

ÇİZGİLİ KAS FİZYOLOJİSİ

PROF.DR.MITAT KOZ

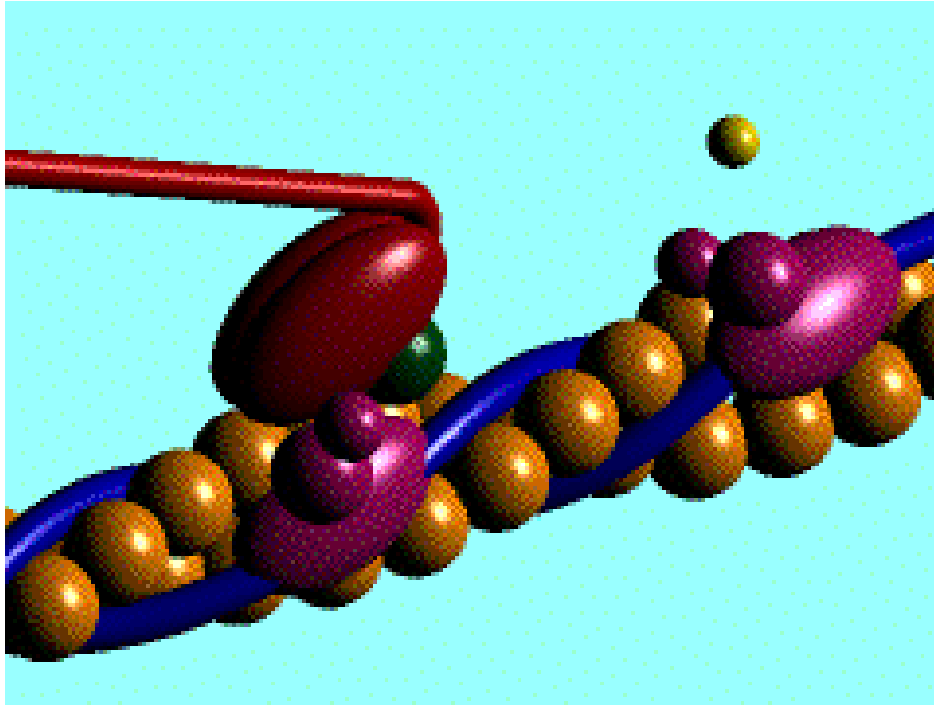
Kas kontraksiyonunun moleküler mekaniği:Tarihsel bakış.

- Kaslar hakkında ilk araştırmalar yaklaşık 2000 yıl önce başlamıştır.
- İlk kez 1842 de Schwann tarafından kasların kemo-mekanik yapılar olduğu belirtilmiştir.
- Kemo-mekanik, kimyasal enerjiyi mekanik enerjiye çeviren demektir.

- 1930 yılında Straub kasılmanın hem aktin hem de myozin ile ilgili olduğunu keşfetmiştir.
- 1931 yılında Lohmann kasların kullandığı yakıtın ATP olduğunu göstermiştir.
- 1939 yılında Engelhart ATP'yi kullanan molekülün myozin olduğunu göstermiştir.

Özetle

- Kas kimyasal enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürür.
- Kas kontraksiyonunun yakıtı ATP dir.



KAS

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

- KAS dediğimiz bu özelleşmiş hücrelerin primer fonksiyonu:
- 1. multisellüler organizmanın iç ortamının regülasyonunda ve
- 2. dış ortamda organizmanın hareketi için kullanılmasıdır.

- İnsanlar söz konusu olduğu zaman bu saydıklarımıza ek olarak
- 1. konuşma
- 2. çevredeki cisimlerin manipüle edilmesi de kas kasılmasının sonucunda olan olaylardır.

- Kas yapısı, kasılma özellikleri ve kasılmanın kontrol mekanizmaları esas alındığı zaman 3 tür kas görülür.

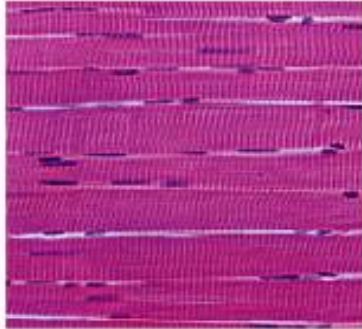
İskelet kası

Kalp kası

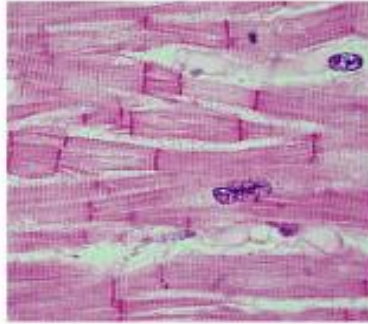
Düz kas



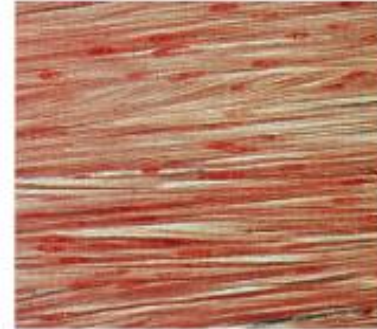
Single, very long, cylindrical, multinucleate cells with very obvious striations



Branching chains of cells; uni- or binucleate; striations



Single, fusiform, uninucleate; no striations



İSKELET KASI

- İskelet kaslarının çoğu kemiğe iliştirilmiştir, ve bu kasların kasılmasıyla iskelet sistemi hareket ettirilir ve desteklenir.
- İskelet kaslarının kontraksiyonu medulla spinalisdeki motor nöronların impulslarıyla başlar ve istemli kontrol altındadır.

KALP KASI

- Kalp kası kalbin pompalama fonksiyonunu gerçekleştiren kasdır.
- Kontraksiyonu ile kan dolaşım sisteminde ileri doğru fırlatılır.
- Otonom sinir sistemi ve hormonlar tarafından kontrol edilir. Bazı bölümlerinin spontan olarak kasılma özelliği vardır.

DÜZ KAS

- Düz kas tabakaları çok çeşitli içi boş organların ve tüplerin yapısında bulunur.
- Mide, GIS kanalı, idrar torbası, uterus, kan damarları ve akciğerlerdeki hava yolları bu organlara örnektir.
- Düz kas tabakalar halinde olmanın yanı sıra çeşitli organlarda tek bir düz kas hücresi şeklinde de bulunur.
 - Örnek: Gözün iris tabakası, ve derideki kıllara bağlı düz kaslar.

DÜZ KAS

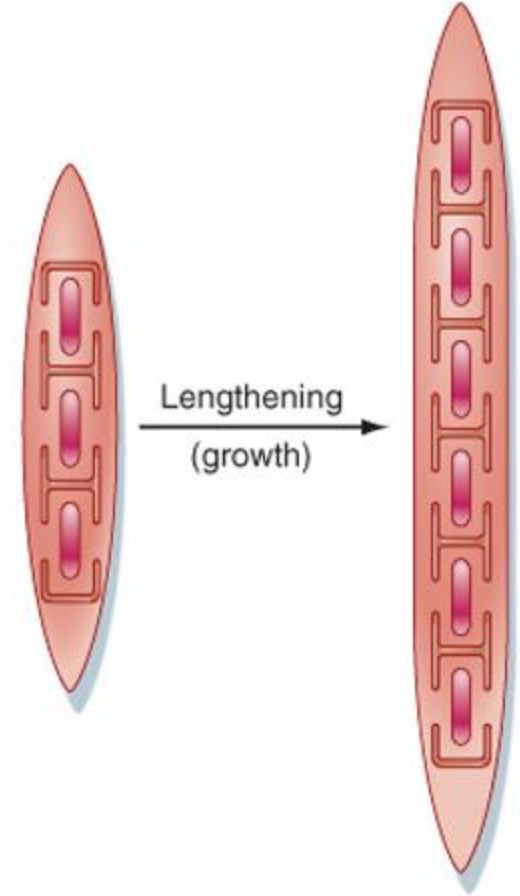
- Düz kasın kasılmasıyla bazı içi boş organların içeriği ileriye doğru atılırken, diğer içi boş organlarda da tüp çapı değiştirilerek, tüpün içindeki sıvı veya havanın akışı regüle edilir.
- Düz kasların kontraksiyonu otonom sinir sistemi, hormonlar ve diğer lokal kimyasal sinyallerle kontrol edilir.
- Ancak bazı düz kas hücreleri bu sinyallerin yokluğunda bile kendiliğinden kasılabilir.

- Üç kas tipi arasında belirgin farklılıklar olmasına rağmen, üçünde de güç-oluşturma mekanizması benzerdir.
- Her üç kas tipinin de paylaştığı bazı fonksiyonel özellikler şunlardır:
 - **Elastikiyet** –uzar ve ilk uzunluğuna geri döner
 - **Uyarılabilirlik** –uyarana cevap verir
 - **Kontraktilite** – kasılıp kısalabilir
- Kas terminolojisi:
 - Önekler– myo- ve sarko- kasa ait demektir
 - Sarkolemma – Kas hücresi membranı
 - Sarkoplazma – Kas hücresi sitoplazması

İSKELET KASI

- *Tek bir iskelet kası hücrelerine kas lifi denir.*
- Her bir kas lifi embryonik gelişme sırasında MYOBLAST denilen farklılaşmamış mononükleuslu hücrelerin birleşerek tek bir silindirik, multinükleuslu hücreye dönüşmesiyle oluşur.
- Bu dönüşüm doğum sırasında tamamlanmıştır, ve artık doğumdan sonra yeni kas lifi oluşmaz.

