

Kas Fizyolojisi



Kas Fizyolojisi

- ❑ Uyarılabilir hücreler olan kas hücreleri, zar yüzeyleri boyunca aksiyon potansiyelini iletebilme ve bu elektriksel değişikliği takiben mekanik olarak kasılma veya boylarını kısaltma yeteneğine sahiptir.
- ❑ Kasların kasılması ile; iskelet sisteminin hareketi, kanın kalpten damarlara pompalanması, kan damarlarının çaplarının değişmesi ve dolayısıyla damar sistemi içindeki kanın akım hızı ve basıncının düzenlenmesi, sindirim sistemindeki kimusun hareketi gibi olaylar gerçekleşmektedir.
- ❑ İnsan ve memeli hayvan organizmasındaki kas hücreleri; **iskelet kası**, **kalp kası** ve **düz kas** olmak üzere üç temel tipe ayrılmaktadır.

	 İskelet Kası	 Kalp Kası	 Düz Kas
Bulunduğu yer	İskelet kemiklerine tutunmuştur	Kalp	Boşluklu organların duvarı, kan damarları duvarı, solunum sistemi duvarı
Özelliği	Uzun silindirik şekilde, çok çekirdekli ve belirgin çizgili görünüme sahiptir.	Çizgili görünümde, tek çekirdekli, interkale diskler ile birbirine bağlanmış, dallı sinsityal yapı şeklinde	Düz görünümlü, uç kısımlarından incelmış ve dallanmış ağlar şeklinde
Kontrolü	Somatik sinirler ile istemli olarak kontrol edilir	İstem dışı çalışır, otonom sinirler, hormonlar, otokrin/parakrin ajanlar çalışmasını düzenler	İstem dışı çalışır, otonom sinirler, hormonlar, otokrin/parakrin ajanlar çalışmasını düzenler

İskelet Kası

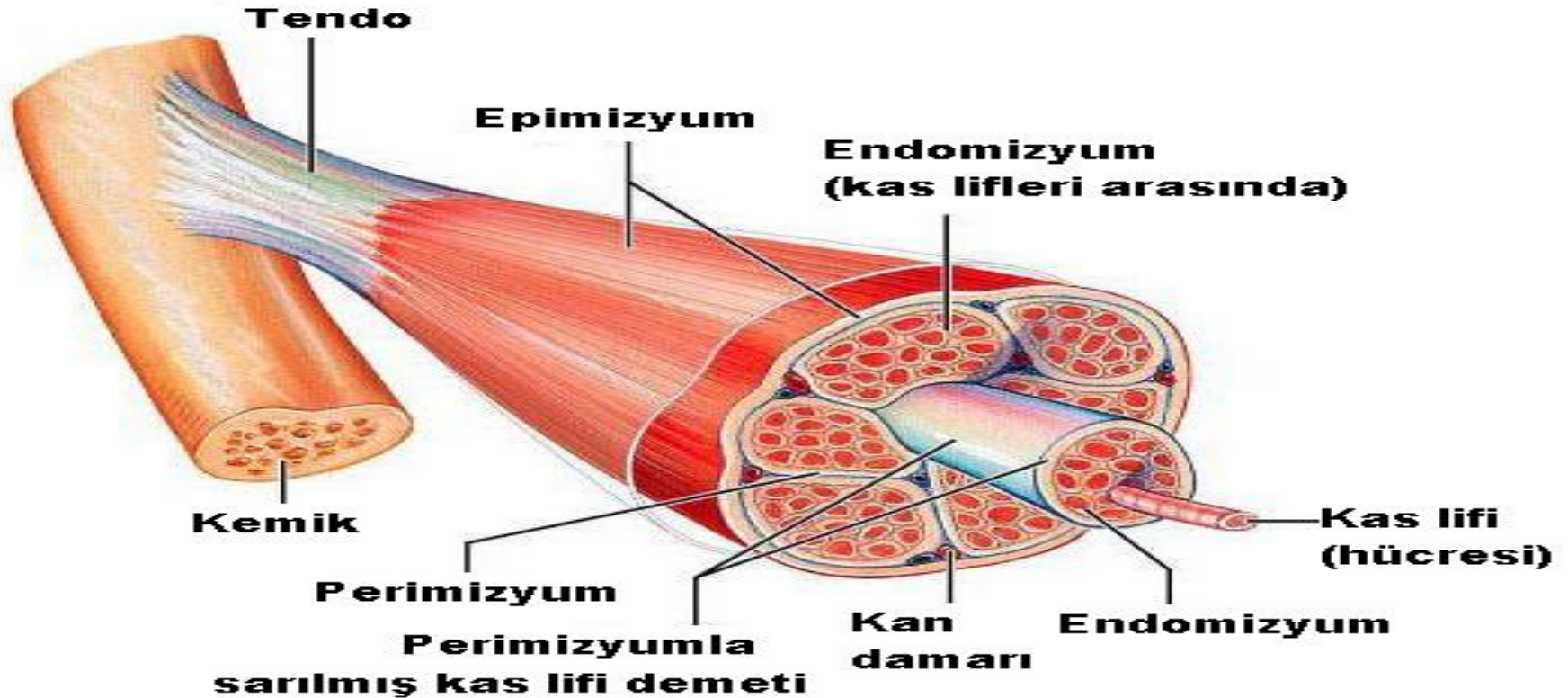
- ❑ Toplam vücut ağırlığının yaklaşık yarısını iskelet kasları oluşturmaktadır. İskelet kaslarının kasılması iskeletin desteklenmesi ve hareketini sağlar.
- ❑ İskelet kasları, **kas hücresi** veya **kas lifi** adı verilen hücre grubu ve bağ dokusundan oluşmaktadır. Embriyonal gelişim sırasında farklılaşmamış tek çekirdekli **miyoblast** denen hücrelerin birbirleriyle birleşmeleri sonucu çok çekirdekli kas lifleri (hücreleri) oluşur. Oval çekirdekler genellikle periferde hücre zarının hemen altında bulunur. Bu özelliği ile de diğer kas tiplerinden ayrılır.

İskelet Kası

- ❑ Doğuma yakın dönemde farklılaşma tamamlanır, bebeklikten yetişkinliğe kadar kas hücreleri sadece boyutsal olarak gelişir. Yetişkin insanlarda 10-100 μm çapında 20 cm varan uzunluktadır.
- ❑ İskelet kası lifleri parçalanırsa sağlam kalanlar bölünerek yeni hücreler oluşturamaz. Ancak kas dokusunda bulunan ve embriyonal miyoblastlara benzeyen satelit hücreleri bölünerek sınırlı bir düzeyde yeni kas hücreleri oluşturabilir. Doğum sonrası kas dokusu kayıplarında asıl kompenzasyon sağlam kas liflerinin hipertrofisi ile gerçekleşir.

