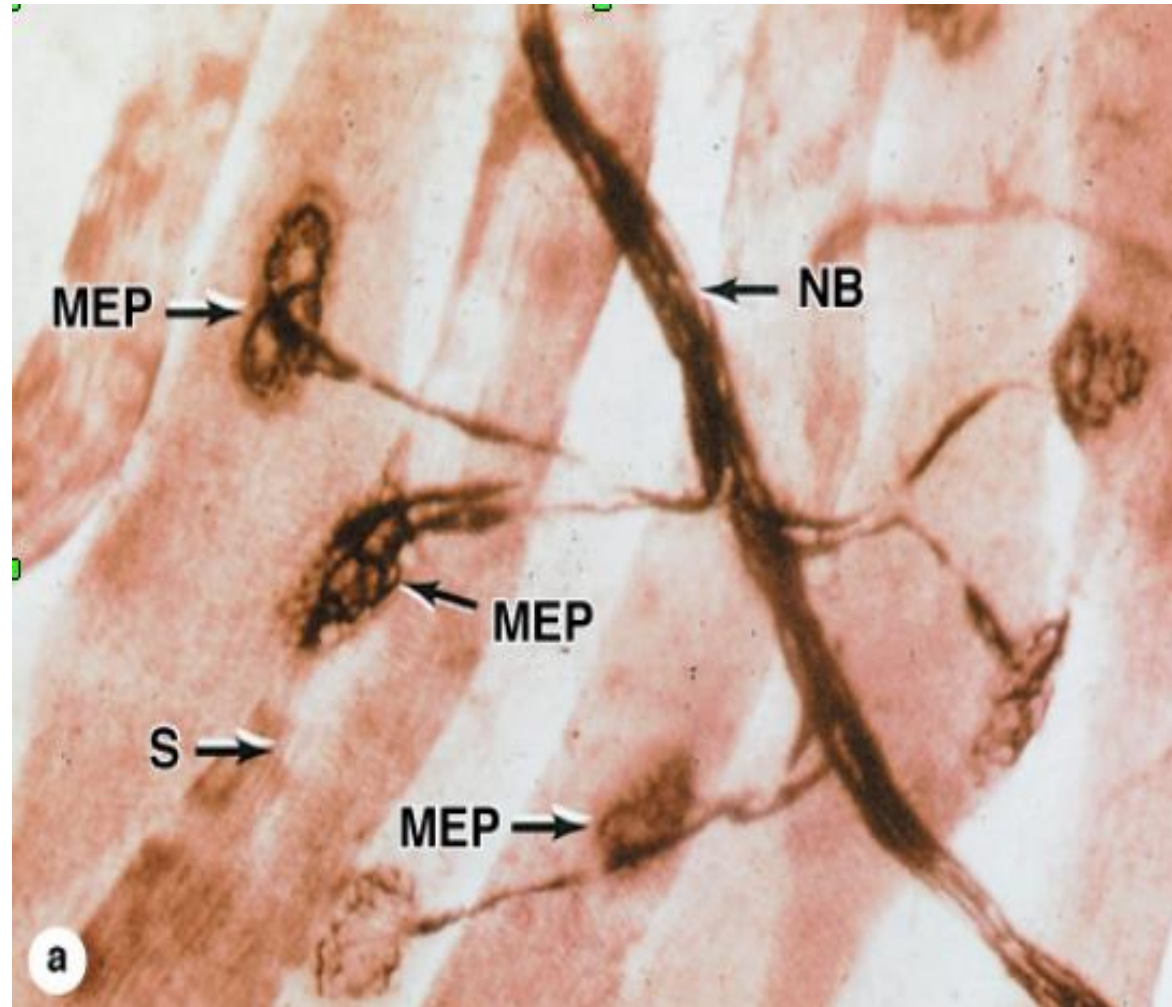
İnnervasyon

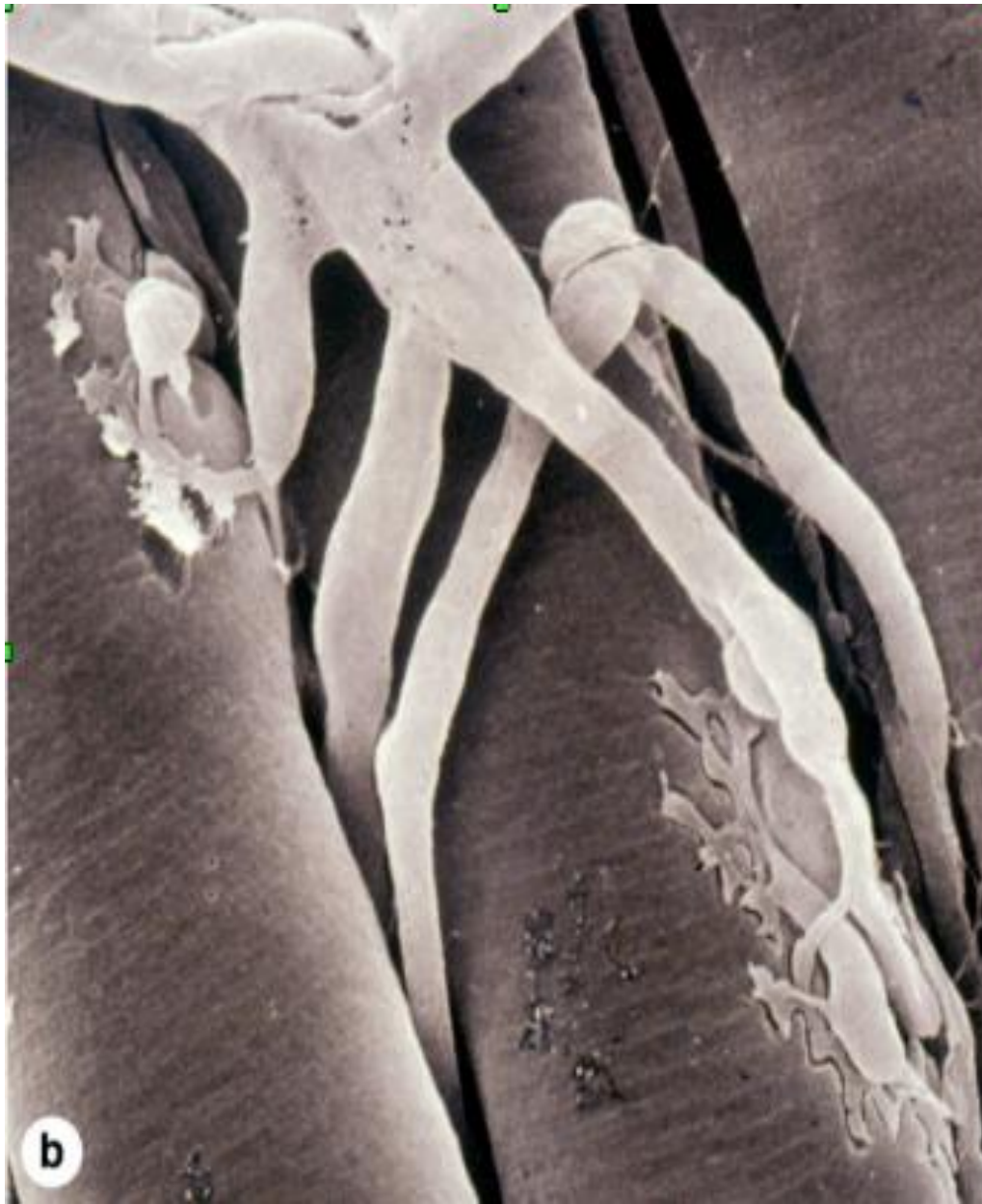
Miyelinli motor sinirler

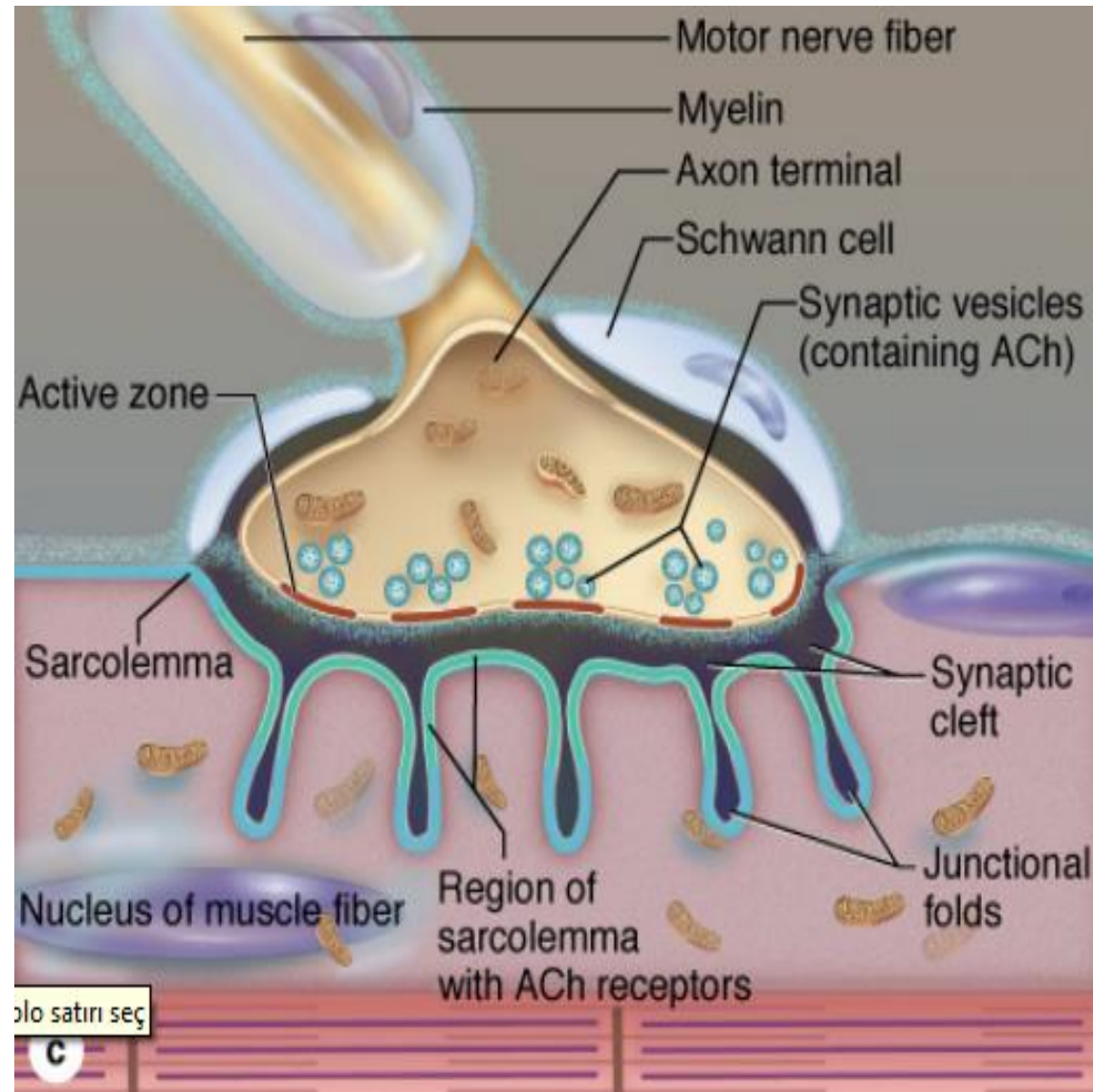
Perimisyum içinde dallara ayrılır,
Her dal ayrıca bir kaç terminal dala ayrılır.
İnnervasyon bölgesinde miyelin yok
Motor son plakta sonlanır

Motor son plak

Akson - Kas arasındaki boşluk (oyuk)
Sinir ucu ampül şeklinde geniş
Sarkolemma kıvrımlı









Tek bir sinir lifi (akson)

Tek bir kas lifini innerve edebilir

Yüzlerce kas lifini innerve edebilir

Dallara ayrılarak

Motor ünite

Bir sinir lifi

Uç dallar

İnnerve ettiği kas lifleri

Hep-hiç yasası

Motor ünitenin kas lifleri

Ya hep birden kasılır

Ya hiç biri kasılmaz



Kasılma gücü

Kasılan motor ünite sayısına ve tipine bağlıdır.