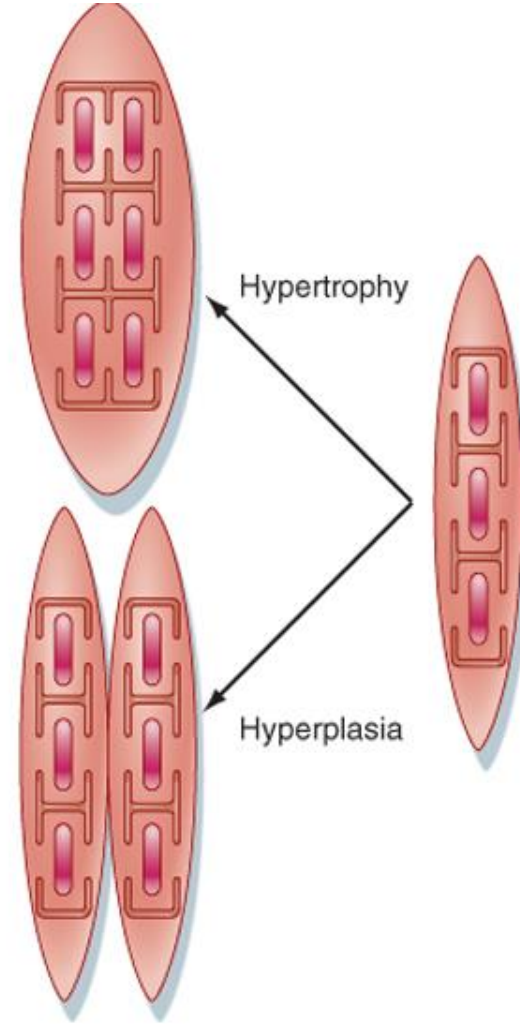
- Çocuğun büyümesiyle mevcut liflerin büyüklüğü artar, fakat lif sayısı değişmez.
- Doğumdan sonra yaralanma sebebiyle iskelet kasları hasar görürse, bu hasar diğer kas liflerinin bölünmesiyle tamir edilemez.



Satellite hücreler:

- Ancak, satellite hücreler denilen undifrensiye hücreler tarafından yeni kas lifleri oluşabilir.
- Bu hücreler kas liflerine bitişik ancak ekstrasellüler kompartmanda yer alırlar.
- Doğumdan sonra yeni kas yapımı küçümsenecek oranda değildir, ancak yine de hasar görmüş bir kası tam gücüne döndürecek oranda değildir.

- Kas kaybının çoğu kalan kas liflerinin sayısının değil büyüklüğünün artışıyla karşılanır.
- Yani, kayıp hiperplazi ile değil hipertrofi ile karşılanır.



Kas lifi:

- Tek bir kas lifinin çapı 10-100 μm dir.
- Tek bir kas lifinin uzunluğu 25 cm ye kadar olabilir.

Kas:

- Kas dediğimiz zaman kastedilen bağ dokusu ile bir arada tutturulmuş çok sayıda kas lifidir.
- Kaslar genellikle tendon denilen kollajen lif demetleriyle kemiklere tutunurlar.
- Bazı kaslarda kas lifi, kasla aynı uzunluktadır. Ama çoğunda kasdan daha kısadır.

Vücudumuzdaki her bir kas, kas dokusu, bağ dokusu, kan damarları ve sinir liflerinden oluşan ayrı bir organdır.

Kas 3 ayrı fibröz bağ dokusu tabakası ile sarılmıştır.

ENDOMYSIUM: Her bir kas lifini (hücrelerini) sarar.

PERİMYSIUM: Fasikül denilen bir grup kas lifini sarar.

EPİMYSIUM: Bütün bir kası sarar.

BANTLAR-ÇİZGİLER

- Kas lifi ışık mikroskobu ile incelendiği zaman, lifin uzun eksenine dik bir şekilde bir seri açık ve koyu bantlar görülür.
- Hem iskelet hem de kalp kasında bu karakteristik bant görüldüğü için bu kaslara çizgili kas denir.
- Düz kaslarda bu tür bir bant olayı görülmez.

SARKOMER

- Kalın ve ince filamentlerden oluşan yapı myofibril boyunca tekrarlanır.
- Bu tekrarlanan yapıya **SARKOMER** denir.

SARKOMER

- Kasın kasılabilen en küçük fizyolojik birimi SARKOMER dir.
- Anatomik olarak iki Z çizgisi arasında kalan bölüm sarkomerdir.
- Kas tekrarlanan sarkomer birimlerinden oluşmuştur.

SARKOMER

- Sarkomer kalın ve ince filamentlerden oluşur.
- Kalın filament MYOSİN denilen kontraktıl proteinden oluşmuştur.
- İnce filament ise
 - AKTİN denilen kontraktıl proteinden oluşmuştur.
 - Bu iki proteine ek olarak
 - TROPONİN ve
 - TROPOMYOZİN denilen kontraksiyonu düzenleyen iki protein daha sarkomerin yapısında yer alır.

- Sarkomerin boyu istirahat halinde yaklaşık 2 μm dir. Kasıldığı zaman boyu, bu uzunluğun % 70 ine kadar iner.
- Sarkomerler birbiri ardına eklenerek **myofibril'i** oluşturur.
- Myofibrilin çapı 1 μm civarındadır. Uzunluğu ise hücrenin uzunluğu kadardır.
- Kas hücresi myofibril denilen birimlerden oluşmuştur.
- Myofibriller ise myoflamentlerden oluşmuştur.
- Myoflamentler **ince ve kalın flamentlerden** oluşur.

İnce filament

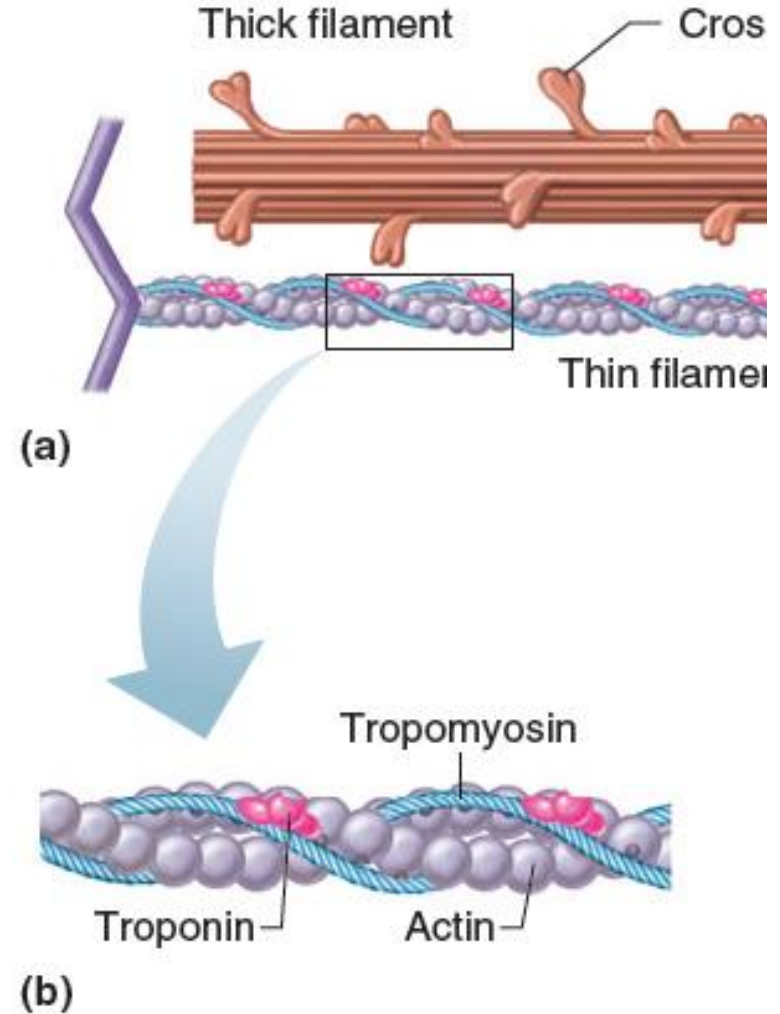
- İnce filament 3 ayrı tip proteinden oluşur.
- 1. Aktin
- 2. Tropomiyozin
- 3. Troponin

Aktin

- Aktin globüler bir proteindir (G-aktin).
- G-aktin proteinleri bir tespah gibi birbirine bağlanarak iki iplikçikten oluşan F-aktin denilen helikal yapıyı oluştururlar.

TROPOMYOZİN VE TROPONİN

- Tropomyozin: iki zincirli helikal regülatör proteindir. Kas istirahat halindeyken aktin üzerindeki aktif bölgeleri örter.
- Troponin: 3 ayrı polipeptid zincirinden oluşur.
 - Troponin-C
 - Troponin-I
 - Troponin-T



Kalın Filament

- Kalın filament Myozin denilen proteinden oluşur.
- Her bir myozin molekülünün bir kuyruk birde baş kısmı vardır.
- Kuyruk kısmı kalın filamentin gövdesini oluşturur.
- Baş kısmı ise gövdeden dışarıya doğru sarkar.
- Myozinin baş kısmına çapraz-köprü denir.

Bantlar-Çizgiler

- Sarkomerin ortasında, kalın filamentin olduğu yerdeki koyu renkli kısma A bandı denir.
- A bandının ortasında bulunan açık renkli kısma H zone denir.

H zone'nun ortasındaki koyu renkli kısma ise M çizgisi denir.

- Birbirine bitişik iki sarkomerin her iki yanında ve A bantlarına komşu olan açık renkli kısım ise **I bandıdır.**
- I bandında ince filamentlerin kalın filamentle kesişmeyen kısımları bulunur.
- I bandı Z çizgisi ile ikiye ayrılır.

- Kas hücresi, yani kas lifi birkaç yüz adet myofibril içerebilir.
- Bu myofibrillerin etrafında tüplerden oluşmuş iki ağ vardır.
- Transvers (T) tübül ve sarkoplazmik retikulum.