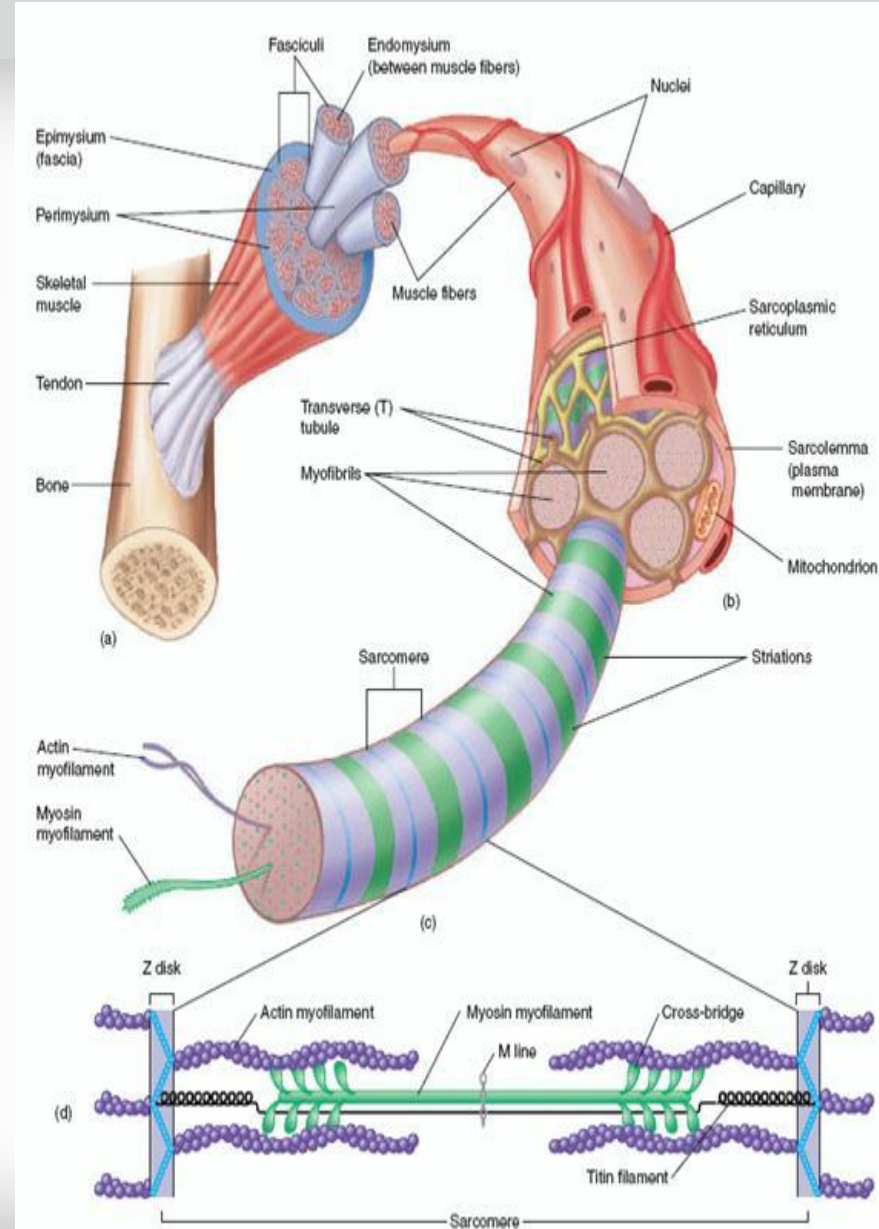
İskelet Kası

- ❑ Kaslar genellikle iskelet sisteminin iki eklemi arasında, kemiklerin iki ucuna veya başka bir kasa bağ dokusundan oluşan ve tendon adı verilen yapılar aracılığı ile tutunmuştur.



İskelet Kası

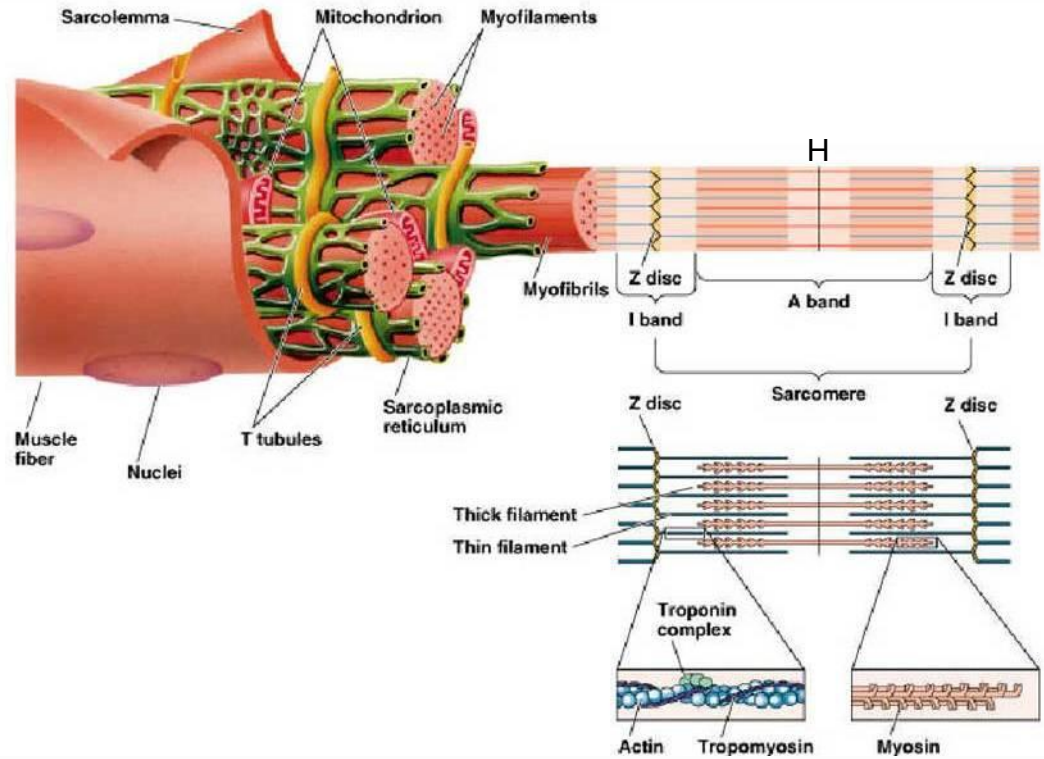
- Uzun ve silindirik şekildeki iskelet kası lifleri çok sayıda çekirdek içerir. Hücrelerin içinde **sarkoplazmik retikulum** ile çevrelenmiş **miyofibril** adı verilen çok sayıda silindirik yapı bulunur. Her bir kas lifi birkaç yüz ile birkaç bin arasında miyofibril içerir. Miyofibriller ise çok sayıda **sarkomer**'den oluşmuştur. Sarkomer kasılma işini yapan en küçük birimdir. Yapısını, ince ve kalın filamentler olarak tanımlanan, protein yapısında **miyofilamentler** oluşturur. Sarkomeri oluşturan **kalın filament miyozin**, **ince filament** ise **aktin** proteinden oluşmaktadır. Her bir miyofibril 1500 miyozin, 3000 aktin filamenti içerir. Miyofilamentlerin yerleşim düzeni, iskelet kas hücrelerine mikroskop altında **çizgili görünüm** kazandırmaktadır.



İskelet Kası

❑ Aktin filamentleri sarkomerin iki ucunda, miyozin filamentler ise orta bölgede yerleşmiştir. Sarkomerin her iki ucunda yerleşmiş olan aktin filamentlerinin başlangıç bölgeleri Z çizgisi olarak isimlendirilir. İki Z çizgisi arasındaki yapıya **sarkomer** denir.

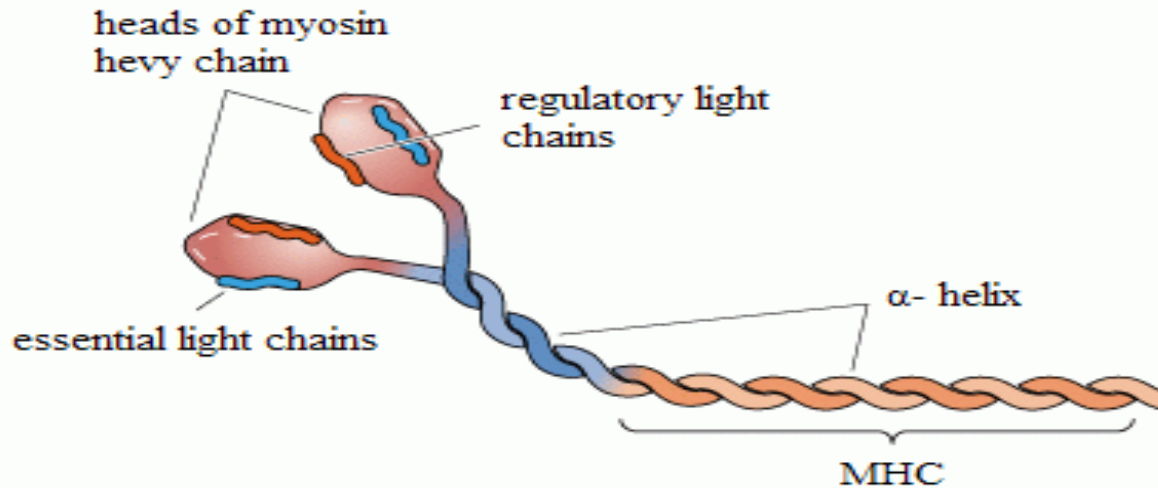
❑ Her sarkomerin uç kısmında Z diskleri denen bağlayıcı proteinlere ince filamentler tutunmuştur. I bandı Z diskleri ile ikiye bölünmüştür. H bölgesi A bandının ortasındaki açık renkli kısımdır. H bölgesinin ortasında ise M çizgisi bulunur. Bu çizgiyi iki miyozin filamentini birbirine bağlayan protein oluşturur.