Uyarılan motor ünite sayısı ile ilgili

Beceri (Hassas hareketler)

Motor ünitelerin büyüklüğüne bağlı

Göz kaslarında her life bir akson

Ekstremitelerde yüzlerce life bir akson



Kas iğciği

İskelet kaslarımızın orta kısımlarında
Mekik (iğ) şeklindeki yapılardır.
Fibröz kapsül ve
İntrafüzal kas liflerinden oluşur

3-12 adet

Uç kısımları kasılabilir

Orta kısmı reseptör

Duyusal ve motor sinir lifleri içerir.



Kas iğciği

Kasın uzunluğundaki değişimi algılar

Kasın kasılmasına yardımcı olur.

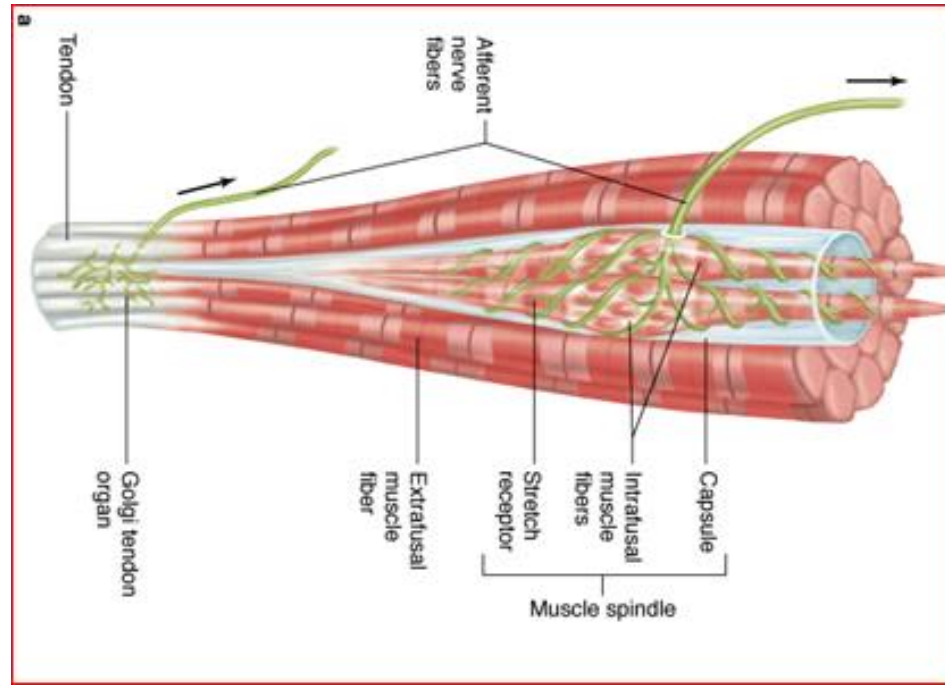
Kasılmadaki gecikmeyi engeller

Beyine pozisyon hakkında bilgi gönderir

Postürü korur

Antagonist kasın gevşemesini sağlar

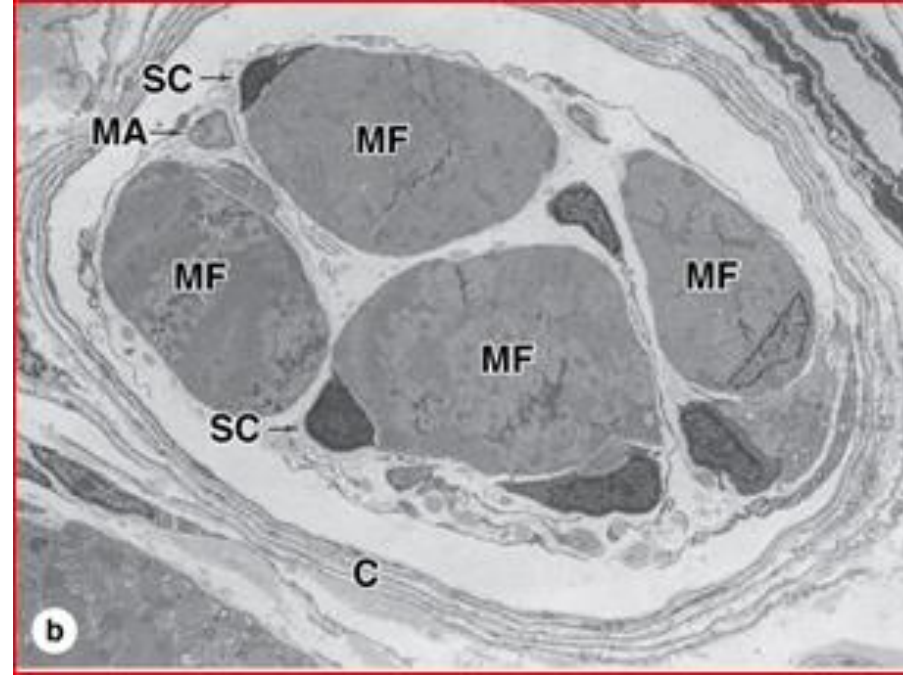
Karşıt kas gruplarının aktivitesini düzenler