Transvers (T) tübül

- T tübül kas membranının invaginasyonu ile oluşur, dolayısıyla hücre membranının bir devamıdır.
- Kasılmayı başlatacak olan aksiyon potansiyeli T tübül aracılığı ile kas lifi içine iletilir.

sarkoplazmik retikulum

- Sarkoplazmik retikulumda yüksek konsantrasyonda kalsiyum vardır.
- Bu kalsiyum, kas uyarıldığı zaman, kasılmayı başlatmak için kullanılır.
- Sarkoplazmik retikulumun kenarları genişleyerek terminal sisternayı oluşturur.

Sarkoplazmik Retikulum (SR)

- SR çok iyi gelişmiş bir endoplazmik retikulumdur.
- Uzunlanmasına yerleşmiştir ve her bir myofibrili sarar.
- İntrasellüler kalsiyumun depo yeridir ve salınan kalsiyum kasılmayı başlatır.

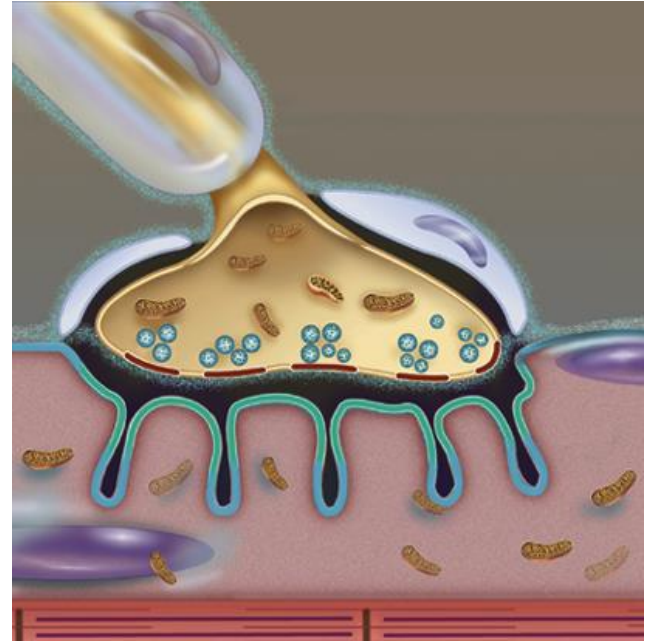
İskelet Kası Kontraksiyonu

- İskelet kasının kasılabilmesi için bir sinir tarafından uyarılması gereklidir.
- Elektrik sinyalinin kontraksiyona yol açma mekanizmasına eksitasyon-kontraksiyon bağlantısı denir.

- İskelet kası, MSS den kaynaklanıp, somatik motor aksonlarla kasa ulaşan, aksiyon potansiyeline bir cevap olarak kasılır.
- Uyarı sinyalinin, sinirden kasa geçmesi sinir-kas kavşağı denilen yerde gerçekleşir.
- Sinir-kas kavşağı nöron membranı ile kas membranının çok yakınlaştığı özel bir tür sinapstır.

Sinir-Kas Kavşığı

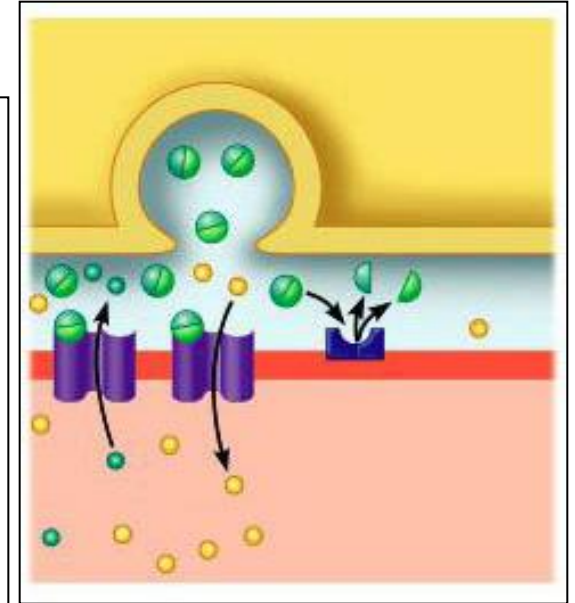
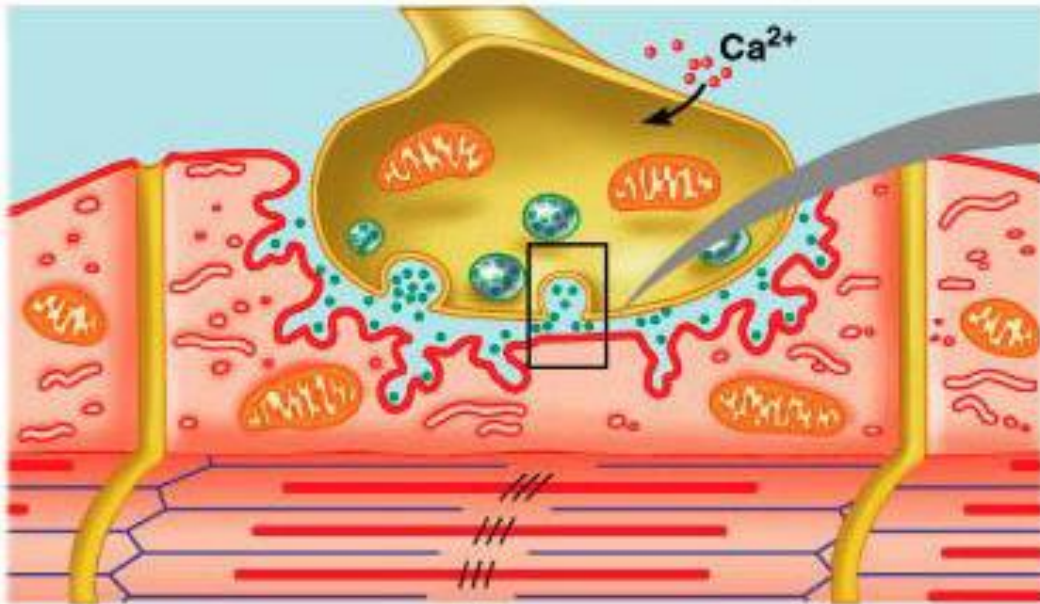
- Motor nöron aksonları kasa ulaştıklarında dallanmalar yapar ve kas lifleri ile kontakt kurarlar.
- Schwann hücreleri sinir-kas kavşağını sarıp, izole eder.



Sinir-Kas Kavşığı

Akson son ucu ile motor son plak arasında 1-2 nm lik bir aralık vardır, buna sinaptik yarık denir.

Motor Son Plak asetilkolin reseptörlerinin bulunduğu girinti çıkıntılarla çok katlı bir yapıya bürünmüş olan sarkolemma kısmı.



Sinir-Kas Kavşacı

- Akson son ucuna bir aksiyon potansiyeli gelir.
- Voltaj bağımlı kalsiyum kanalları açılır ve aksonun içine Ca^{2+} girer.
- Akson terminaline giren Ca^{2+} , akson son ucunda bulunan içinde asetilkolin (ACh) bulunan veziküllerin sinaptik aralığa egzozitoz yapmalarına neden olur.
- ACh diffüzyonla sinaptik aralığı geçerek sarkolemmada bulunan ACh reseptörlerine bağlanır.
- ACh nin reseptörlere bağlanması, sarkolemmada bulunan katyon kanallarının açılmasına yol açar.

- Motor son-plak potansiyeli derecelidir, amplitüdü reseptöre bağlanan ACh sayısı ile doğru orantılıdır.
- Eğer ACh salınımı bir şekilde azalır, motor son-plak potansiyelinin amplitüdü de düşük olacaktır.
- Normal şartlar altında, oluşan motor son-plak potansiyeli aksiyon potansiyeli oluşturmak için gerekenden daha fazladır, buna emniyet faktörü denir.

Eksitasyon-Kontraksiyon Bağlantısı

- ACh tarafından başlatılan aksiyon potansiyeli sarkolemma boyunca yayılır.
- T tübülleri aracılığı ile ilerler ve terminal sisternadan Ca^{2+} salınımına neden olur.
- Ca^{2+} troponine bağlanır ve troponinde konformasyonel bir değişikliğe yol açar.
- Bu değişiklik tropomyozinin kapattığı aktin üzerindeki aktif bölgelerden çekilmesine yol açar.
- Kas kontraksiyonu intrasellüler Ca^{2+} konsantrasyonu arttığı zaman başlar.
- Hücre içindeki Ca^{2+} sürekli olarak SR a pompalanmaktadır.
- Ca^{2+} seviyesi tekrar normale dönünce, troponin de ilk konformasyonuna döner ve tropomyozin tekrar aktin üzerindeki aktif bölgeleri örter ve kas gevşer.

Kayan-Filament Mekanizması

- Kontraksiyon sırasında iskelet kası lifinin kısalması, her bir sarkomerdeki kalın ve ince filamentlerin çapraz köprüler aracılığı ile, üst üste geçmesi ile sağlanır.
- Bu hareket sırasında ne kalın ne de ince filamentlerin uzunluğunda hiç bir değişiklik olmaz.
- Bu yüzden bu mekanizmaya Kayan-Filament Mekanizması denir.

Kontraksiyonun moleküler mekanizması:

- Myozin başının dönmesiyle myozin başı aktine sıkıca bağlanır, kıvrılma hareketi yapar
- Böylece baş hareket edince aktini ileri doğru çeker.
- Tabiki tek bir myozin başı ince filamentin tümünü tek başına çekemez.
- Çok sayıda myozin başının aynı anda hareketi ile ince filament çekilir.