❑ Z diski ile M çizgisi arasında uzanan, miyozin üretiminde kalıp rolü oynayan ve miyozin filamentlerinin düzenli dizilimini mümkün kılan elastik protein **TİTİN** organizmadaki en büyük proteinlerden birisidir (MA: 3.000.000 Dalton).

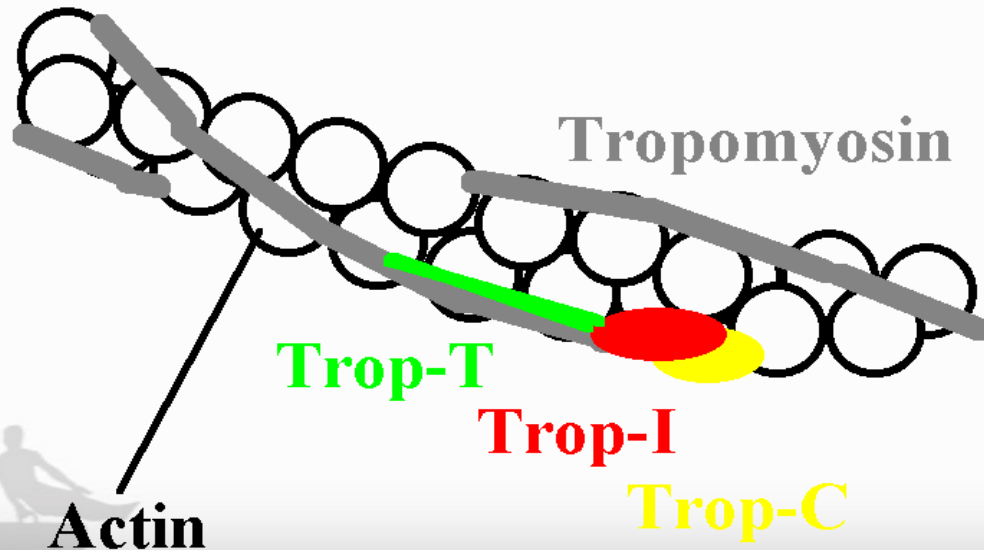
Kalın Filament (Miyozin)

- ❑ Miyozin filamenti, ağırlıkları 480.000 olan yaklaşık 200 miyozin molekülünden oluşmuştur. Miyozin molekülü ise herbirinin molekül ağırlığı 200.000 olan 2 ağır zincir ile molekül ağırlığı 20.000 olan 4 hafif zincirden oluşur. İki ağır zincir birbirini etrafında spiral olarak sarılır. Bu zincirlerin herbirinin ucu kıvrılarak **miyozin başını** oluşturur. Böylece çift sarmal miyozin molekülünün bir ucunda 2 serbest baş vardır, sarmalın devam eden bölümü kuyruk adını alır.
- ❑ Miyozin başlarının en önemli özelliği ATPaz aktivitesine sahip olmasıdır.



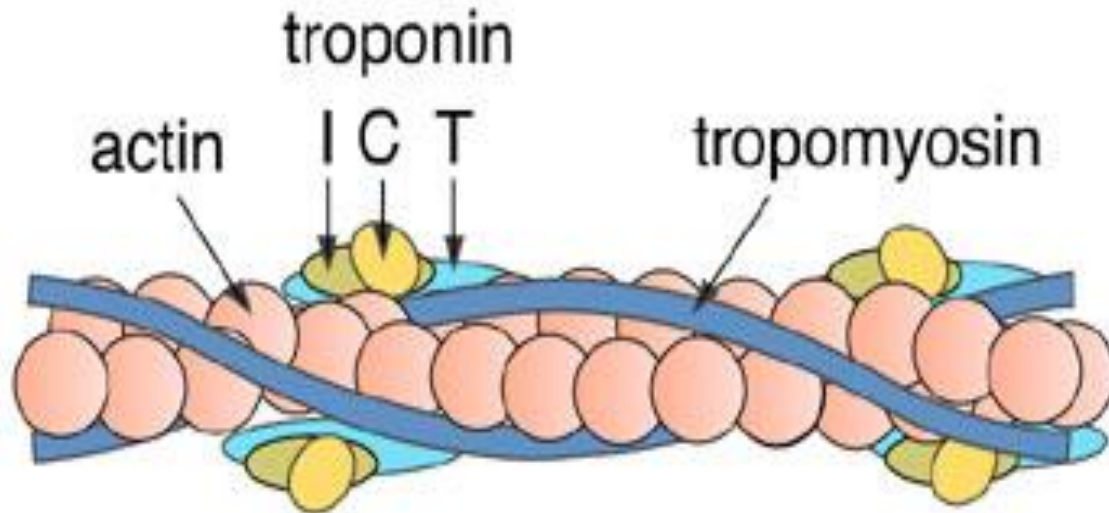
İnce Filament (Aktin)

- Aktin filamenti **F-aktin**, **tropomiyozin** ve **troponin** isimli 3 protein bileşeninden oluşmuştur. Aktin filamentinde, 2 adet fibriler F-aktin ipliği miyozindekine benzer şekilde çift sarmal oluşturur. Çift F-aktin sarmalındaki ipliklerin her biri, moleküler ağırlığı 42.000 olan globüler aktinden oluşur. Sarmalın her ipliğinin bir döngüsünde G-aktinden 13 tane vardır ve her G-aktin molekülüne bir ADP molekülü tutunmuştur. ADP molekülleri, kas kasılması sırasında aktin filamentinin miyozin başları ile etkileştiği yerlerdir.



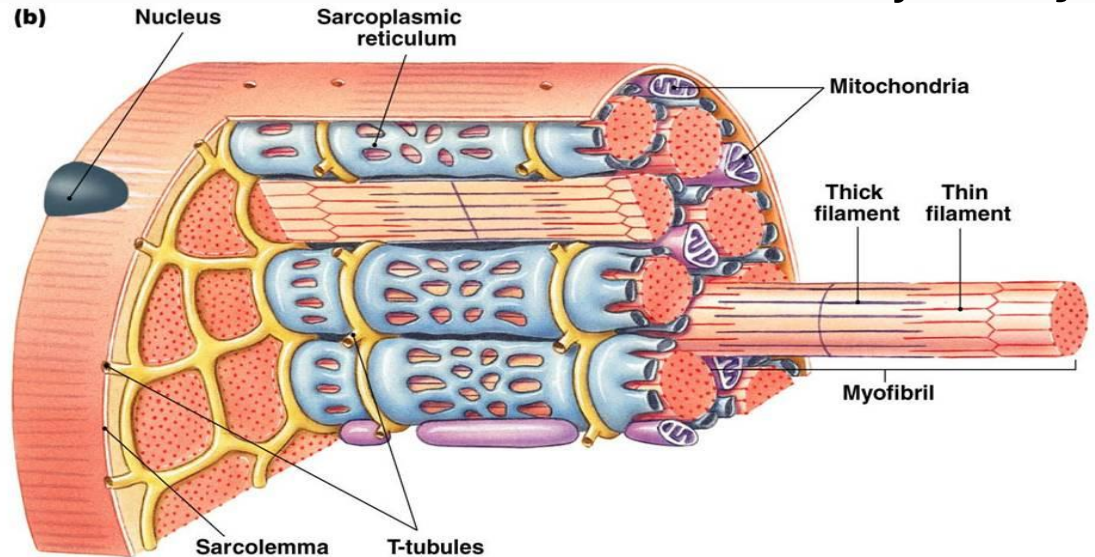
İnce Filament (Aktin)

- ❑ **Tropomiyozin** molekülünün moleküler ağırlığı 70.000 ve uzunluğu 40 nm'dir. Bu moleküller F-aktin ile zayıf bir şekilde birleşir ve F-aktin sarmalının kenarında spiral olarak bulunur. Tropomiyozin, dinlenim sırasında aktin ipliklerinin aktif bölgelerini (ADP'leri) kapatıp aktin ile miyozin arasındaki çekimi engeller.
- ❑ Troponin, zayıf bağlı 3 protein alt biriminden oluşan bir komplekstir. Bu alt birimler: **Troponin I** (aktin için), **Troponin T** (tropomiyozin için), **Troponin C** (Ca^{++} iyonları için kuvvetli affiniteye sahiptir). Bu kompleks tropomiyozini aktine bağlar.