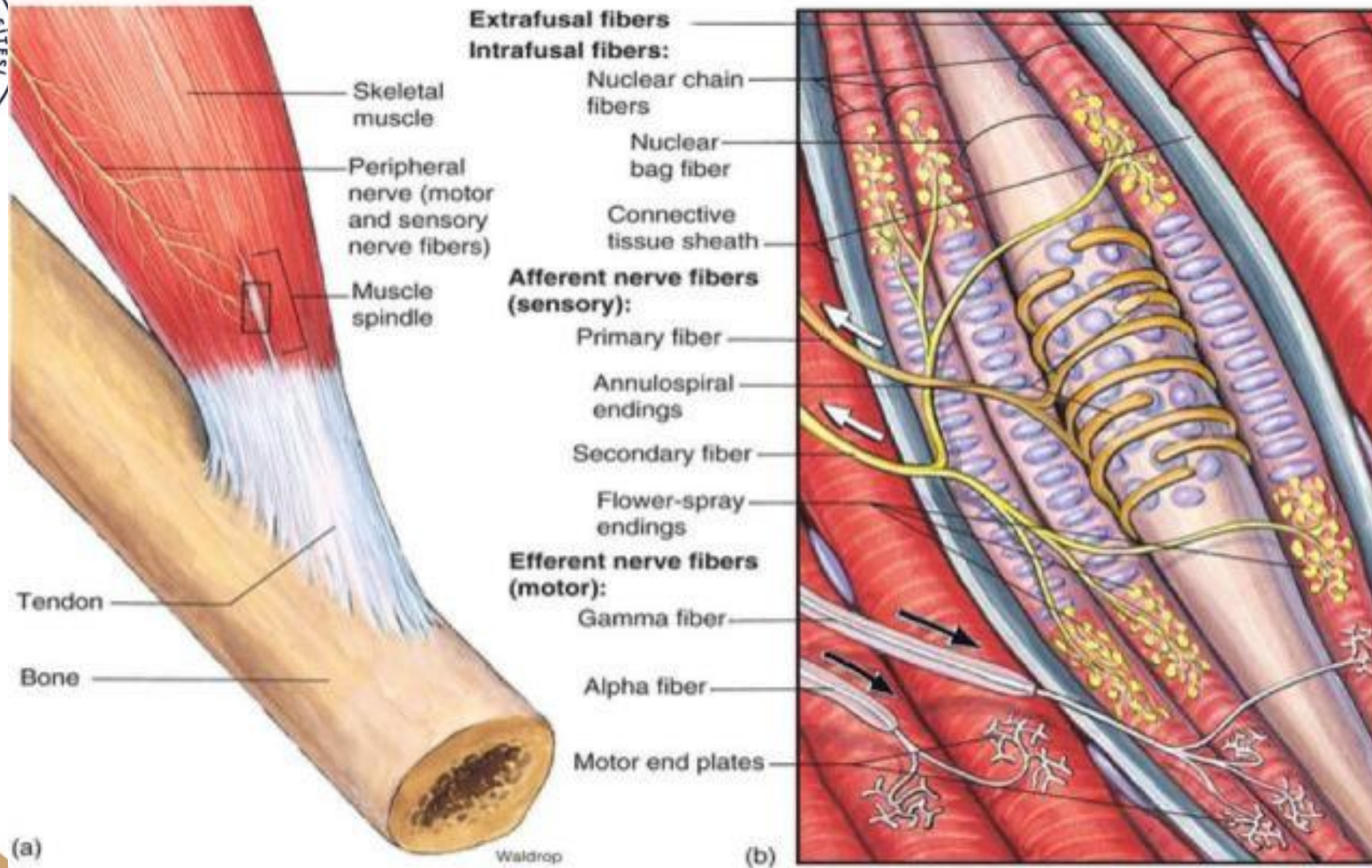
Kas iğciğinde duyu ve motor sinir lifleri bulunur. Duyu lifleri ekstrasfüzal liflerdeki kontraksiyonu algılayarak postürü ve antagonist kas aktivitesini koordine eder.

Tendon organı gerilimin derecesi hakkında bilgi toplar ve bunu santral sinir sistemine iletir.

Tendon organı, kas iğciği ile birlikte çalışır



**Kas iğciğinin sonuna yakın çapraz kesit. (C); kapsül, (MA);
duyusal miyelinli aksonlar (MF); ve intrafüzal kas lifleri.**
İntrafüzal lifler iskelet kas liflerinden farklıdır. Çekirdekleri sıkıca
yan yana dizilmiş (**nükleer zincirli lifler**) veya merkezde
kümelenmiş (**nükleer torbalı lifler**) olabilir.





Tendon organı

Fibröz bir kapsül

Miyotendinöz bölgede

Kollajen bantlarının çevresinde

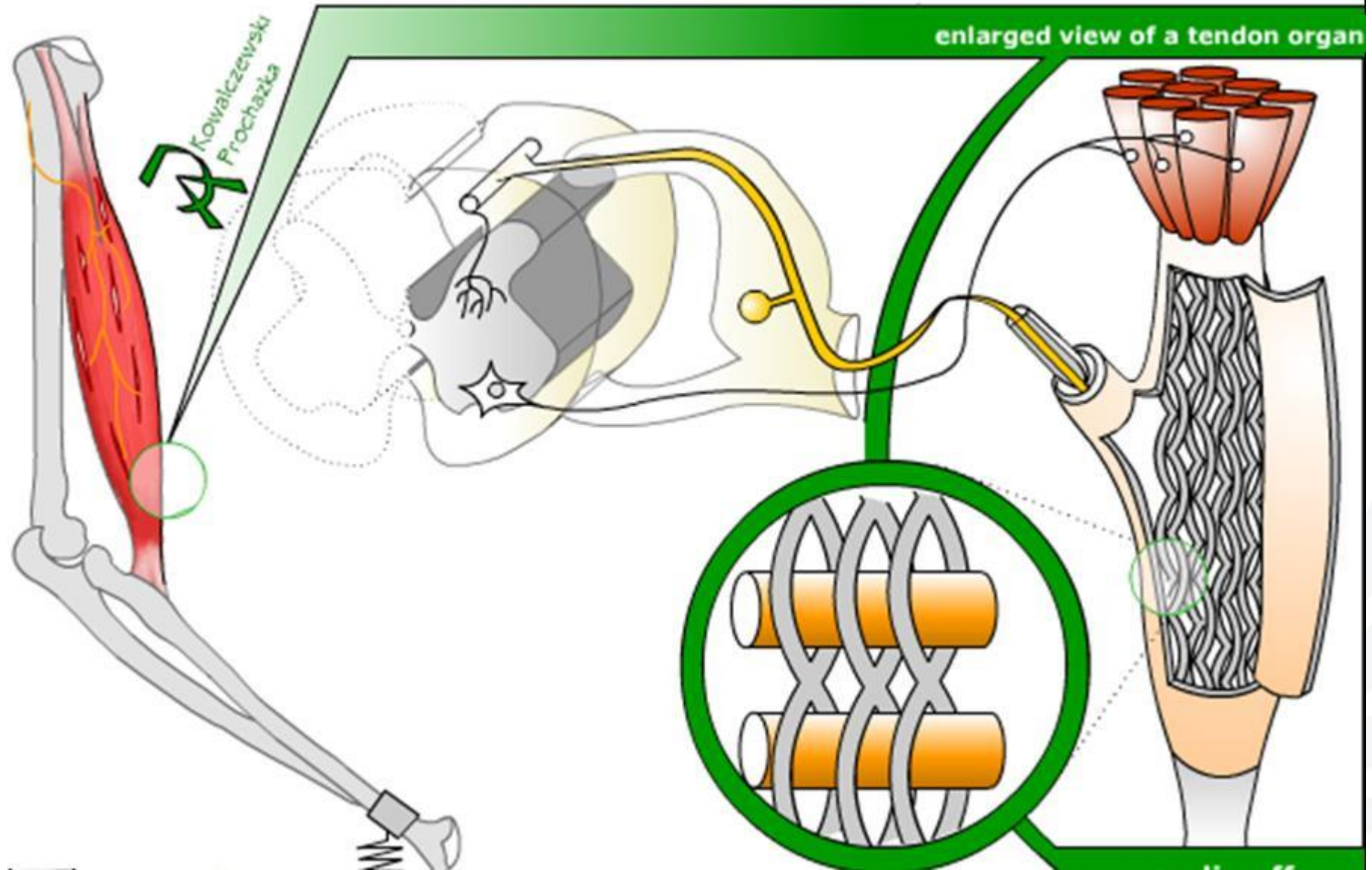
Duyusal sinir lifleri içerir

Tendondaki gerilimi algılar

Motor nöron aktivitesini inhibe eder.

Kas içciği ile birlikte

Gerekli kuvvetin miktarını düzenlerler.





Kas lifi tipleri

Kasılma hızına göre

Tip I (yavaş kasılan, kırmızı)

Tip II (hızlı kasılan, beyaz) lifler.

O₂ kullanma (Aerobik – anaerobik) yeteneğine göre

Tip A : İyi aerobik ve anaerobik özelliklere sahip.

Tip B : Aerobik kapasitesi iyi, anaerobik kapasitesi zayıf.

Tip AB : Aerobik ve anaerobik özellikleri A ve B arasında

Tip C : İnsanlarda oldukça nadir.



Tablo 1: Kas lifi tiplerinin karşılaştırılması

Özellikler	Tipe I	Tipe II A	Tipe II AB	Tipe II B
Boyut (çap)	Küçük	Orta	Büyük	Çok büyük
Yorgunluğa direnç	Yüksek	Oldukça yüksek	Orta	Düşük
Glikojen içeriği	Düşük	Orta	Yüksek	Yüksek
Kasılma hızı	Yavaş	Hızlı	Hızlı	Hızlı
Miyosin ATPaz içeriği	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Ana yakıt deposu	Trigliserid	CrP, glikojen	CrP, glikojen	CrP, glikojen



Tip I (Yavaş, kırmızı, oksidatif) lifler

Miyoglobulin içeriği fazla

Aerobik yolla enerji üretir

Enerji için yağ asitlerini kullanır

Yavaş kasılır, kolay kolay yorulmaz

Daha çok postüral kaslarda bulunur



Tip IIA (Hızlı, ara, oksidatif-glikolitik) lifler

Miyoglobin içeriği iyi

Glikojen içeriği iyi

Hem aerobik, hem de anerobik yolla enerji üretir.

Hızlı kasılır ve kısa aktivite patlamaları gösterir.