- Myozin başının hareketinin sonunda ATP myozin başına bağlanır ve bu bağlanma myozin ile aktin arasındaki bağı kırar.
- Myozin başının geri dönmesi, ATP nin ADP ve P a yıkılmasını sağlar ve myozin artık tekrar aktine bağlanabilir.
- Sonuçta myozin başı aktine tekrar sıkıca bağlanır. Ancak bu kez myozin başı farklı bir aktine bağlanır ve böylece ince filamentin daha fazla çekilmesine neden olur.

- Kürek ekme hareketi sırasında kullanılan enerji ATP hidrolizinden sağlanır.
- ATP'nin myozine bağlanması (hidrolizi değil) aktin ile myozin arasındaki bağı kırar.

Kontraksiyonda kalsiyumun rolü:

- Kasılma başladıktan sonra yeterli ATP olmasına rağmen bir süre sonra kasılma sona erer.
- Bunun sebebi kalsiyum yokluğunda myozinin aktine bağlanamamasıdır.
- Bu inhibisyon ince filamentteki iki regülator protein aracılığı ile olur.
- Bu proteinler tropomyozin ve troponindir.

RİGOR MORTİS

- Ölümden bir kaç saat sonra başlayan ve 12 saat sonra tamamlanan kas sertliğine rigor mortis denir.
- Ölümden sonra hücre içindeki ATP konsantrasyonu azalır.
- ATP yokluğunda myozin başı aktine bağlanabilir, ancak aktinle myozin arasındaki bağın kırılabilmesi için ATP gerekli olduğu için, ölümden sonra kaslar kasılı kalır.

KAS KRAMPLARI

- İskelet kasının istemsiz tetanik kasılmasına kramp denir.
- Kramp esnasında sinir aksiyon potansiyelleri anormal bir hızda ateşlenir.
- Bu yüksek aktivitenin sebebi tam olarak bilinmemektedir, ancak büyük ihtimalle hem kası hem de siniri çevreleyen ekstrasellüler sıvıdaki elektrolit dengesizliği bu olayın sorumlusudur.
- Aşırı egzersiz, yada uzun süreli dehidratasyon bu elektrolit dengesizliğine yol açabilir.
- Bir başka teoriye göre ise bu elektrolit dengesizliği kasdaki duyuşal reseptörleri uyarır, ve bu da refleks olarak kasın kasılmasına neden olur.

Gevşeme

- Kas kontraksiyonu intrasellüler Ca^{2+} konsantrasyonu arttığı zaman başlar.
- Hücre içindeki Ca^{2+} sürekli olarak SR a pompalanmaktadır.
- Ca^{2+} seviyesi tekrar normale dönünce, troponin de ilk konformasyonuna döner ve tropomyozin tekrar aktin üzerindeki aktif bölgeleri örter ve kas gevşer.

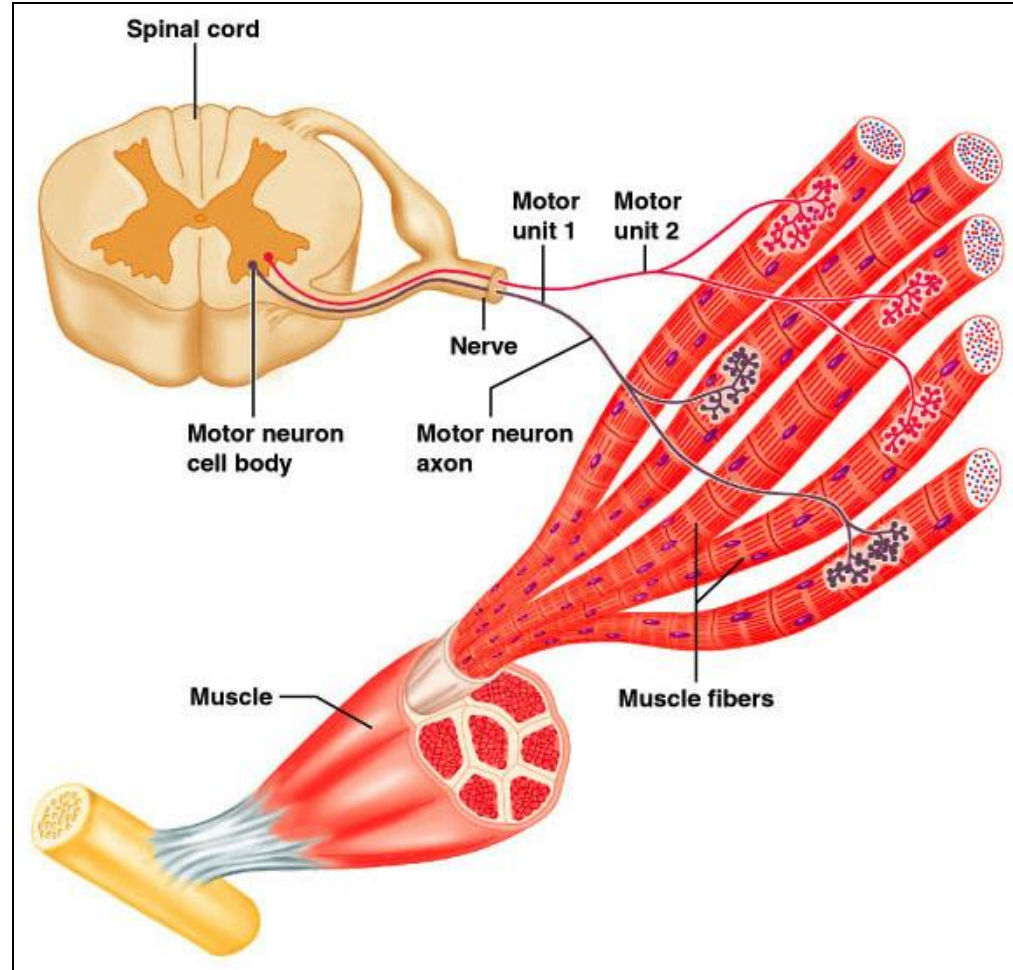
Kas Gevşemesi

- Aksiyon potansiyeli devam ettiği müddetçe SR dan salınan kalsiyum kasılmanın devam etmesini sağlayacaktır.
- Bu sebeple gevşeme için öncelikle aksiyon potansiyelinin durması gereklidir.
- Daha sonra ise sitoplazmada bulunan kalsiyumun sarkoplazmik retikuluma geri pompalanması gereklidir. Bu **Ca²⁺-ATPase** pompası ile gerçekleştirilir.
- Bu pompanın çalışması için ATP gereklidir.
- Dolayısıyla kas kasılması için de kas gevşemesi için de ATP gereklidir.

motor ünite

Her kasın en az bir tane motor siniri vardır. Bu motor sinirin son ucundaki akson dallanmaları yüzlerce olabilir. Aksonlar son uçlarında akson terminali denilen dallanmalar yaparlar ve bu terminaller tek bir kas hücresi (kas lifi) ile birleşerek sinir-kas kavşağını oluştururlar.

Bir motor nöron ve bunun innerve ettiği tüm kas liflerinin hepsine birden **motor ünite** denir.



Motor Ünite

Bir motor ünitedeki kas liflerinin sayısı değişkendir, bir kaç tane olabildiği gibi bir kaç yüz tane de olabilir.

İnce hareketleri kontrol eden kaslar (parmak kasları) küçük motor üniteye sahiptir.

Büyük ağırlık taşıyan kaslar (kalça ve uyluk kasları) büyük üniteye sahiptir.

Kasta çok sayıda kas lifi vardır. Dolayısıyla tek bir motor ünitenin uyarılması kasta zayıf bir kasılmaya neden olur.

KAS LİFİ TİPLERİ

- Bütün kas lifleri aynı özellikte değildir.
- Kimi kas lifleri hızlı kasılır ama çabuk yorulurlar.
- Kimi kas lifleri ise yavaş kasılır ama yorgunluğa dirençlidirler.
- Yenidoğanda bütün çizgili kaslar aşağı yukarı aynı özellikte olmasına rağmen, kasların innervasyonun tamamlanması ve tümüyle aktif hale geçmeleriyle kaslar hız ve yorgunluğa dirençde farklılaşırlar.

Erişkinde 3 tür iskelet kas lif tipi vardır.

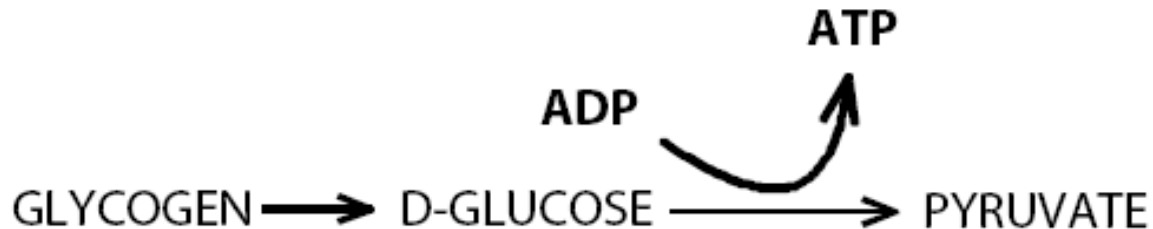
- Bu kas liflerinin bir tipden diğerine değişmesi deneysel olarak ve patolojik koşullarda mümkün olsa da fizyolojik şartlarda mümkün değildir. Bu kas tiplerinde farklı myozin izoformları vardır.