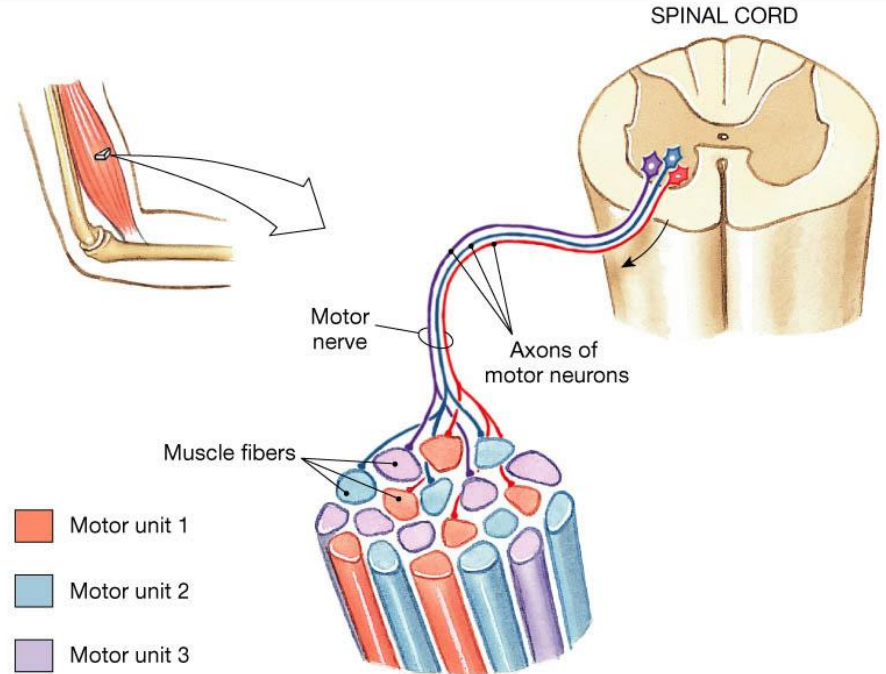
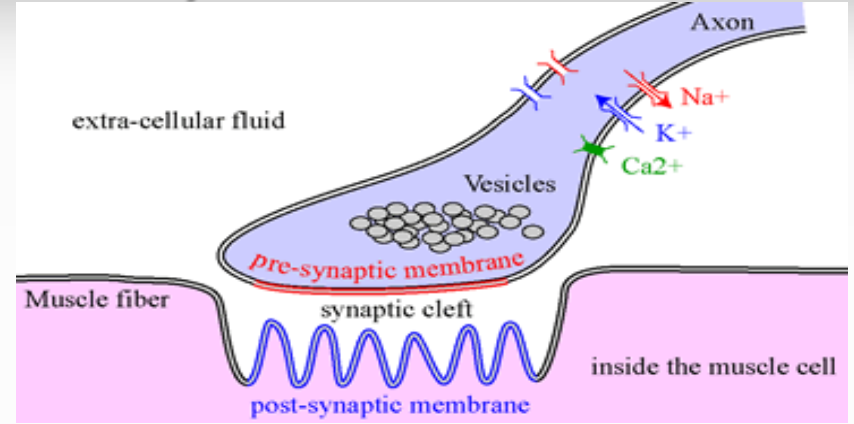
Sarkoplazmik Retikulum ve T-Tübül Sistemi

- ❑ İskelet kas hücreleri çok büyük olduğundan sinir-kas kavşağından başlayan depolarizasyonun tüm hücreye hızla yayılması için T-tübül sistemi gelişmiştir. Kas hücresinin sarkolemması (zarı), hücre içine doğru parmak şeklinde girintiler yaparak, kompleks bir tübül ağı (T tübüleri) oluşturur.
- ❑ T tübüleri ile sarkoplazmik retikulum yan keseleri yakın ilişki içerisindedir. Hücre içindeki sarkoplazmik retikulumun T tübülerine komşu kenarları genişler (yan keseler) ve T-tübüller ile birlikte **triad** denilen sistemi oluşturur. T tübüllerinin depolarizasyonu ile sarkoplazmik retikulumda depo edilen Ca^{++} hücre içine miyofibrillerin yüzeyine salınır, ortamda Ca^{++} miktarının artması kasın kasılmasına yol açan mekanizmayı başlatır.



Sinir-Kas Bağlantısı (Motor Ünite)

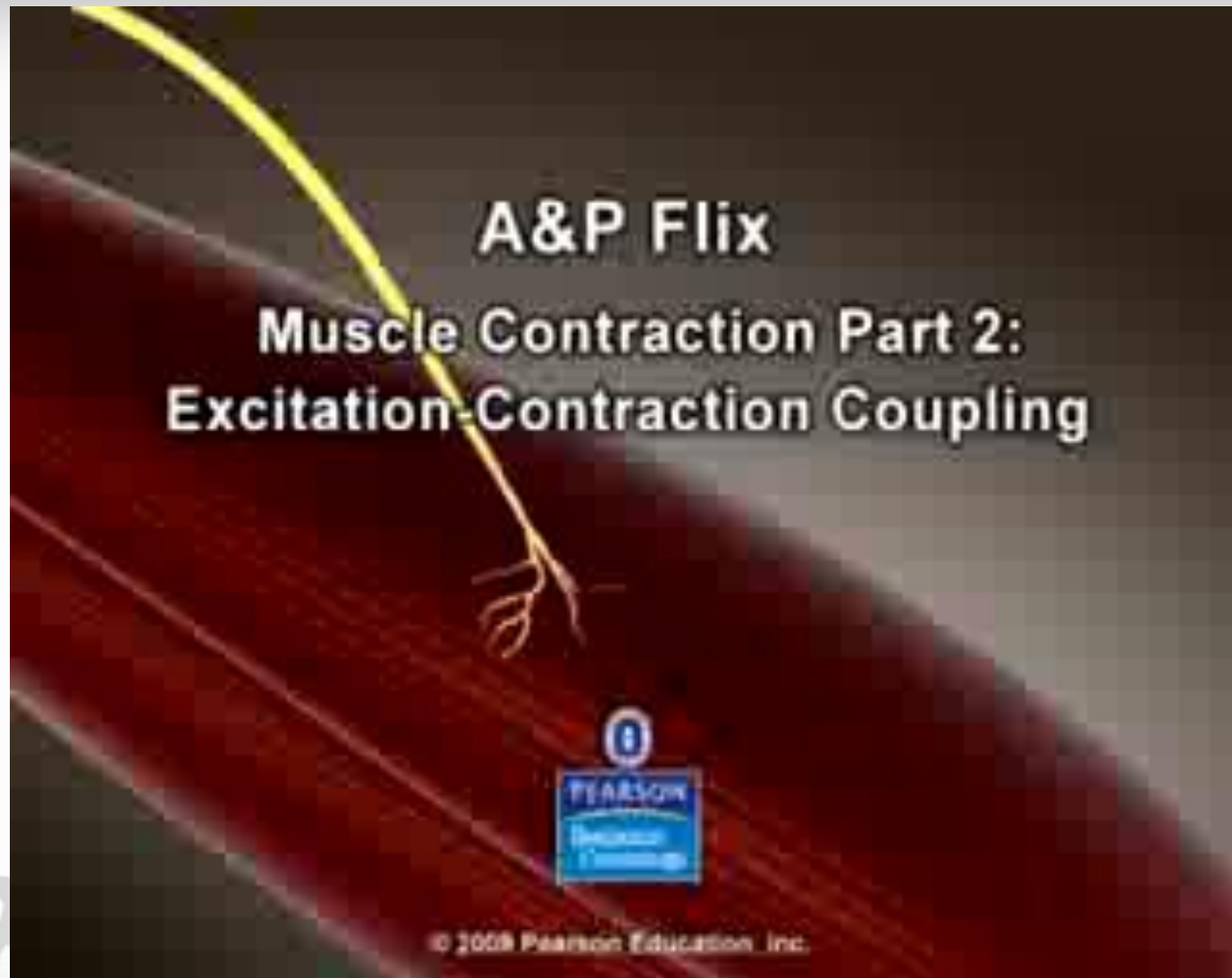
- ❑ Her bir kas lifi bir motor sinir ucu ile bağlantılı olmak zorundadır.
- ❑ Bir motor nöron ve onun innerve ettiği kas lifleri beraberce **motor ünite** olarak isimlendirilir.
- ❑ Bir motor sinir lifi aynı anda çok sayıda kas lifini uyarabilir.
- ❑ İnsanlarda bir motor ünite 6-30 kas lifinden oluştuğu gibi (göz kasları), 1000 den fazla kas lifinden de oluşur (güçlü bacak kasları).