Tip IIB (Hızlı, beyaz, glikolitik) lifler

Miyoglobin içeriği az

Glikojen içeriği fazla

Enerji için glikozu kullanır

Hızlı kasılır, çabuk yorulur

Göz ve parmak kaslarında bulunur



		SFR	FFR	FF
Anatomical properties	Fiber Diameter	Small	Intermediate	Large
	Color	Red	Light red	White
	Capillaries	Many	Many	Few
	Myoglobin level	High	High	Low
	Mitochondria	Many	Many	Few
Physical properties	Duration use	Hours	Minutes	< Minute
	Power produce	Low	High	Very high
	Recruitment order	First	Second	Third
	Fatigue sensitivity	Slow	Intermediate	Fast
	Contraction velocity	Slow	Fast	Fast
	Function activity	Posture	Normal movements	Intense movements
Metabolic properties	Myosin ATPase activity	Slow	Fast	Fast
	ATP synthesis	Aerobic	Intermediate	Anaerobic
	Glycogen stores	Low	Intermediate	High
	Oxidative capacity	High	Intermediate	Low
	Glycolytic capacity	Low	Intermediate	High
	Energy storage	Triglycerides	Creatine Phosphate Glycogen	Creatine Phosphate Glycogen

Slow-twitch fatigue-resistant (SFR), Fast-twitch fatigue-resistant (FFR), and Fast-twitch fatigable (FF) fibers differ in term of anatomical, physical, and metabolic properties.



Kaslarda her üç lif tipi de bulunur.

Tip I lif oranı olan kaslar daha dayanıklı

Ekstremitelerde kaslarında nispeten eşit dağılmıştır

Gövde kaslarında ise yavaş kasılan lifler hakimdir.

Yoğun egzersizle

Tip I, Tip II'ye dönüşmez

Tip IIA, Tip IIAB veya IIB'ye dönüşebilir (veya tersi)



Kas dokusunun rejenerasyonu

İskelet kasları rejenerere olabilir.

Kapasitesi sınırlı

(Major travması ve dejenerasyon sonrası).

Satellit hücreleri

Aktive olur,

Çoğalır

Bir birleri ile birleşir (füzyonla)

Yeni iskelet kas lifi oluşturur.

Ana kas lifi ile birleşir (füzyon)

Kas kitlesini artar (hipertrofi)



Solunum Kasları

Volanter ve involanter kontrol altındadır.

Yaşam boyunca ve ritmik olarak kasılırlar

peace maker hücreler içermez

mekanik ve kimyasal uyarıların kontrolü altındadırlar

İstirahat uzunluğu

Hava basıncı ve

İnspiratör kaslar arasındaki ilişkiye bağlı

Postür değişiklikleri

Kaslarının uzunluğunu ve

Kontraktil kuvvetini değiştirebilir.

Ekstremiteler kaslarının çalışması özel bir istirahat uzunluğu ile kısıtlı değildir.



İskelet Kası - 2

Morfolojisi, Fizyolojisi, Biyomekaniği





İskelet kası ve kılıflarının görevi

İskelet kası

Aktif kuvvet üretir

Isı üretimi yan ürün

Eklem hareketini sağlar

Eklemi stabilize eder

Şokları emerek eklemleri korur

Kas içi bağ dokuları

Kas bütünlüğünü sağlar

Pasif uzamaya karşı direnç oluşturur

Kuvveti kemiğe ve eklemin diğer tarafına iletir



Kas lifinin özellikleri

Esneklik (elasticity),

Miyofibrillerin yapısı ile ilgili

Uzayabilme (extensibility),

Miyofibrillerin yapısı ile ilgili

Uyarılabilme (excitability) ve

Sarkolemma'nın depolarizasyonu ile ilgili

Kasılabilme (contractility)

Aktin ve miyozin arasındaki çapraz köprülerle ilgili



Kasılma tipleri

İzometrik kontraksiyon; **Uzunluk sabit**

Kuvvetin miktarı eksternal yükke eşit.

İzotonik kontraksiyon; **Tonus (gerilim) sabit**

Konsantrik

Kuvvet eksternal yükten fazla

Kasın boyu kısalır,

Z çizgileri arasındaki mesafe azalır,

I ve H bantları kaybolur.

Fakat A bandın genişliği değişmez

Eksantrik

Kuvvet eksternal yükten az

Kas istirahat uzunluğuna geri döner.

İzokinetik kontraksiyon; **Hız sabit**

Normal hayatta gözlenmez



Kas koordinasyonu - 1

Agonist (hareketten primer sorumlu) kaslar

Hareketi oluştururlar

Postürü sürdürürler

Konsantrik, izometrik veya eksantrik kasılabilirler.

Antagonist kaslar

Agonist kasların aksi yönde kasılan kaslar.

Agonist kasların hareketine izin verirler.

Pasif olarak uzayarak veya kısalarak



Kas koordinasyonu - 2

Sinerjistik (yardımcı) kaslar:

Agonist kaslarla işbirliği yaparlar.

Stabilizör: Eklem proksimal komponentini stabilize eder

Nötralizör : İstenmeyen hareketleri ekarte eder.

Postural kaslar:

Planlanan postürü sağlayan kaslardır.

(anticipatory postural adjustment -APA)

Ko-kontraksiyon:

Agonist ve antagonist kasların simültane kasılması

Eklemde aproksimasyona neden olur.



Kas - Eklem ilişkisi

Tek eklemlili (uni**artiküler) kaslar**

Tek eklemi geçer ve

Bu eklemi hareket ettirir.

Ör. Brakialis

İki eklemlili (bi**artiküler) kaslar**

İki eklemi geçer

Ör. gastrocnemius)

Çok eklemlili (multi**artiküler) kaslar**

İkiden çok eklemi hareket ettirirler

Ör. Parmakların uzun ekstensörleri ve fleksörleri)

Kas yetmezliği

Aktif veya pasif olabilir

Biartiküler ve multiartiküler kaslarda görülür.



Kas mimarisi - 1

Kas dokusu hiyerarşik dizilim gösterir

Endomisyum kas liflerini örter

Perimisyum lif demetlerini örter

Epimisyum bütün bir kası örter

Tendonla devam ederler.

Derin fasya

En dışta kası örter

İntermusküler septalar yapar

Sinerjistik kasları ayırır

Kas kompartmanları oluşturur.



Kas mimarisi - 2

Kasların makroskopik düzeni

Paralel kaslar

Lifler kuvvet aksına paralel

Pennat kaslar

Lifler kuvvet aksına oblik seyreder

Kas mimarisinin parametreleri

Kas uzunluğu (L_m),

Lif uzunluğu (L_f),

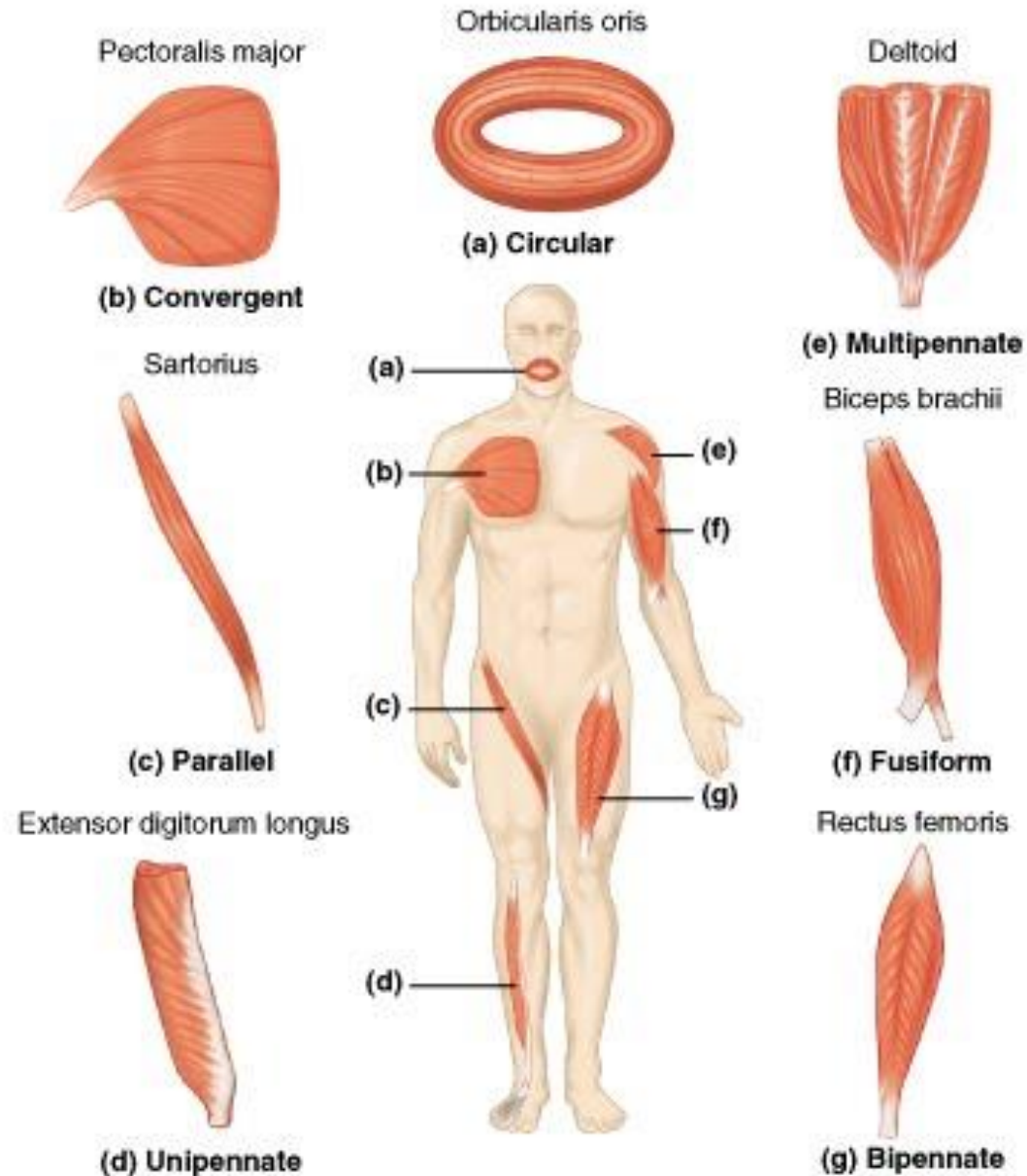
Pennasyon açısı (θ),

Fizyolojik enine kesit alanı.