Yavaş Oksidatif (Tip I):

- Kırmızı görünümlüdürler, çünkü hem kapiller damarlardan çok zengindirler, hem de myoglobin içeriği çok fazladır.
- Sarkoplazmik retikulum hızlı liflerdeki kadar belirgin değildir.
- ATP üretiminde hakim olan yol oksidatif yoldur.
- Myozin başının ATPase aktivitesi düşüktür.
- Mitokondriden çok zengindir.
- Laktat dehidrogenaz aktivitesi azdır (prüvati parçalar)(Anaerobik yol)
- Süksinat dehidrogenaz aktivitesi fazladır (Krebs siklusu)
- **Kasılma ve gevşeme yavaştır.**

Hızlı Glikolitik (Tip II-B):

- Kalın liflerdir, sarkoplazmik retikulum iyi gelişmiştir.
- Mitokondri sayısı azdır.
- Larinks kası bu tür bir kasdır.
- ATP üretiminde hakim yol glikolitik yoldur.



- Glikolitik yolda az ATP üretilir, ama hızlı üretilir.
- Ca^{++} salınımı ve reuptake i hızlıdır.
- Laktat dehidrogenaz aktivitesi fazladır (prüvati parçalar)
- Krebs siklus enzim aktivitesi düşüktür.
- Hızlı bir şekilde büyük miktarda güç oluşturabilir.
- **Kasılma ve gevşeme hızlıdır.**

Hızlı Oksidatif (Tip II-A):

- Bu tür liflerin oranı insanlarda azdır.
- Küçük çaplı liflerdir.
- Mitokondri sayısı fazladır.
- Myoglobinden zengindir bu kasi Pembe veya kırmızı görünümlü yapar.
- ATP hem glikolitik hem de oksidatif yollardan üretilir.

- Bir motor ünitelerdeki kasların hepsi aynı tipdir.
- Ancak bir kasda birden fazla motor ünite vardır ve bu motor üniteler aynı olmak zorunda değildir.
- Dolayısıyla bir kasda (örneğin biceps kası) hem yavaş oksidatif hem de hızlı glikolitik kas lifi bulunur.
- Oranı az olmasına rağmen hızlı oksidatif kas lifleri de bulunur.
- Bir kasın hızlı veya yavaş diye nitelendirilmesi, bu kas liflerinin oranına bakılarak yapılır.
- Bu oran doğuştan bellidir, fizyolojik koşullarda değişmez. (Sporcu olunmaz, sporcu doğulur!)

İSKELET KASLARINDA HİPERTROFİ VE ATROFİ

- İskelet kaslarına *günde birkaç dakika bile olsa, maksimal gücünün en az % 70-80'i oranında bir dirençli egzersiz yaptırılırsa, kaslar 6-10 hafta içinde yapı ve fonksiyonunu geliştirerek; hipertrofiye uğrar.*
- *Hipertrofide, kasın aktin ve myozin filamentlerinde artış olur, myofibriller dallanarak sayılarını arttırırlar ve kas lifi çapı artar.*
- Buna karşılık iskelet kasları uzun süreli çalışmama halinde yapı, fonksiyon ve güç kaybına uğrar. Buna da *atrofi* denir.
 - *Alçı sonrası kullanmama*

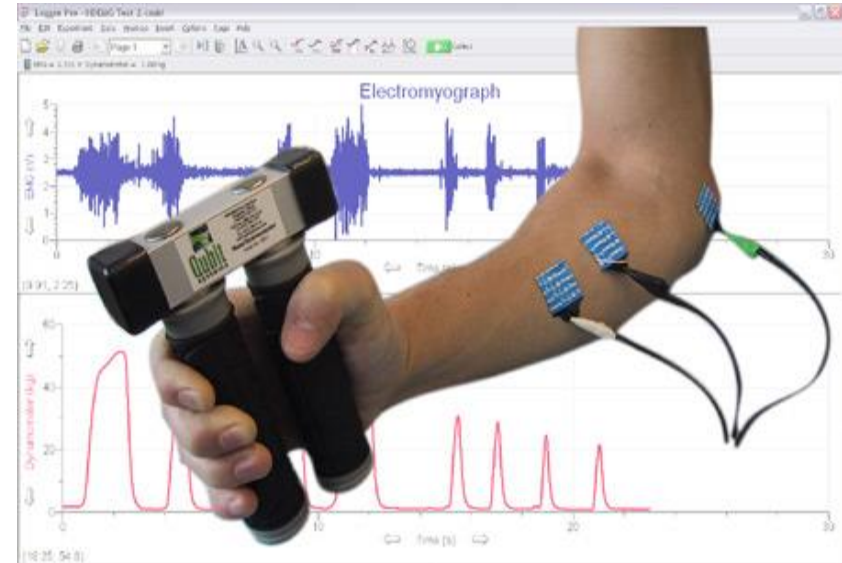
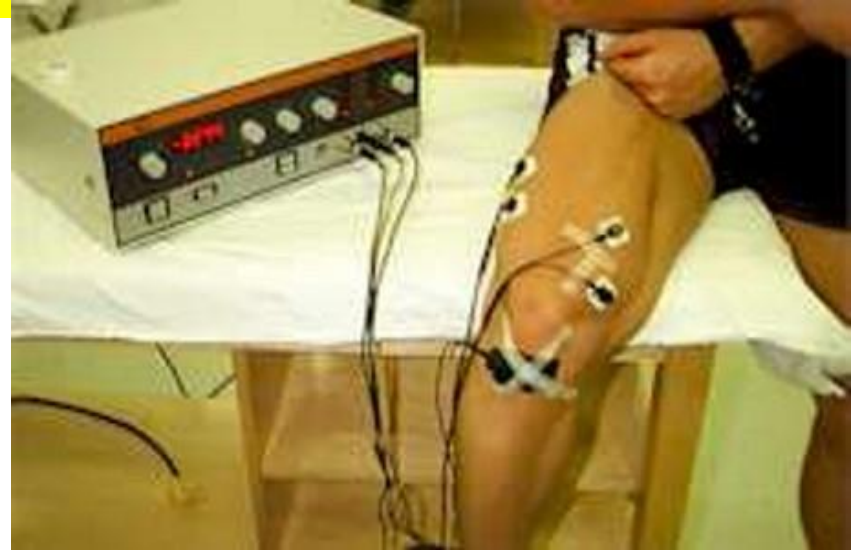


DENERVASYONUN ATROFİSİ

- Eğer iskelet kasının nöronları kesilirse sinir-kas kavşağı afonksiyonel hale gelir ve denerve kas liflerinin çapları küçülür, içerdikleri kontraktıl protein miktarı azalır.
- Bu duruma denervasyon atrofi denir.
- *Denervasyonda atrofi daha hızlı gelişir.*
- *Birkaç hafta içinde kas liflerinde başlayan protein yıkımı, birkaç ayda maksimum düzeye ulaşır.*
- Denervasyondan sonra 1 yıla kadar reinnervasyon sağlanmazsa, kaslardaki kontraktıl proteinler yıkılarak; yerini yağ ve bağ dokusu alır.
- Bu durumun geri dönüşü yoktur.

ELEKTROMYOGRAFI

- İskelet kası motor ünitelerinin elektriksel aktivitesi 'elektromyografi' (EMG) denilen bir kayıt cihazı ile ölçülebilir.
- Disk elektrotlar ile kas dışından, hipodermik iğne elektrotlarla kas liflerinden yapılan bu ölçümlerde, kasın istirahat durumunda veya kontraksiyon anında osiloskopta çeşitli traseler izlenebilir.
- **Kliniklerde kullanılan bu yöntemle, motor nöron, akson ve kas liflerinde bir aksaklık olup olmadığı saptanır.**



Kas Tonusu

Kas tonusu:

Kasların sürekli olarak hafif kasılmış halde bulunmalarıdır-aktif hareket sağlamaz.

Kasların gergin ve uyarana cevap vermeye hazır olmalarını sağlar.

Eklemleri stabilize eder ve postürü sağlar.

Kas ve tendonlarda bulunan gerim reseptörlerinin aktivasyonuna cevap olarak motor ünitelerin spinal refleks aktivasyonu sonucu oluşur.