Kas Kasılmasının Oluşum Basamakları

- ❑ Uyarılmayı takiben kasılmanın oluşması, uyarılma ve kasılma gibi iki farklı mekanizmanın birbiriyle eşleşmesine bağlıdır (**Uyarılma-Kasılma Çiftlenimi**). Uyarılma ile kasılma arasındaki eşleşme Ca^{2+} iyonları tarafından yapılmaktadır. Bu şöyle olur:
- ✓ Aksiyon potansiyeli motor sinir boyunca kas lifindeki sonlanmasına kadar yayılır. Sinir ucundan **asetilkolin** salınır.
 - ✓ Asetilkolin, kas lifi membranında belli bir alanda etkili olur ve membrandaki asetilkolin kapılı **Na^+ kanalları açılır.**
 - ✓ Bu kanalların açılması, sarkolemmadan çok sayıda Na^+ 'un içeri girmesini ve **kas lifinde aksiyon potansiyelini başlatır.**
 - ✓ Aksiyon potansiyeli kas lifi boyunca yayılır. Sarkolemma depolarize olur ve depolarizasyon T-tübüller ile kas lifi içine doğru yayılır, bu durum **sarkoplazmik retikulumdan çok miktarda Ca^{++} 'un serbestlenmesine yol açar.**
 - ✓ **Ca^{++} iyonları aktin ve miyozin filamentleri arasındaki çekici güçleri başlatır.**
 - ✓ Sonra Ca^{++} iyonları saniyenin bölümleri içinde **sarkoplazmik retikuluma geri pompalanır**, burada depolanır, **bu da kasılmayı sona erdirir.**

İskelet Kasında Kasilma



Kas Kasılmasının Oluşum Basamakları

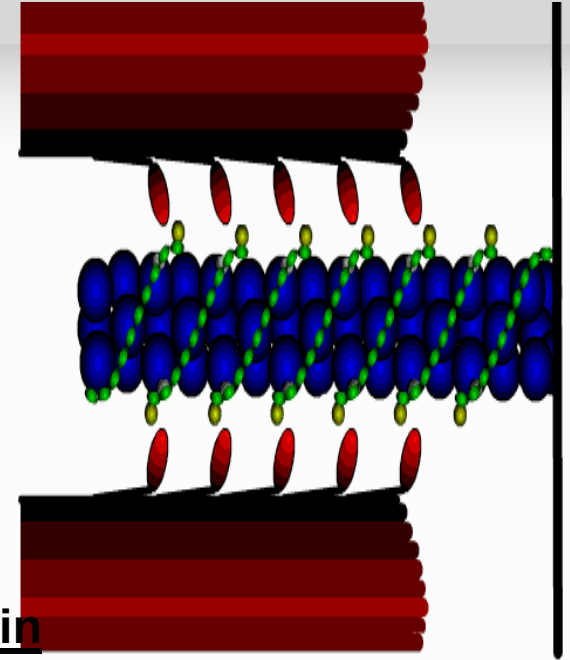
❑ Kas kasılması Kayan Filamentler Teorisine göre olur. Kas kasılması sırasında sarkomer içindeki aktin ve miyozin filamentleri birbirini üzerinde kayar, sarkomerin boyu kısalır, ancak filament boyu değişmez.

I. Kasılmadan önce miyozin başlarına ATP bağlanır ve miyozin başlarının ATPaz aktivitesi nedeniyle ADP ve Pi'ye yıkımlanır. Bu durumda miyozin başları enerjilendirilmiş ve sıkıştırılmış yay gibi aktine bağlanmak için beklemektedir.

II. Kas hücresi uyarılıp sarkoplazmik retikulumdan bol miktarda Ca^{++} salınınca, bu kalsiyum iyonları Troponin C molekülleri ile birleşir. Bunun sonucunda troponin kompleksi şekil değişikliğine uğrar ve tropomiyozin ipliğini 2 aktin zinciri arasına çeker.

IV. Aktinin aktif bölgeleri açığa çıkar. Aktin filamenti aktive olur olmaz, miyozin filamentinin çapraz köprü başları aktin filamentinin aktif bölgelerine bağlanır ve GÜÇ VURUMU denen olayla aktin filamentlerini sarkomerin merkezine doğru çeker. Bu olay kasın kasılmasına yol açar.

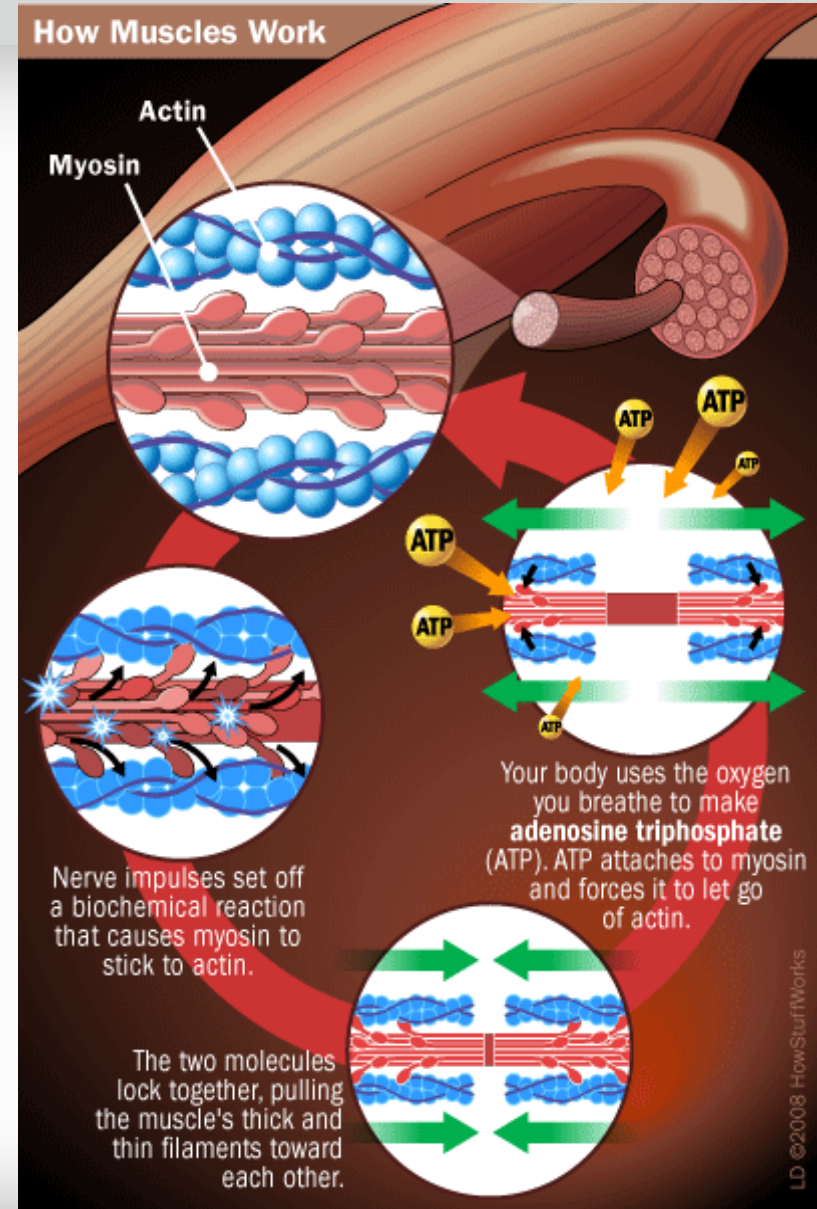
V. Güç vurumu sonrası miyozin başındaki ADP ve Pi serbest bırakılır. Miyozin başına yeni bir ATP bağlanır. Bu bağlanma miyozin başının aktinden ayrılmasına neden olur.



The action potential inhibits the calcium pumps, and calcium escapes from the sarcoplasmic reticulum.