Muscle Shape and Fiber Arrangement

Fiber arrangement	Advantage	Shape	Characteristics / description	Example
Parallel (fibers arranged parallel to the length of the muscle)	Produces greater range of movement than similar-sized pinnate muscles	Flat	Usually thin and broad, fibrous sheetlike aponeurosis that allow them to spread their forces over a broad area.	Rectus abdominus, external oblique
		Fusiform	Spindle-shaped with central belly that tapers to tendons on each end; can focus their power onto small, bony targets.	Brachialis, brachioradialis
		Strap	More uniform in diameter with essentially all of their fibers arranged in a long parallel manner; can focus their power onto small, bony targets	Sartorius
		Radiate (triangular, fan-shaped, or convergent)	Combined arrangement of flat and fusiform muscles, originate on broad aponeurosis and converge onto a tendon	Pectoralis major, trapezius
		Sphincter (circular)	Technically endless strap muscles, surround openings and function to close them upon contraction	Orbicularis oris, orbicularis oculi
Pennate (shorter fibers, arranged obliquely to their tendons)	Produces greater force than similar-sized parallel muscles due to increase cross-sectional area	Unipennate	Run obliquely from a tendon on one side only	Biceps femoris, extensor digitorum longus, tibialis posterior
		Bipennate	Run obliquely on both sides from a central tendon.	Rectus femoris, flexor hallucis longus
		Multipennate	Several tendons with fibers running diagonally between them	Deltoid





Paralel kaslar:

Hızlı ve aşırı hareketli kaslardır.

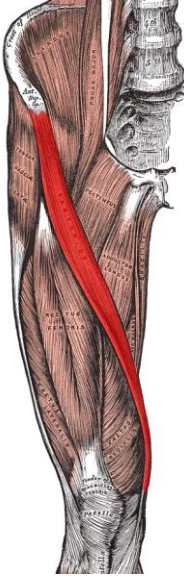
Şerit şeklinde (longitudinal):

İğ şeklinde (füziform):

Yelpaze şeklinde (triangüler):

Dörtgen (quadrate, quadralateral):

Şerit şeklinde (longitudinal):



Lifler kasılma yönünde uzanır

Aponevrozda sonlanır

Bağlanma yüzeyi daha geniş

İstirahat uzunluğunun % 40-60'ı kadar kısalabilir

Fasikül sayısı nispeten azdır

Kuvvetten çok ROM üretir

Ör.sartorius



İğ şeklinde (füziform):

Orta kısmı geniş ve silindirik şekillidir

Uçlarda incelir

Kuvvet küçük bir alanda yoğunlaşır

Fasikül sayısı daha fazla

Kuvvet ve ROM üretimi dengeli

Örn. biceps





Yelpaze şeklinde (triangüler, konverjan):

Bir uçta tendonla birleşir

Diğer uçta yelpaze gibi yayılır

Bağlanma bölgesinde zayıftır

Çekme yönü kasılan liflere göre değişebilir

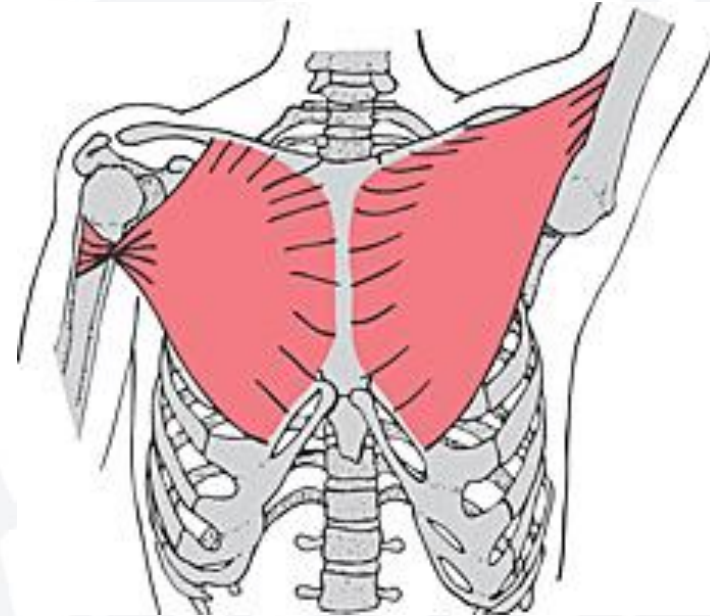
Çok yönlü kaslar

Lifleri farklı şiddetlerde kasılabilir.

Uzunlukları farklı

İnseriyon noktaları farklı

Ör. Pektoralis majör





Dörtgen (quadrate, quadralateral):

Stabilizör kaslar

Ali görevleri uhdesinde kalma üzere

Eklemleri stabilize ederler.

Ör. Romboid

Skapulayı çeker (asli görev)

Omuz kanatlarını gövde üzerinde stabilize eder.





Pennat (tüysü) kaslar:

**Kuş tüyüne benzerler
Tendona oblik bağlanır.**

Tendon kas içindedir (santral tendon)

Liflerle tendon arasında pennasyon açısı vardır.

Kas lifleri daha kısadır

Kas içinde daha fazla lif vardır

Paralel kaslara göre

Daha fazla kuvvet doğururlar

Daha az harekete neden olurlar



Unipennat:

Kuvvet üretim aksına bir açıyla yerleşmişlerdir
Liflerin hepsi santral tendonun bir tarafındır.

Ör. lateral gastrocnemius, ekst. digitorum longus

Bipennat:

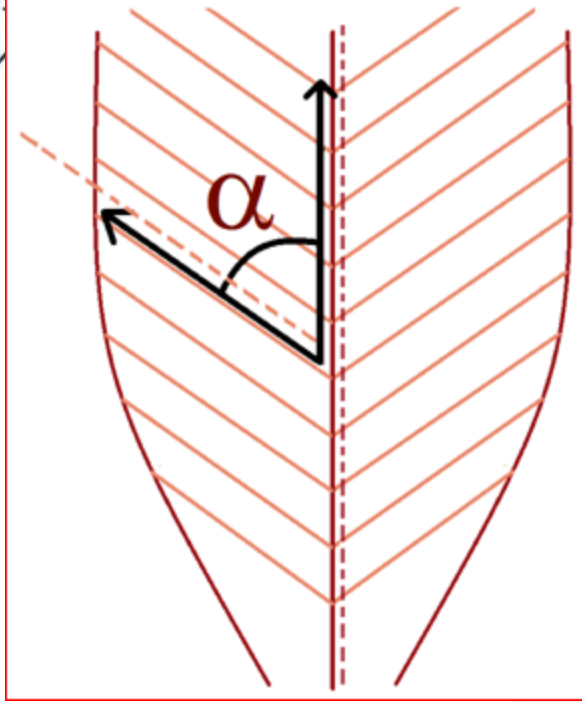
Lifler santral tendonun iki tarafındır.
Pennat özelliktedir

Ör. rektus femoris, flex. hallucis longus

Multipennate:

Liflerin pennasyon açısı farklı

Ör. orta deltoid, gluteus medius.



Pennasyon açısı:

Kas liflerinin tendona bağlanma açısı

Pennasyon açısı arttıkça

Sabit bir volümdeki lif sayısı

Dolayısı ile maksimum gerilim artar.

Kas lifleri kasıldığında

Pennasyon açısı da artar.