Daha Kuvvetli Uyarana Kasın Cevabı

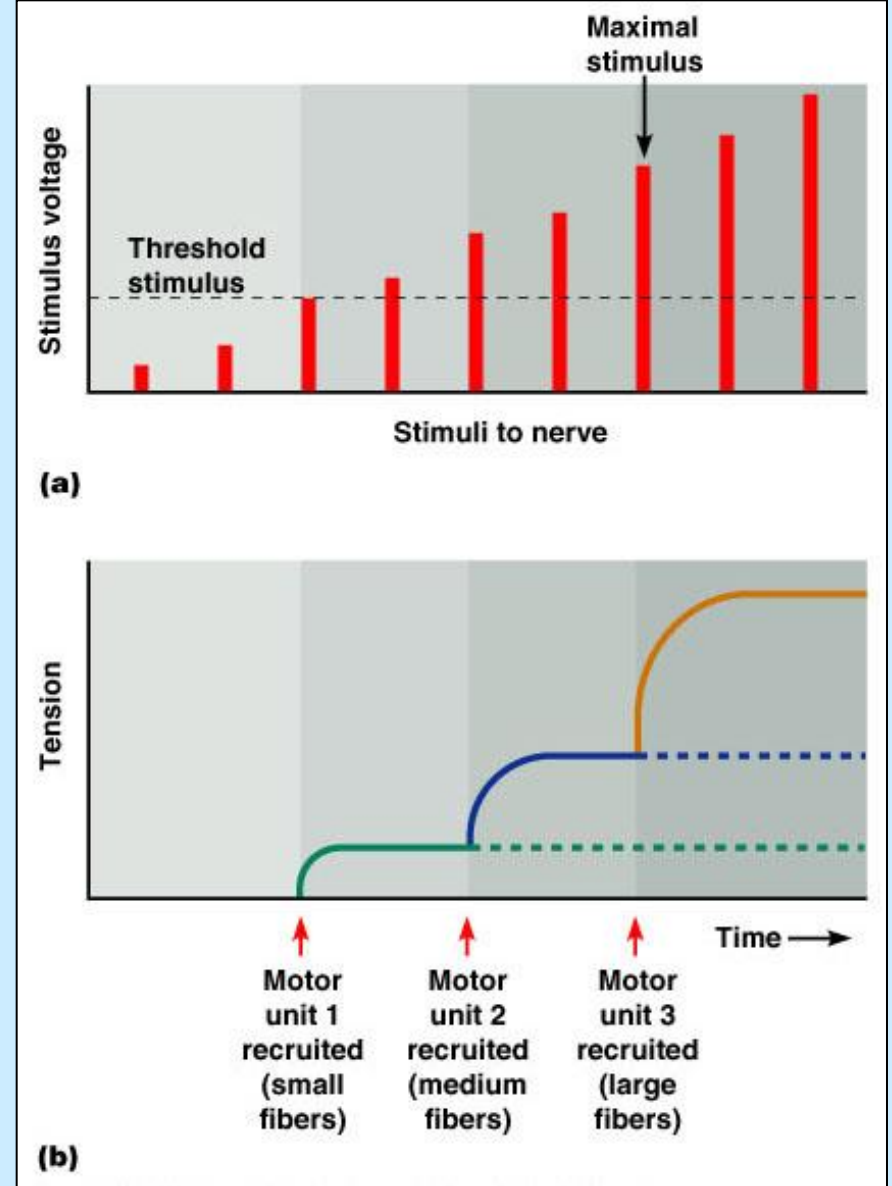
- Eşik Uyarı – gözlenilebilen ilk kas kontraksiyonunun gerçekleştiği uyarı şiddeti
- Eşik uyarının üzerindeki uyarı şiddetinde, uyarı şiddeti arttığında kas daha güçlü olarak kasılır.
- Kasılma gücü multiple motor ünite summasyonu yoluyla kontrol edilir.
- Motor ünite summasyonu daha fazla sayıda kas lifinin olaya katılmasını sağlar.

Uyaran Şiddeti ve Kas Gerimi

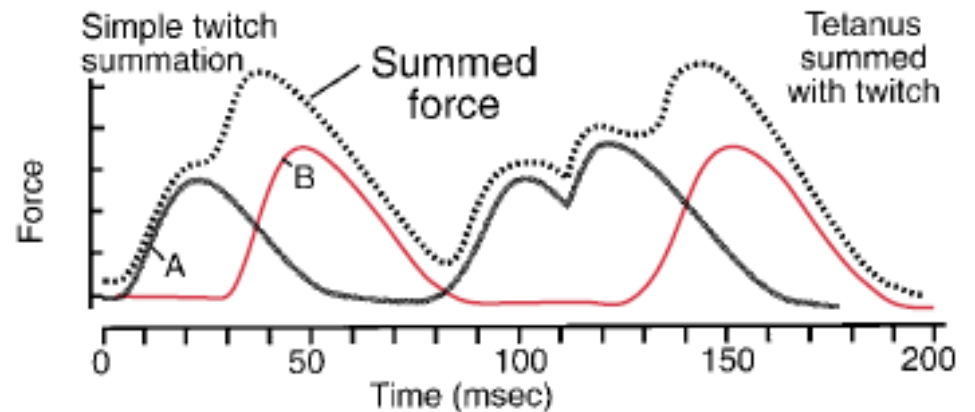
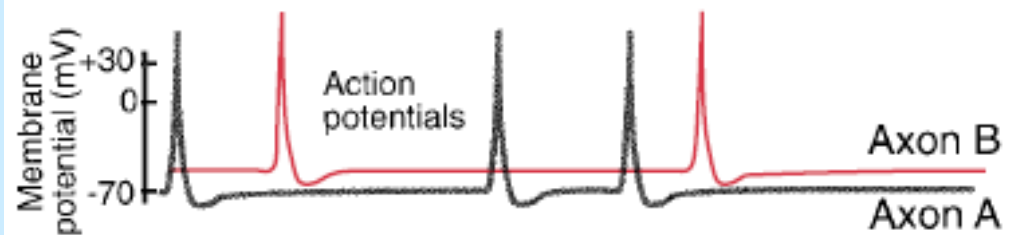
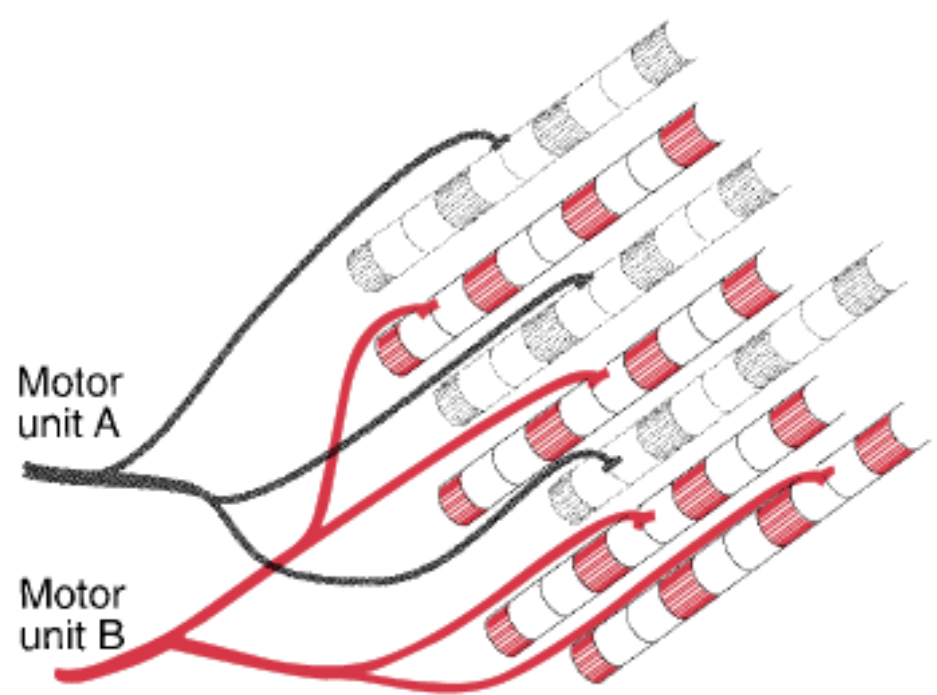
Motor Ünite Sumasyonu

Eşik değerin altında- hiç kasılma olmaz.

Eşik değerin üstünde-voltaj artıkça daha fazla sayıda motor unite kasılmaya katılacaktır.



Motor Ünite Sumasyonu



İnce ve Kalın Filamentlerin Birbirinin İçine Geçme Oranı

İskelet kasının yapısı kontraksiyon mekanizmasına dair önemli ipuçları verir.

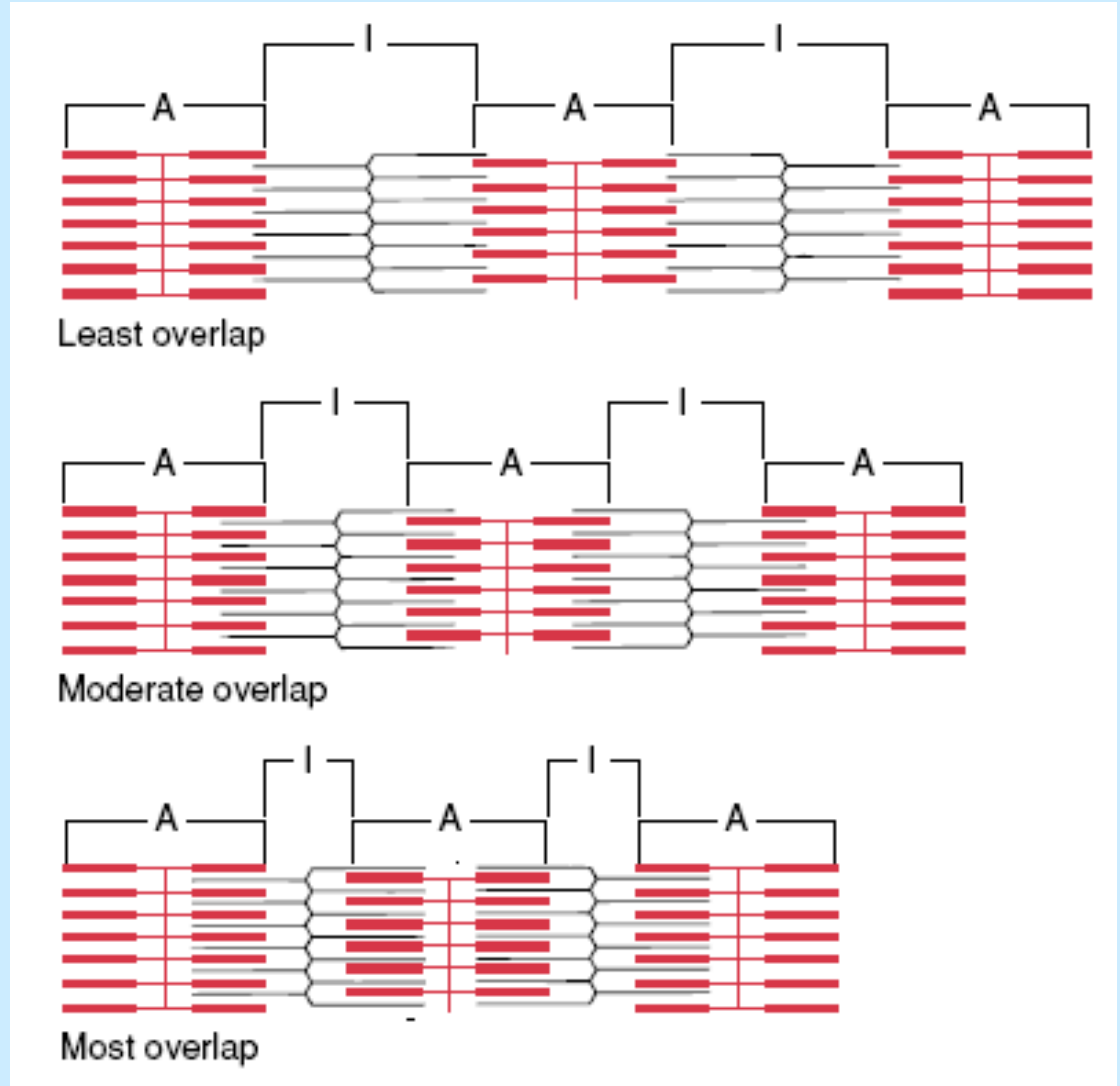
A bantlarının genişliği kas lifinin uzunluğu ne olursa olsun değişmez.