Kasılmada Kullanılan Enerjinin Kaynağı

- ❑ Kas kasılması için ATP enerjisi kullanılır. Bu ATP:
 - ✓ Büyük oranda miyozin başlarının aktin filamentlerine bağlanıp **güç vurumu (boyunca yürüme) mekanizmasında**
 - ✓ **Miyozin başının aktinden ayrılması için** yeni bir ATP'nin miyozin başına bağlanması gerekir (Allosterik düzenleme). Bu sayede döngü tekrarlanabilir.
 - ✓ Kasılma sonrası **Ca⁺⁺'un sarkoplazmik retikulumu geri pompalanması için** (yani kasılmanın sonlandırılması için)
 - ✓ Kas hücresinde uygun **Na-K gradientini yeniden tesis etmek** ve yeni bir aksiyon potansiyeline hazır olmak için kullanılır.



Kasılmada Kullanılan Enerjinin Kaynağı

- ❑ Kas lifinde yaklaşık 4 mM ATP depo edilmiştir. Bu depo ATP sadece 1-2 saniyelik bir kas kasılmasına yetebilir.
- ❑ Yıkımlanan ATP'den açığa çıkan ADP'yi fosforile ederek (Pi bağlayarak) tekrar ATP üretmek için fosfokreatin kullanılır. Ancak kastaki fosfokreatin miktarı depo ATP miktarının sadece 5 katıdır. Yani fosfokreatin 5-8 s'lik ilave bir kasılma sağlayabilir.
- ❑ Hem ATP hem de fosfokreatini yeniden oluşturmak için kasta depo edilmiş glikojen glükoliz yoluyla yıkılır. Glükoliz sürecinde oksijene gereksinim duyulmaz, bu da oksijenin olmadığı durumlarda kas kasılmasını devam ettirir. Oksidatif fosforilasyona kıyasla 2,5 kat daha hızlı enerji (ATP) elde edilir. Ancak aktif kasta biriken metabolizma artıkları glükolizin sadece 1 dak. devam etmesine yol açar.
- ❑ Kasılmada son enerji elde yöntemi oksidatif fosforilasyondur. Organik maddeler (karbonhidrat, yağ ve proteinler) oksijenle yıkılır, açığa çıkan enerji kasılmada kullanılır.

Kasta Yorgunluk

- ❑ İskelet kasları sürekli uyarılırsa bir süre sonra kasta gerim düşer ve kas çalışamaz hale gelir. Buna kas yorgunluğu denir. Yorgun bir kas lifinde kısalma ve gevşeme hızı da yavaşlar. Yorgunluk kas lifi tipine, aktivitenin şiddetine, süresine ve canlının kondüsyonuna bağlı olarak değişir.
- ❑ Kasta yorgunluğa ATP tükenmesinin yol açtığı mantıklı gibi görülse de, gerçekte yorgun olmayan ve yorgun kas lifleri arasında ATP konsantrasyonu açısından bariz bir fark yoktur. Yorgun kasta ATP tükenmiş olsaydı miyozin başı aktinden ayrılamaz ve ölümden sonra görülen rigor mortise benzer bir durum ortaya çıkardı. Bu durum da kaslarda ciddi hasar oluştururdu. **Kaslarda yorgunluk aslında kasları hasardan koruyan fizyolojik bir mekanizmadır.**

Kasta Yorgunluk

- ✓ **GLİKOJENİN TÜKENMESİ:**
- ✓ **SİNİR-KAS KAVŞAĞINDA İLETİMİN AZALMASI:**
- ✓ **KASTA KAN DOLAŞIMININ BOZULMASI, OKSİJEN VE BESİN YETERSİZLİĞİ:**
- ✓ **İLETİMİN BOZULMASI:** Tekrarlayan aksiyon potansiyelleri T-tübüllerde K^+ iyonlarının birikmesine yol açar. Bu durum iletimi bozar. Kas dinlenince potasyum iyonları tekrar hücre içine pompalanır ve uyarılabilirlik tekrar sağlanır.
- ✓ **LAKTİK ASİT GİBİ METABOLİTLERİN BİRİKMESİ:** Hücre içi yüksek H^+ konsantrasyonu protein ve enzimlerin işlevini bozar. Sarkoplazmik retikulumdaki Ca^{++} -pompası etkilenir. Yorulmuş kasta bu nedenle gevşeme de yavaşlamıştır.
- ✓ **ÇAPRAZ KÖPRÜ DÖNGÜSÜNÜN BASKILANMASI:** Yorgun kasta ADP ve P_i birikir. Bunlarda miyozin başlarının aktinden ayrılmasını geciktirerek tüm döngü hızını yavaşlatır. Yorulmuş kastaki bozulmuş gevşeme ve azalmış kısalma hızı bu durumun bir göstergesidir.

Kas Lifi Tipleri

- ❑ İskelet kasları farklı metabolik ve fonksiyonel özelliklere sahip kas liflerinin bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Kasların hepsi aerobik ve anaerobik metabolizma özelliklerine sahip olsalar da bazı kas lifleri ve o liflerin bulunduğu kaslarda metabolik özelliklerin birisi daha gelişmiştir (aerobik yada anaerobik).
- ❑ Aerobik metabolik özelliği yüksek liflere **Tip I, kırmızı** yada **yavaş kasılan kas lifleri**, anaerobik metabolik özellikleri yüksek olan liflere de **Tip II, beyaz** yada **hızlı kasılan kas lifleri** denir. Tip II kendi içerisinde **Tip II a** ve **Tip II b** olarak iki gruba ayrılmaktadır.

Tip I (Yavaş Lifler, Kırmızı Kas)	Tip II (Hızlı Lifler, Beyaz Kas)
İncedir	Kalındır
Yavaş kasılır (17 mm/s)	Hızlı kasılır (42 mm/s)
Enerjisini daha çok aerobik metabolizmayla sağlar. Bu nedenle oksijene gereksinim duyar. Yeterli oksijeni temin edebilmek için kan damarları iyi gelişmiştir.	Hızlı kasılım hızlı metabolik yolu ve çabuk enerji elde etmeyi gerektirir. Bu nedenle anaerobik metabolizmayı kullanır, glikolitik enzimleri iyi gelişmiştir, enerjini glikolizden sağlar, fazlaca glikojen depo etmiştir
Yorgunluğa dirençlidir, uzun süre yorulmadan çalışabilir	Hızlı kasılım hızı hızlı Ca^{++} salınımını gerektirir. Bu nedenle sarkoplazmik retikulumu iyi gelişmiştir
Fazlaca miyogloblin taşır, rengi de bu yüzden kırmızıdır	Oksidatif metabolizma çok önemli olmadığından kan damarları iyi gelişmemiştir
Yüksek oksidatif metabolizması nedeniyle bol miktarda mitokondri içerir	Daha az miyogloblin ve mitokondriye sahiptir. Bu nedenle beyaz renkte görülür

Quadriseps Kasındaki Tip I ve Tip II Kas Lifi Oranları

	Tip II	Tip I
Maratoncular	18	82
Yüzücüler	26	74
Ortalama birey	55	45
Halterciler	55	45
Sürat koşucuları	63	37
Atlayıcılar	63	37

Quadriseps Kasındaki Tip I ve Tip II Kas Lifi Oranları

✓ Tip I liflerin oranının artması oksijen kullanım kapasitesini, yani aerobik güç ve dayanıklılığı artırırken, Tip II liflerin oranının artması ile anaerobik güç ve dayanıklılık artar. Güç ve sürat gerektiren sporlarda Tip II liflerin fazlalığı, dayanıklılık gerektiren sporlarda ise Tip I liflerinin fazlalığı avantajdır.

✓ **Antrenmanlarla liflerin sayısı değişir mi?** Liflerin sayısı artmaz, yapılan antrenman tipine göre metabolik kapasiteleri (damarlanma, mitokondri sayısı, enzimler, vs.) yükselir ve oranları değişir. Liflerin sayısı doğuştan genetik olarak belirlenir.