Anatomik Kesit Yüzeyi (ACSA, CSA)

Tendon eksenine dik kesit

Transvers kesit yüzeyi

Kasın en kalın yerinde

Fizyolojik kesit yüzeyi (PCSA)

Lif eksenine dik kesit

Oblik kesit yüzeyi

Paralel liflere dik

Pennat kaslarda PCSA

ACSA'dan daima daha fazladır

Pennasyon açısı ile artar

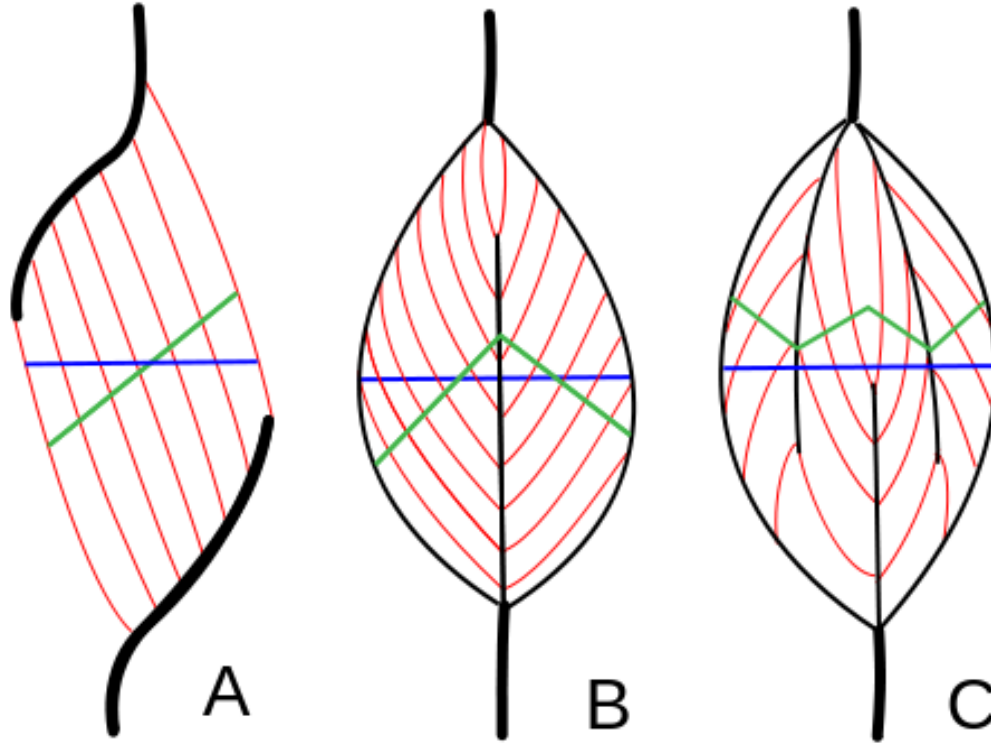
Kasın uzunluğu ile artar

Daha güçlü kasılmaya neden olur

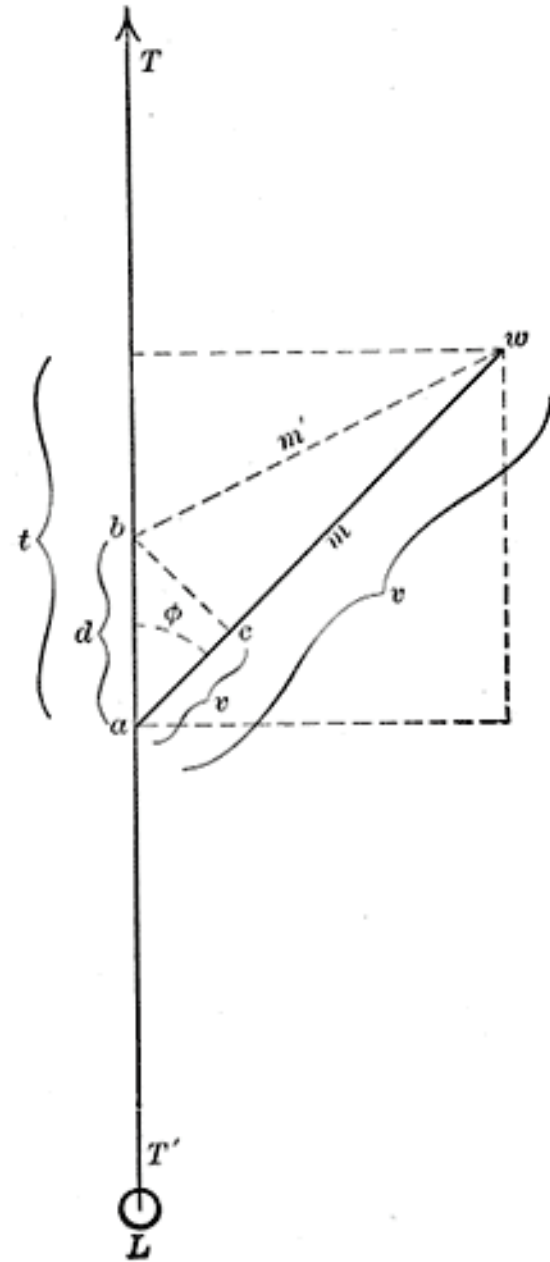
Daha yavaş kasılmaya neden olur

Paralel kaslarda PCSA

ACSA'ya eşittir.



Pennat kas lifleri: A Unipennat, B Bipennat, C Multipennat
Mavi çizgiler; anatomik kesit, Yeşil çizgiler ; fizyolojik kesit



TT' : Tendon

m' (bw) :Kısalılmış lifi

b (ac) : Lifteki kısalmanın miktarı

d (ab) :Tendondaki hareketin miktarı

θ : Pennasyon açısı (enstantane açı)

Cos θ daima 1'den küçüktür.

ac daima ab'den kısadır

Kasin kısalması $1/\cos\theta$ faktörü ile amplifiye edilir



Mimari – Anatomik – Dişli Oranı (AGR) (Architectural – Anatomical – Gear ratio)

Kas geriliminin lif gerilimine oranı veya
Kas kasılma hızının lif kasılma hızına oranı.

Pennasyon açısının kosinüsü kadar

Daima 1'den küçük.

$\cos 0^\circ = 1$ (ARG düşük)

$\cos 90^\circ = 0$ (ARG yüksek)

Torku (kuvveti) ve/veya hızı etkiler

Kas kuvveti = $\cos \theta$ x lif kuvveti

Kas kasılma hızı = $\cos \theta$ x lif kasılma hızı

Açı arttıkça kuvvet azalır

Pennasyon açısının değişmesi

Vites değişikliğine nede olur

Başlangıçta yüksek dişli oranı

Hızı ve kuvveti amplifiye eder



Sirküler (dairesel) kaslar :

**Fasiküller konsantrik daire oluşturur.
Orjini ve insertiyosu aynıdır.
Geçiş bölgelerinde sfinkter oluştururlar.**



Miyografi

Hep – Hiç Yasası

Tek bir motor nöron

Tüm bir motor ünite

Ya aynı şiddette kasılır

Veya kasılmaz

Miyogram (Gerilim – Zaman grafiği)

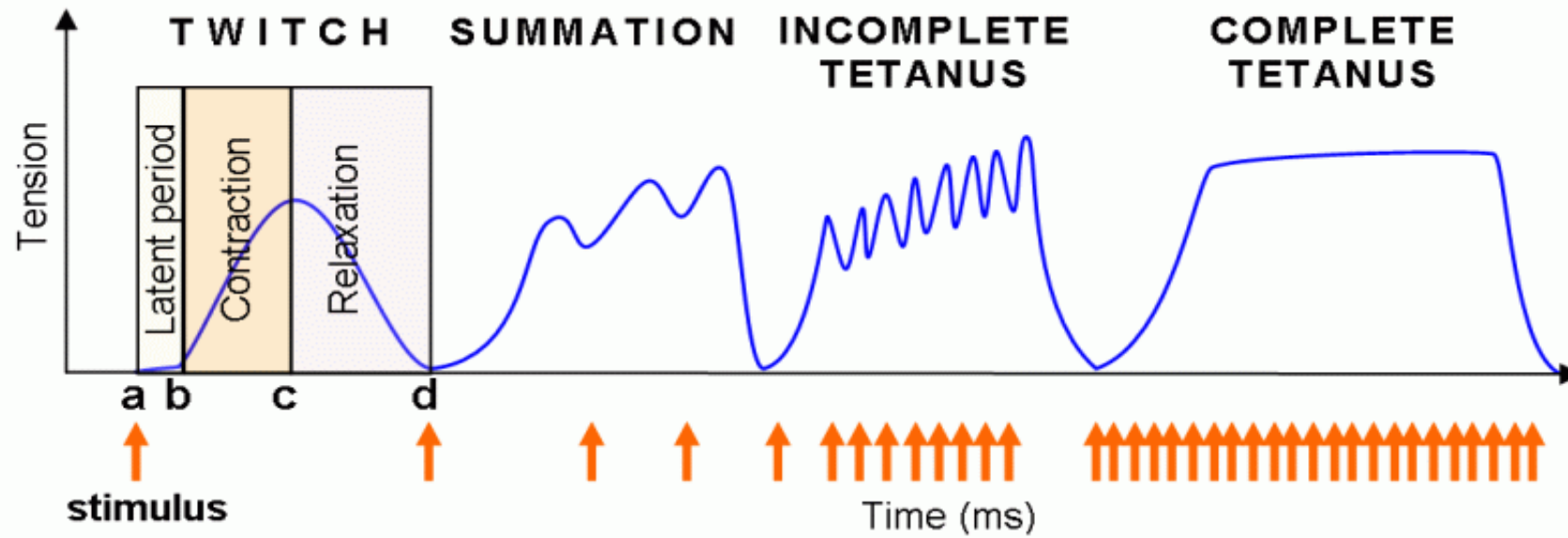
Kasılan motor ünitenin kaydı

Üç komponente ayrılır

Latent periyot

Kontraksiyon periyodu

Relaksasyon periyodu



Miyogram



Latent periyot (Elektromekanik gecikme - EMD):

Uyarının başlaması ile

Fark edilebilir kasılma arasındaki gecikme

Ca²⁺un salınması için geçen zamana ve

Fibroelastik yapıların gerilmesi için geçen zamana bağlı

Kaslar arasında önemli ölçüde değişir.

Hızlı kasılan liflerde daha kısa

Kas yaralanması EMD'i artırır

Kası yaralanmaya yatkın hale getirir.