I bantlarının genişliği direkt olarak kasın uzamasına bağlı olarak değişir.

İki Z çizgisi arasındaki uzunluk da (sarkomer uzunluğu) yine kasın uzamasına bağlı olarak değişir.

İnce ve kalın myofilamentlerin uzunluğu, kas lifi uzunluğu değişmesine rağmen değişmez, sabittir.

Kayan filament teorisine göre, kas lifi uzunluğundaki değişme, direkt olarak ince ve kalın filamentlerin birbirinin içine geçme oranı ile orantılıdır.

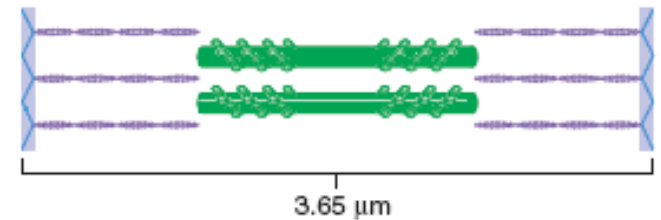
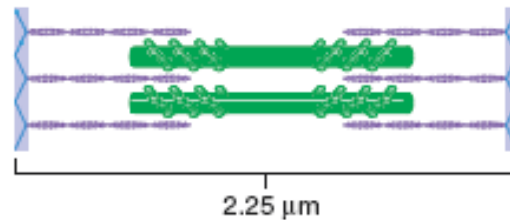
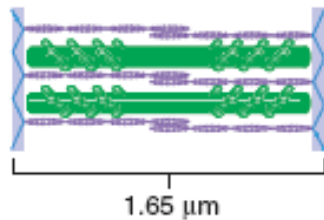
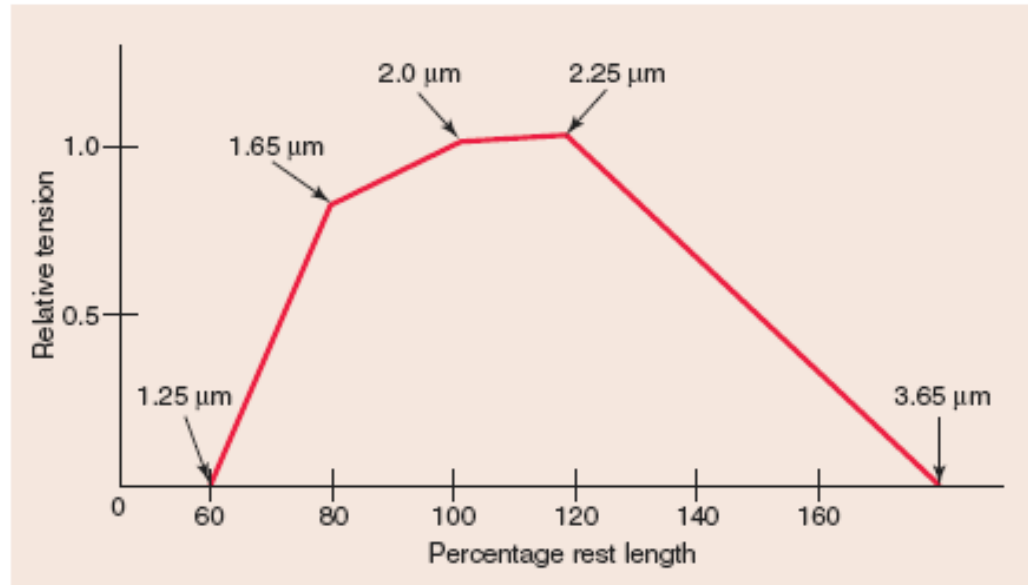


Her bir sarkomer yaklaşık 1 um kadar kısalır. Kaslar birbirine seri halde bağlanmış binlerce sarkomerden oluştuğu için kasdaki kısalma miktarı çok daha fazla olur.

Genel olarak iskelet kasları % 30 oranında kısalabilirler.

Benzer şekilde tek bir sarkomer tarafından oluşturulan güç çok küçüktür (bir kaç yüz mikroNewton), ancak binlerce sarkomer aynı anda kısaldığı zaman önemli bir güç oluştururlar.

Kas normal istirahat uzunluğundan daha fazla miktarda gerilerek uzatılırsa, ince ve kalın filamentlerin birbirine geçme oranı düşer.



İskelet Kası Kontraksiyon Türleri

Kas kasılmasıyla bir nesne üzerine uygulanan güce kas gerimi denir, bu güce karşı koyan güce yada hareket ettirilen nesnenin ağırlığına ise yük denir.

3 tür kas kontraksiyonu vardır:

Kas gerimi oluşur, ancak yük hareket etmezse (kas kısalmaz) bu tür kontraksiyona izometrik kontraksiyon denir.

Eğer kas gerimi yükü hareket ettirir ve kas kısalırsa buna da izotonik kontraksiyon denir.

İzometrik Kontraksiyon

Kasda gerim gittikçe artar, ancak kas ne kısalır ne de uzar.

Yükü, kasın oluşturabileceği gerimden daha büyük olduğu zaman gerçekleşir.

Çapraz-köprüler güç oluşturur ancak ince filamentleri kasın boyunu kısaltacak ölçüde hareket ettiremez.

Çünkü kasta:

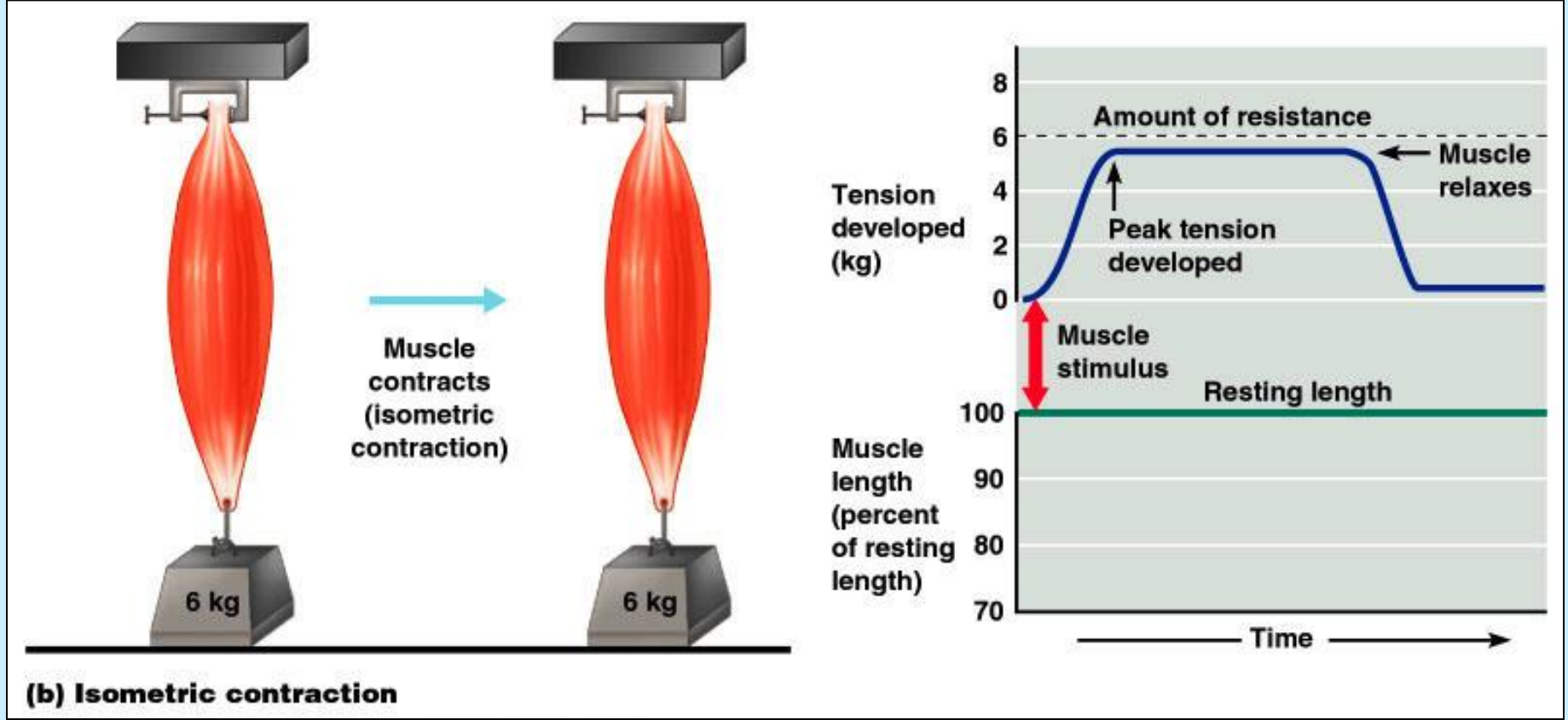
1-kontraktıl elemanlar(aktin ve myozin filamentleri)

2-elastik elemanlar(fasya, tendon ve nonkontraktıl proteinler) bulunur

Kasılmada kontraktıl elemanlar normal kasılır ve sarkomerin boyu kısalır, ancak elastiki elemanlar gerilerek uzarlar ve kasın boyunu sabit tutarlar, olası kasılmayı kompanse ederler
kuvvet=sarkomer kısalması+elastik elemanların gerilmesi

İzometrik Kontraksiyon

Kas uzunluğunda bir değişiklik olmaz.