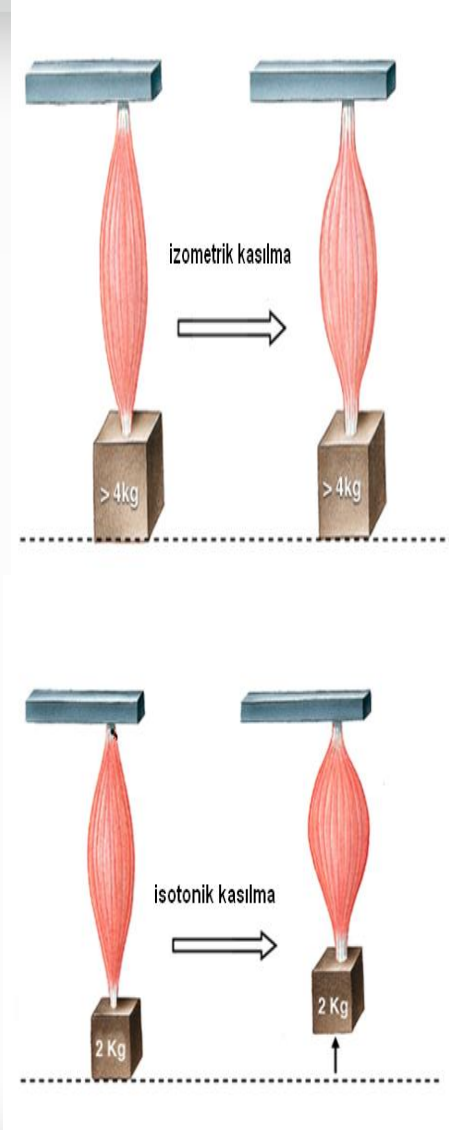
Kasılma Çeşitleri

❑ Kasılan bir kasın bir nesne üzerine uyguladığı kuvvete **gerim**, nesnenin kasa uyguladığı kuvvete ise **yük** denir. Kas gerimi ve yük zıt kuvvetlerdir. Kas lifinin boyunun kısalıp-kısalamayacağı bu iki zıt yönlü kuvvetin büyüklüğüne bağlıdır. Kasın kısalması ve yükü hareket ettirmesi gerimin yükten büyük olmasını gerektirir.

✓ **İzometrik kasılma:** Bir kas gerim oluşturduğu halde boyu kısalıyorsa izometrik kasılma yapıyordur. İzometrik kasılmada yük kası için sabit bir pozisyonda tutuluyordur veya yük, kas geriliminden daha büyüktür.

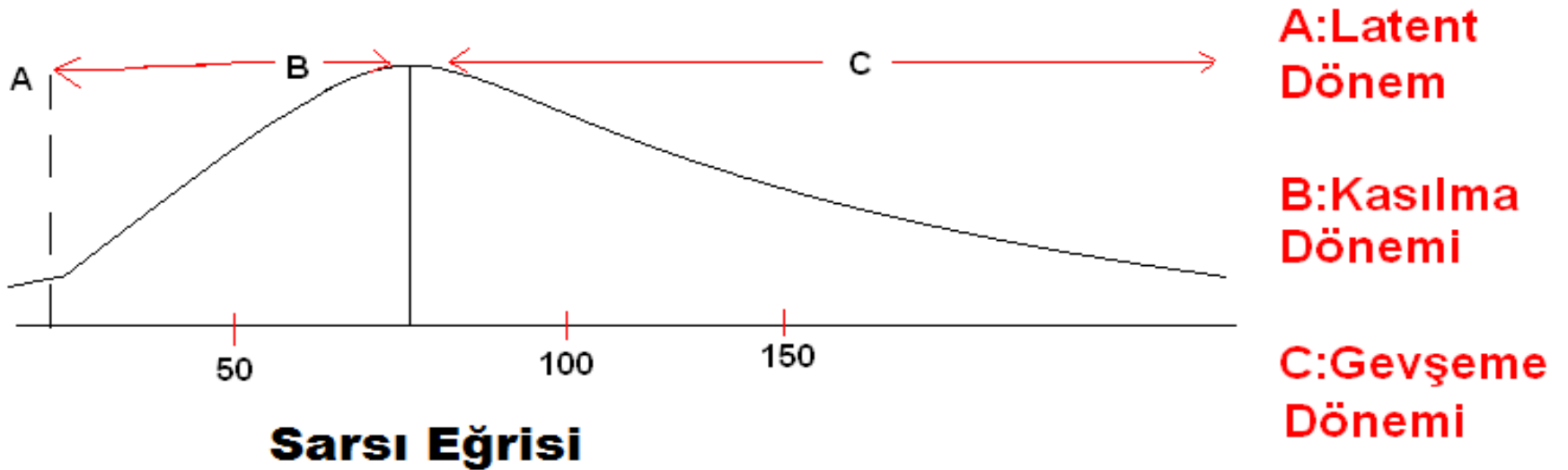
✓ **İzotonik kasılma:** Sabit bir yüke ve gerime karşı kasın boyunun kısalması ile karakterize kasılma türüdür.

✓ **Eksantrik kasılma:** Bu kasılma şekline uzama kasılması da denir. Eğer yük kasın oluşturduğu gerimden çok daha büyük ise kasılma sırasında kasın boyu da uzar. Örneğin sandalyeye otururken diz ekstensör kasları uzayarak kasılır.



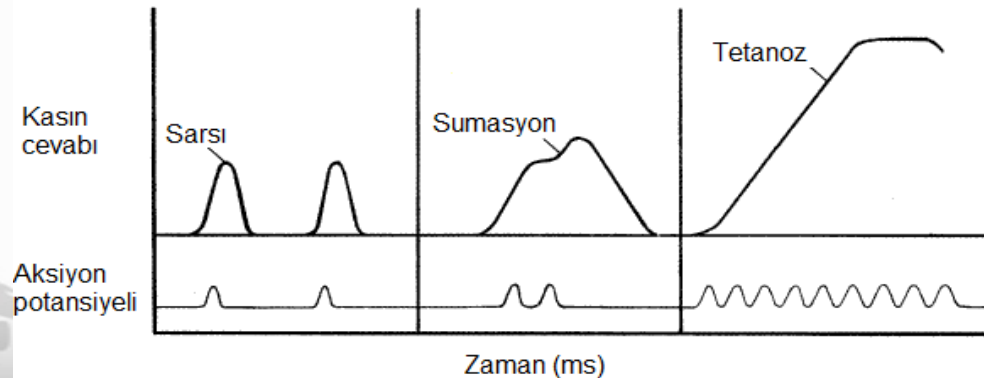
Sarsı Eğrisi

- ❑ Bir kas lifinin tek bir aksiyon potansiyeline verdiği mekanik yanıtı SARSİ denir. Bir sarsı eğrisinde 3 dönem göze çarpar.



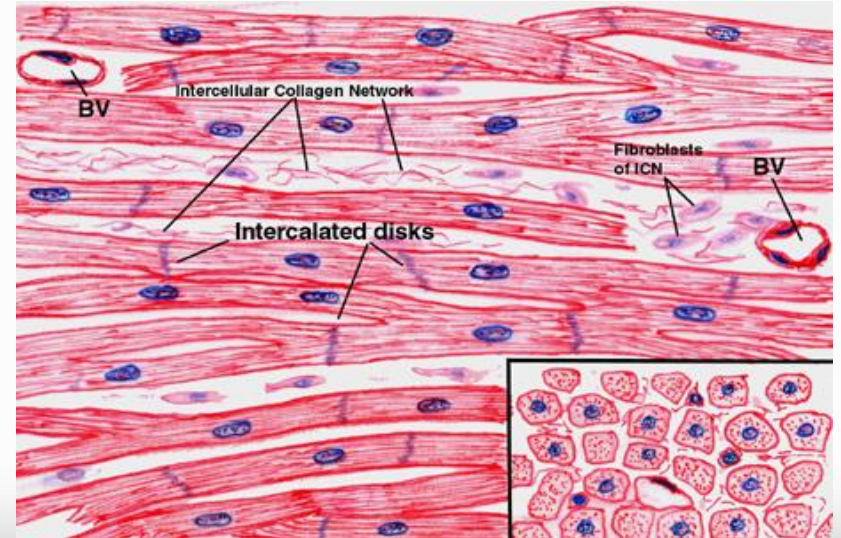
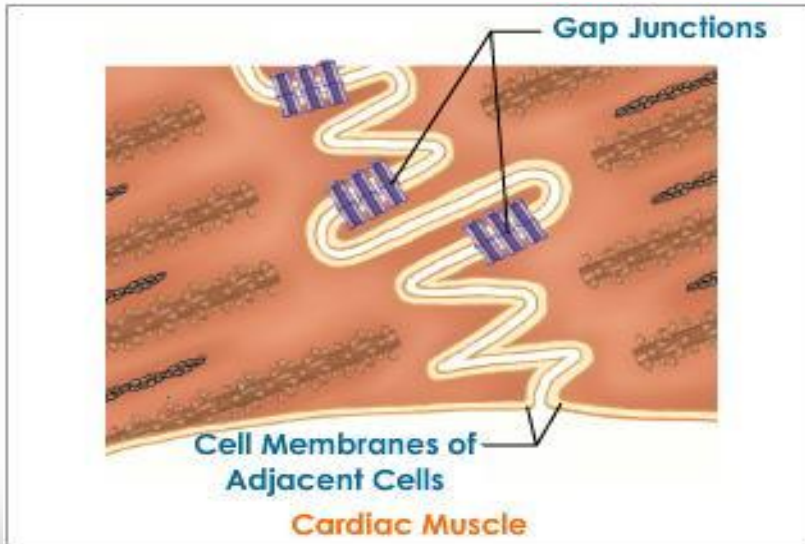
İskelet Kasının Özellikleri