Nöromusküler eğitimin (reeducatin) hedeflerinden biri

Bozulmuş EMD'yi normal seviyesine getirmek



Refrakter periyot:

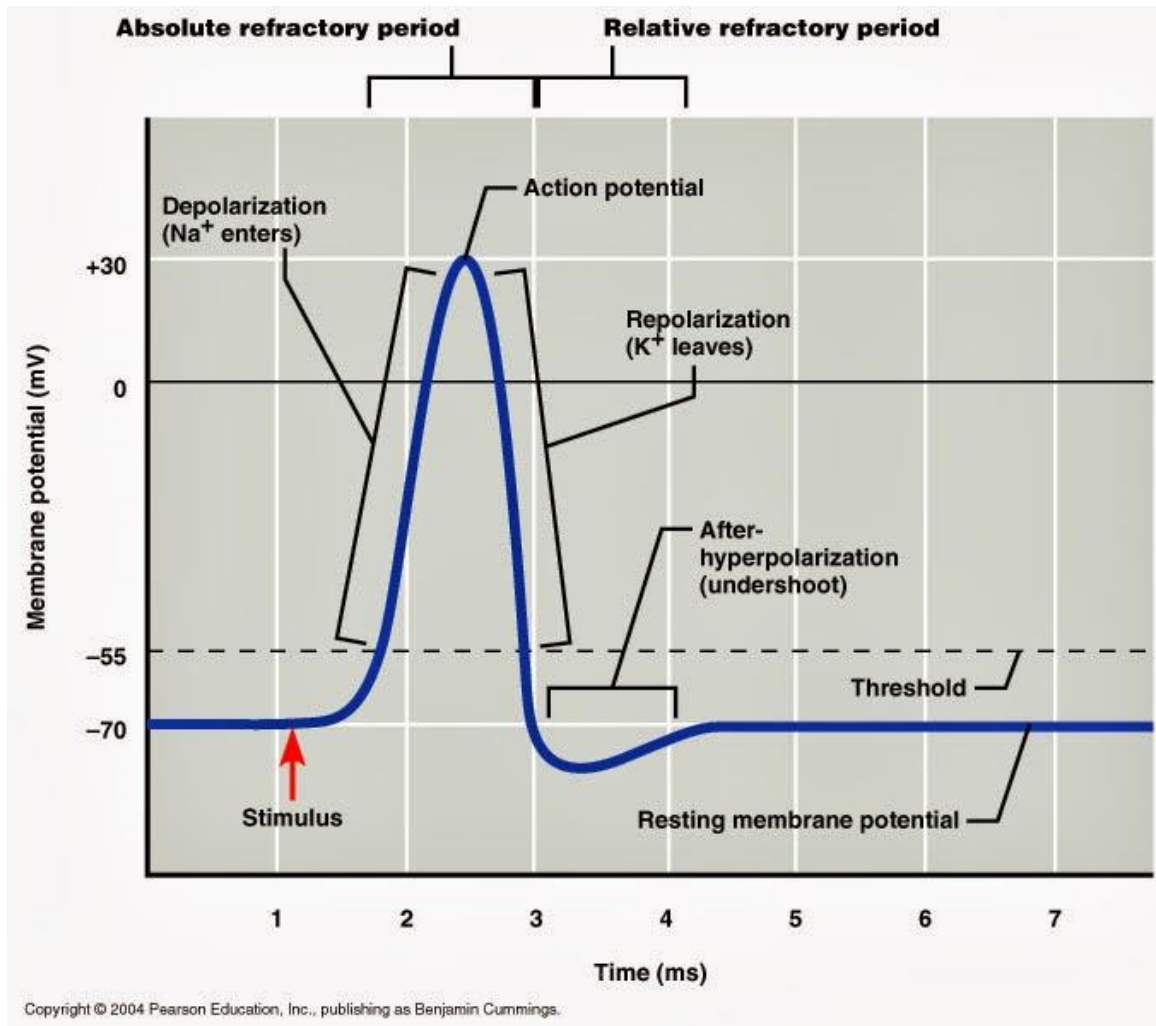
Uyarılabilir hücrelerin

Uyarılamadığı kısa dönem.

Na^+ kapıları açık veya inaktif

İskelet kasında 5ms

Kalp kasında 300 msn.





Kontraksiyon periyodu:

Sarkomer kısalır

Kuvvet artar

Relaksasyon periyodu:

Stimulusun kesilir

Membran potansiyeli sıfırlanır

Ca² sarkoplazmadan ayrılır

Kuvvet azalır.



Temporal sumasyon (zamansal birikim):

Arka arkaya gelen uyarılarla yanıt artar

Spatial sumasyon (mekansal birikim):

Aynı anda gelen uyarılarla yanıt artar



İnkomple Tetanus (Merdiven, Treppe):

Kontraksiyon gücü merdiven basamağı şeklinde artar

Temporal sumasyonun uyarılmasına bağlıdır

Uyarı kalsiyumun sekestrasyonuna izin vermeyecek sıklıktadır

Her bir uyarı ile birlikte kontraksiyonda hafif bir artış olur.



Tetanus:

Stimulus hızlıdır

Kas liflerinin gevşemesine izin vermez.

Ca⁺ salınımı aktif sekestrasyondan daha hızlıdır.



Kuvvet Üretimi

Pasif kuvvet üretimi → germe ile

Aktif kuvvet üretimi → kasılma ile ortaya çıkabilir.



Kuvvet üretimi

Kasın tipine,
Mimarisine,
Uzunluğuna,
Kasılma hızına,
İnversiyon açısına bağlı

Aktif kuvvet

Kasta, tendonda ve OTJ'da aynı.
Kemiği çeker,
Eklemde tork yaratır.
Kuvvetin hızı ve miktarı;
Fonksiyona yöneliktir
İhtiyaca göre belirlenir.



Motor ünite birikimi (Recruitment):

Kuvvet

Aktif motor ünite sayısına bağlı

Kuvvet artışı

Yeni motor ünitelerin aktive olmasına (Recruitment) bağlı

Recruitment, aktif motor ünite sayısının giderek artması



Motor ünite ve kas lifi tipi:

Yavaş kasılan liflerin uyarılma eşiği düşük

Hızlı motor ünitelerden daha kolay aktive olurlar.

Kasılmaya ilk olarak yavaş kasılan lifler başlar

Hızlı kasılan liflerin uyarılma eşiği daha yüksek

Daha fazla kuvvet veya hız gerektiğinde

Aktivite süresi uzadığında devreye girerler.

Tip I kas lifleri

Yavaş kasılırlar,

Lif çapları incedir,

Daha az kuvvet üretirler,

Kuvvet yavaş yavaş artar,

Yorulmazlar

Tip II kas lifleri

Hızlı kasılırlar,

Lif çapları kalındır,

Daha çok kuvvet üretirler,

Kuvvet hızla artar,

Çabuk yorulurlar.



İnversiyon açısı:

Kas-tendon kompleksinin kemiğe bağlanma açısı
Kasın doğurduğu gerilim iki komponente ayrılır.

Aktif komponent

Eklemden tork yaratarak harekete neden olur

Pasif komponent

Eklemleri stabilize eder.

İnversiyon açısı hareket esnasında değişir.



Kuvvet-Hız ilişkisi

Sabit yük → sabit maksimal kasılma hızı
Yüksek güç → yüksek maksimal kasılma hızı

Kuvvetle hız arasında ters korelasyon vardır.

Kuvveti üretimi arttıkça kasılma hızı azalır.

Kasılma hızı arttıkça kuvvet üretimi azalır.



Kuvvet – hız eğrisi:

Kas gücü kasılma hızına bağlı olarak değişir.

Konsantrik kasılma esnasında

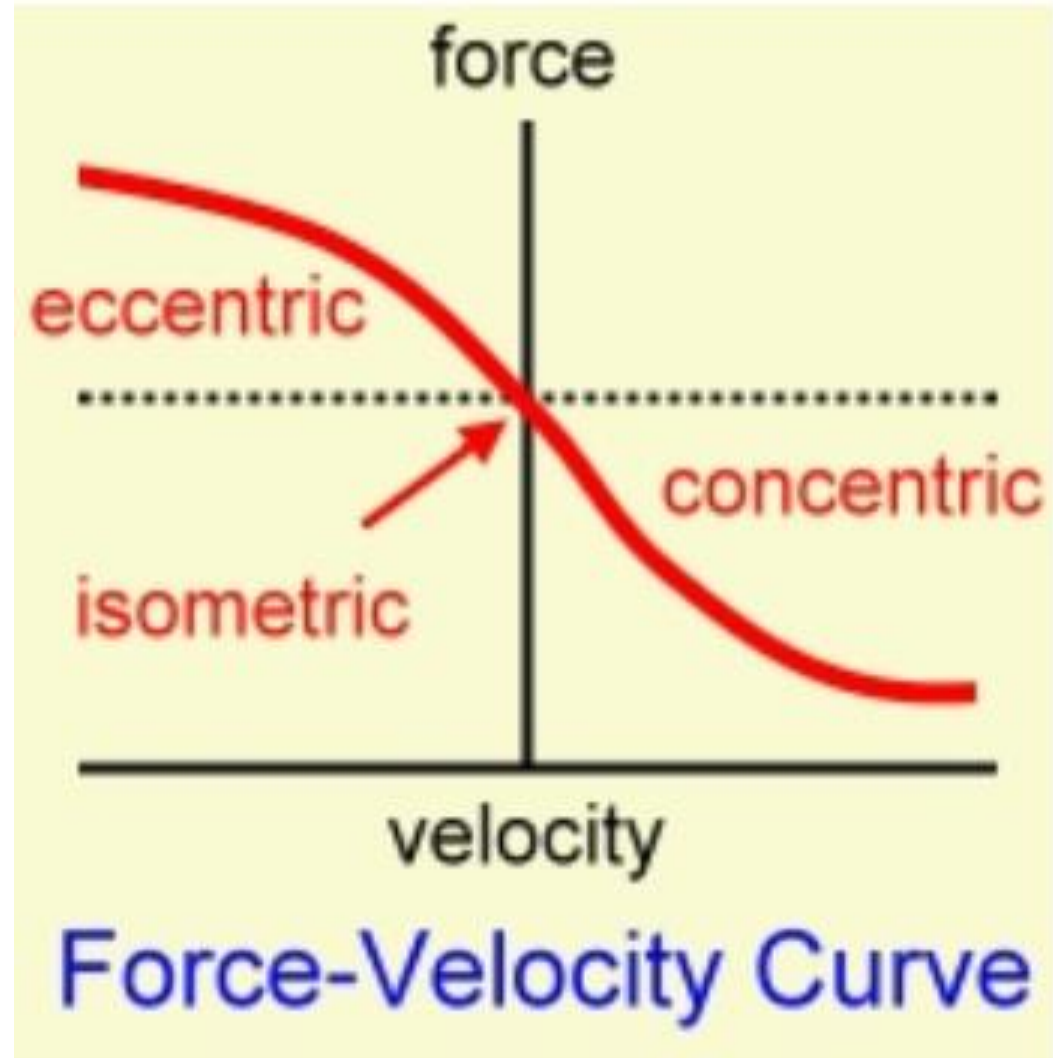
Hız arttıkça kuvvet azalır.