İzometrik kontrasyonda ölçülen şey artan kas gerimidir.

İzotonik Kontraksiyon

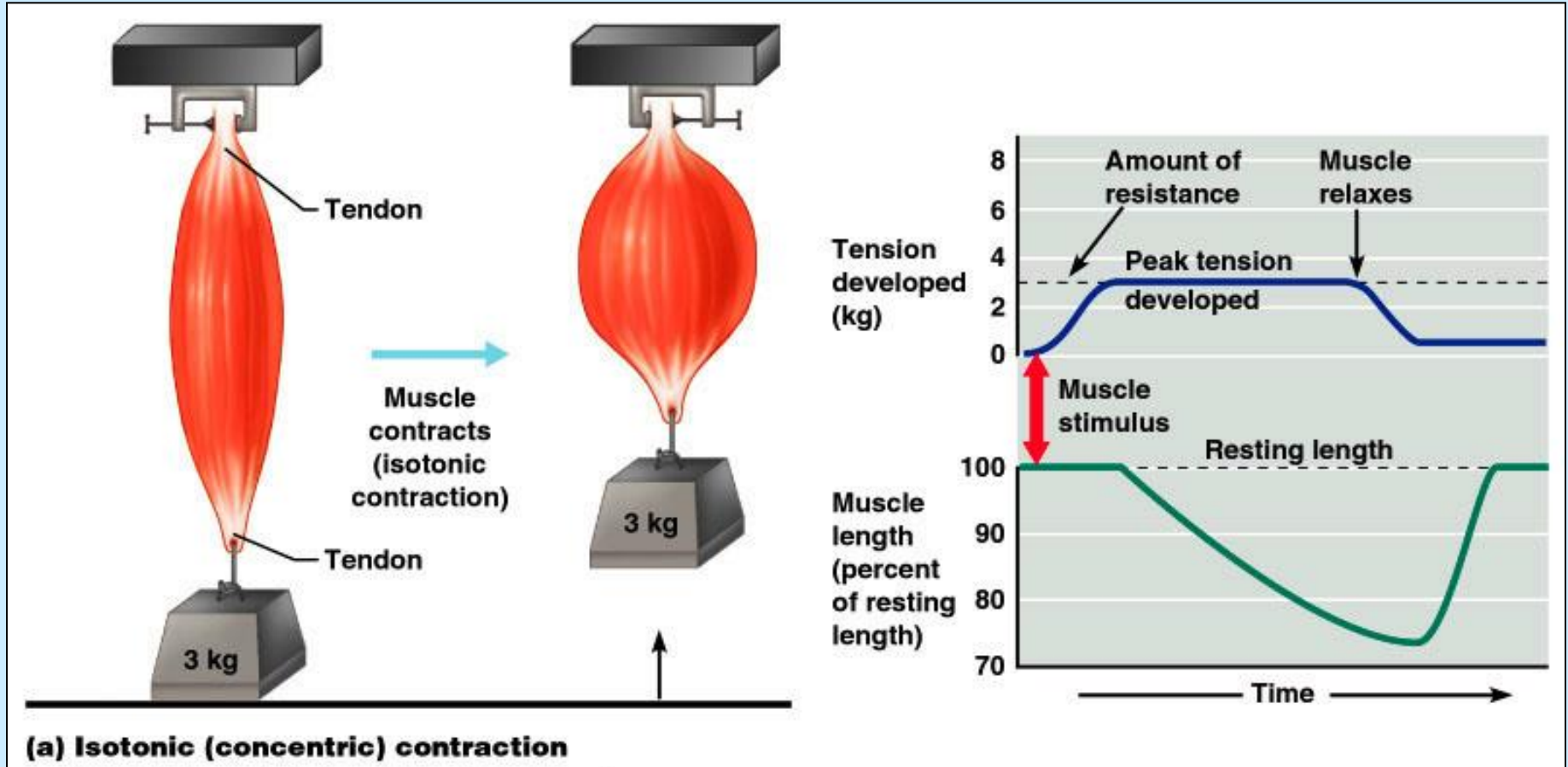
İzotonik kontraksiyonda, kas, uzunluğunu değiştirir ve yükü hareket ettirir. Yükü hareket ettirmek için gerekli gerim oluştuktan sonra, kontraktıl peryodun geri kalan kısmında, kas gerimi (nispeten) sabit kalır.

Kas kısalır ve iş yapar.

Bu tür kontraksiyona konsantrik kontraksiyon da denir.

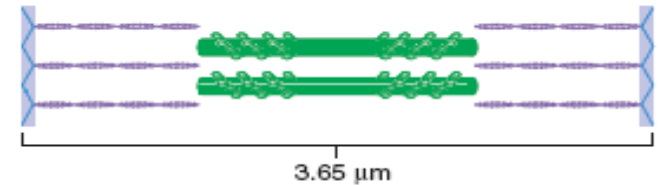
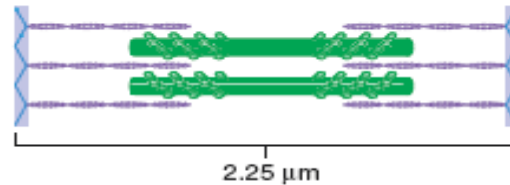
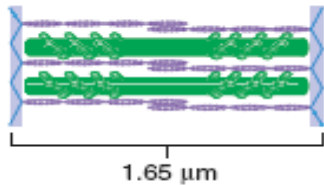
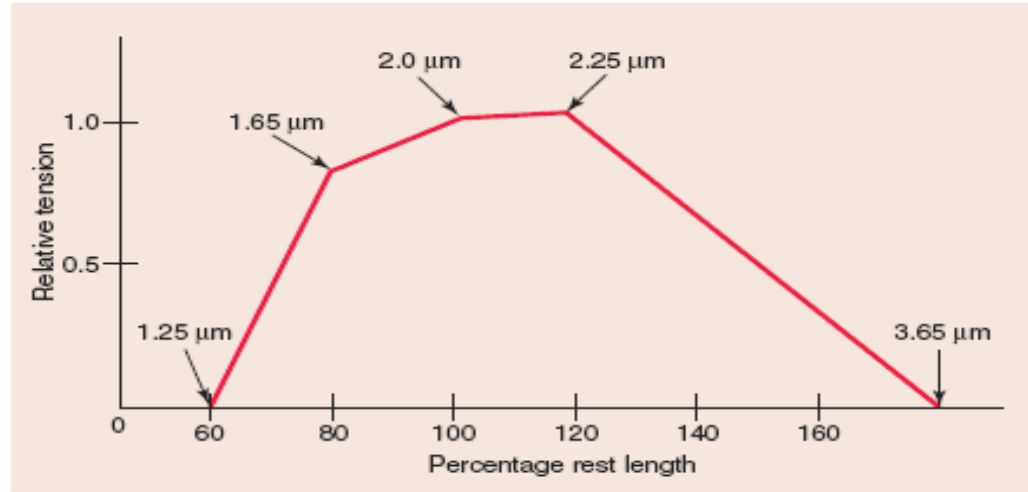
İzotonik Kontraksiyon

Konsentrik izotonik kontraksiyon



Eksentrik kontraksiyon

- Eksentrik kontraksiyon- kas uzarken kasılır.
- Kasın uzaması kasın fonksiyonu değildir, yük kasın oluşturduğu güçten (gerimden) fazla olduğu zaman görülen bir olaydır.



Kas Metabolizması: Enerji

Kas kontraksiyonu için direkt olarak kullanılan tek enerji ATP dir.

Mevcut ATP hidrolize edilip kullanılıncaya (4-5 saniye), 3 yolla yeniden kazanılır:

ADP, kreatin fosfat ile reaksiyona girerek ATP oluşur.

Depo glikojenden anaerobik glikolizis ile

Aerobik oksidasyon ile

Kas Yorgunluğu

Kas yorgunluğu –kasın fizyolojik olarak kasılamaması demektir.

Oksijenin sınırlı olduğu durumda ATP üretiminin ATP kullanımına yetişememesi demektir.

Laktik asit birikimi ve iyon dengesizliği de kas yorgunluğuna katkıda bulunan faktörlerdir.

Kas Aktivitesi Sırasında Isı Üretimi

Kas aktivitesi sırasında kullanılan enerjinin yalnızca % 40 bir iş yapmak için kullanılır.

Geri kalan % 60 ısı olarak ortama verilir.

Isı terlemeyle ve deriden radyasyon yoluyla vücuttan uzaklaştırılır.

Kas Kontraksiyon Gücü

Şunlardan etkilenir:

Uyarılan kas lifi sayısı – ne kadar çok motor ünite devreye girerse, kontraksiyon da o kadar güçlü olur.

Kas liflerinin çapı – Kas lifinin çapı ne kadar büyük olursa, kontraksiyon da o kadar güçlü olur.

Uyaranın frekansı-uyaran frekansı artıkça, kontraksiyon gücü de artar.

Kasın gerilme derecesi – kas lifi uzunluğu, normal istirahat uzunluğunun % 80-120 aralığında iken kontraksiyon gücü en fazladır (filament overlapi kontraksiyon gücünü azaltır).