Eksantrik kasılma esnasında

Kuvvet arttıkça hız azalır.



Kuvvet – hız eğrisi:





Daha yavaş hızlarda

Çapraz köprü sayısı artar

Daha fazla güç elde edilir.

Lif uzunluğu az olan kaslar daha fazla kuvvet üretir.

Lif uzunluğu fazla olan kaslar daha hızlı kısalırlar.



Kuvvet uzunluk ilişkisi

Kasın uzunluğu

Kasılabilmesine (contractility) ve

Aktin ve miyozin çapraz köprülerine
(Kontraktil komponent),

Esnekliğine (elasticity) bağlıdır.

Kas kılıflarına (paralel elastik komponent)

Tendonlara (seri elastik komponent)

Optimal lif uzunluğu

Uzunluk-gerilim eğrisinin tepe noktası

Aktin ve miyozin arasındaki örtüşme optimal

Tüm sarkomerler aynı uzunlukta

Optimal uzunluğun azalması veya artması

Kontraksiyon gücünde azalma ile sonuçlanır



Kuvvet / uzunluk eğrisi - 1:

Aktif kuvvet / uzunluk eğrisi

Ters “U” şeklinde

Tepe noktası

Aktif tensil kuvvet maksimumda

Sarkomer maksimal kısalmış

Çapraz köprü sayısı en fazla

Kas optimum uzunlukta

Pasif kuvvet / uzunluk eğrisi

Elastik komponentlerin gerilmesine bağlıdır

Paralel (miyofasial) komponentler

Seri (tendinöz) komponentler

Bu dokular gerilmeden önce gevşektir;

Gerilim dokunun pasif gerilmesiyle artar.



Kuvvet / uzunluk eğrisi - 2:

Total gerilim- uzunluk eğrisi

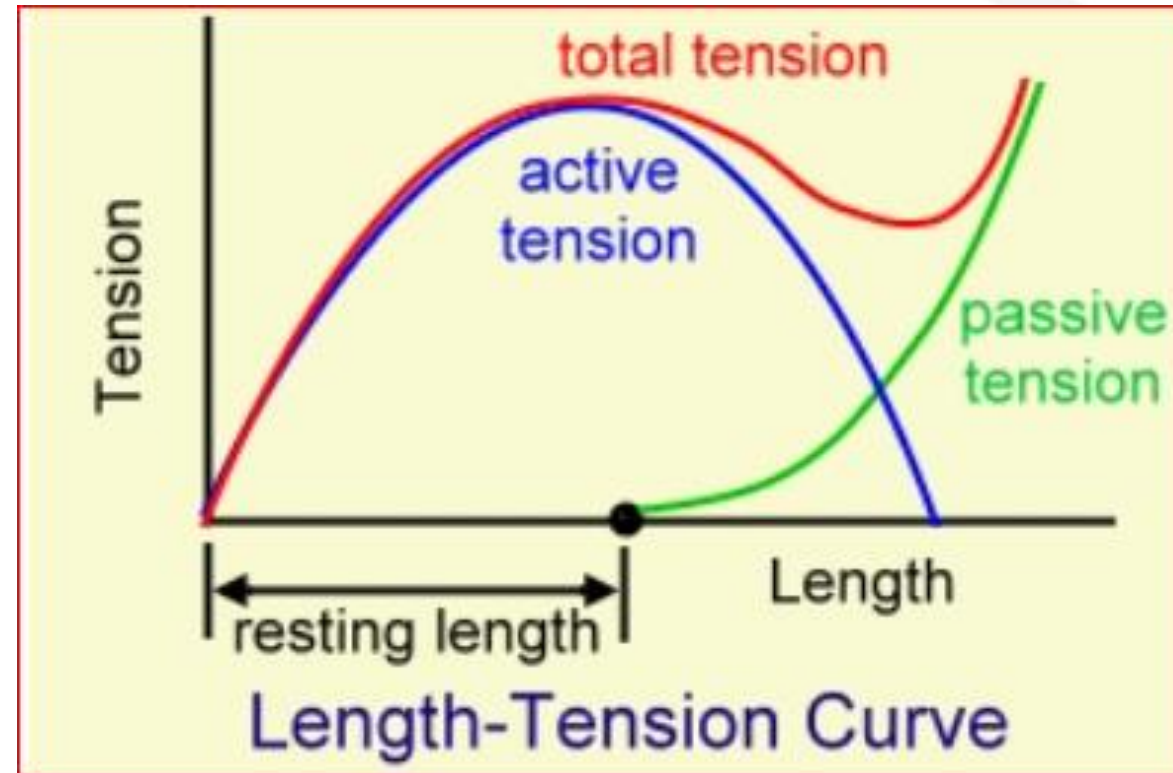
Kas kasıldığında gerilimden aktif kontraksiyon sorumlu

Optimal uzunluktan sonra

pasif gerilimin katkısı başlar

ve aktif gerilim azalmaya başlar.

Daha uzun boylarda total kuvvetin çoğu pasif gerilime aittir.





Kas yetmezliği

Aktif yetmezlik:

Kasın boyu tam ROM için gerektiği kadar kısalamaz

Bu nedenle yeterli kuvvet açığa çıkarılamaz

Aktin ve miyozin arasında yeterli köprü kurulamaz

Çok eklemlili kas kısalmış pozisyonda kasılırsa

Doğurduğu gerilim belirgin azalır.

Ör-1; Bilek tam ekstansiyonda iken yumruk yapılamaz.

Ör-2; Omuz tam fleksiyonda iken dirseğin fleksiyon gücü azalır.

Pasif yetmezlik:

Kasın boyu ROM için gerektiği kadar uzayamaz

Ör. Bilek tam fleksiyona geldiğinde yumruk yapılamaz

Antagonistlerin gevşemesi yeterli değilse

Agonist kasılması güçlü olsa bile hareket sınırlanabilir.



Kas Metabolizması

Fosfajen sistemi;

ATP ve keatin fosfat depolarını kullanır

10-15 sn süreyle enerji sağlarlar

Anaerobik sistem (glikojen-laktik asit);

Yaklaşık 30-40 sn enerji sağlar.

Aerobik sistem;

Hücresel solunumu kullanır

Sınırsız enerji sağlar.

Laktik asit yerine piruvik asit ortaya çıkar

Kas lifinde metabolize edilir

Farkedilir asit birikimi olmaz

Egzeriz ve kas kan akımı arasında pozitif bir korelasyon vardır

Kas kontraksiyonu esnasında kan akımı 20 kat artar

Kanlanmadaki artış metabolik ihtiyaçla uyumludur



Vücut ısısı arttığında

Metabolizma hızlanır

Sinir ileti hızı artar

Daha yüksek izometrik gerilim değeri ve

Daha yüksek kasılma hızı elde edilebilir

Kas kontraksiyonu 38.5°C (101°F) de en verimlidir.



Kas yorgunluğu (Muscle Fatigue)

Kas yorgunluğunun birçok nedeni olabilir

Yetersiz O₂ (laktik asit birikimi)

Yetersiz glikojen (glikoz)

Asetilkolin salgılayan motor nöronlardaki bozulma

Motivasyon eksikliği

Gerçek yorgunlukta ATP'nin yetersizliği söz konusudur.

Egzersiz sonrası kas ağrısı (**gecikmiş başlangıçlı kas ağrısı**)

Laktik asit birikimi ile ilgili değil

Laktik asitin %80'i kas dışına çıkar

Kalan %20'si istirahatte metabolize olur.

Miyoelastik komponentlerindeki mikroskopik hasarla ilgili



İSTANBUL
GELİŞİM
ÜNİVERSİTESİ

Katılımınız İçin
Teşekkür Ederiz.