- ❑ **Hep yada Hiç Yasasına Uymaz:** İskelet kas demeti (tek kas lifi değil) hep yada hiç yasasına uymaz. Çünkü her bir kas lifinin eşik değeri farklıdır.
- ❑ **Merdiven Olayını Gösterir:** Kas demetinde çok sayıda kas lifi bulunduğundan şiddeti artan uyarılara karşı kasta gücü artan kasılmalar görülür (tüm lifler kasılınca sabit bir maksimum düzeye ulaşır).
- ❑ **Sumasyon gösterir:** Kas lifinde aksiyon potansiyeli (AP) 1-2 ms, sarsı ise 100 ms kadar sürer. Bu nedenle kasılma sırasında ikinci bir AP'i oluşturulabilir. Birbirini izleyen AP'lerinin kas geriliminde oluşturduğu artışa sumasyon yada süper pozisyon denir.
- ❑ **Tetanoz gösterir:** Kas lifine eşik değerin üzerinde birbirini izleyen (yüksek frekanslı) uyarılar verilirse kas kasılı kalır. Buna tetanoz yada tetanus denir. Uyarı frekansı yeterince sık değilse kas lifi kısmen gevşer ve kas geriliminde tekrarlayan uyarılara karşı inişler-çıkışlar meydana gelir. Buna **tam olmayan (dişli) tetanoz** denir. Eğer uyarı frekansı kasın hiç gevşemesine müsaade etmeyecek kadar sıkırsa kas sürekli kasılı kalır. Buna ise **tam tetanoz** denir.



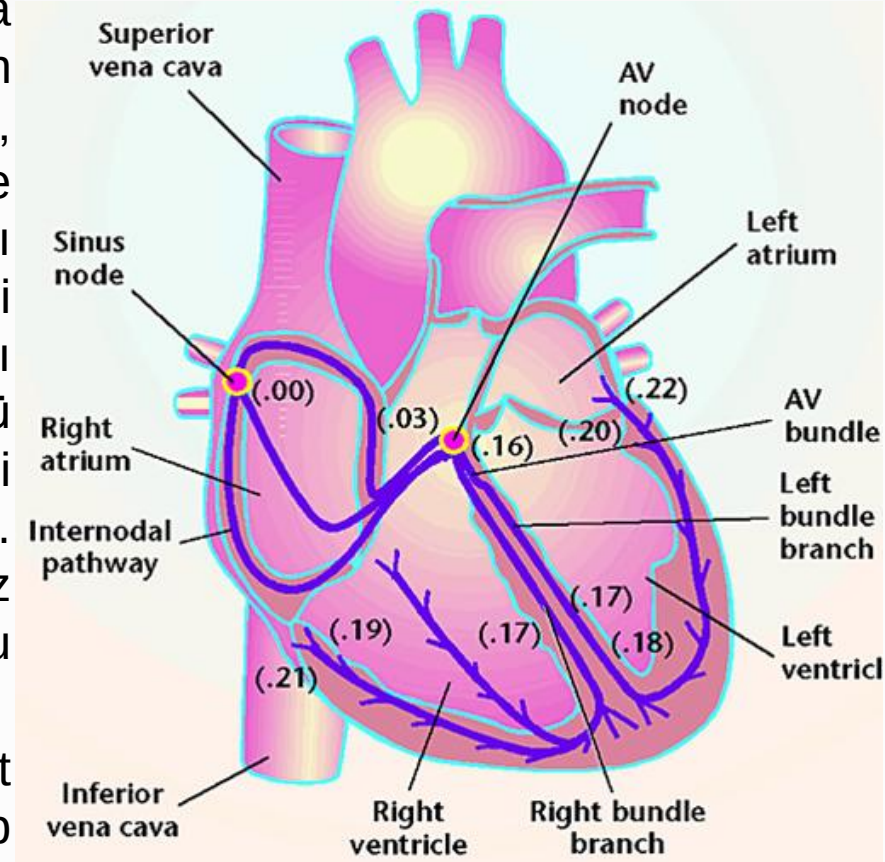
Kalp Kası

- ❑ İskelet kasları gibi çizgili görünümüne sahip kalp kası, fonksiyonu ile özdeş bazı önemli farklılıklara sahiptir. Bunlardan birincisi; hücrelerin dallanmalar göstermesi ve belli bölgelerde özelleşmiş yapılar aracılığı ile birbirlerine bağlanmış olmasıdır (**sinsityal yapı**). Bağlantı bölgeleri, bir hücredeki aksiyon potansiyelinin diğer bir hücreye kolayca geçişini ve tüm kalp kasına yayılmasını sağlar. Böylece kalp kasını oluşturan liflerin aynı anda kasılması ve kalbin etkin bir pompa olarak çalışmasını mümkün kılar.
- ❑ Kalp kasının ikinci ve en önemli özelliği, kendi uyarılarını kendisinin oluşturması ile ritmik kasılmalar yapmasıdır. Diğer bir deyişle kalp kası bir otonomiye sahiptir ve uyarabilmesi için iskelet kaslarında olduğu gibi sinirsel impulsa gereksinimi yoktur. Bu amaç doğrultusunda kalp kasının bazı hücreleri özelleşerek aksiyon potansiyelini doğuran ve ileten bir sistem oluşturmuştur. Bu sisteme kalbin uyarı ve ileti sistemi adı verilmektedir.



Kalp Kası

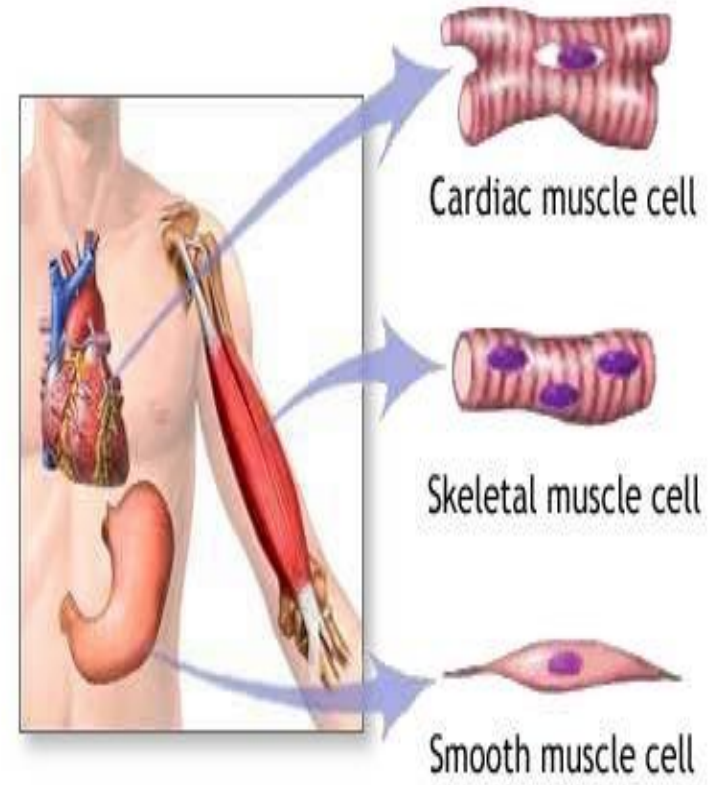
- ❑ Kalp kasında kasılmanın başlaması için sinirsel impulsa gereksinim olmamakla birlikte tamamen sinir sisteminden bağımsız bir organ da değildir. Kalp kası, otonom sinir sisteminin sempatik ve parasempatik sinirleri ile bağlantı halindedir. Bu otonom sinirlerin görevi kalbin kendi kendine oluşturduğu uyarı sayısını ve kalp kasının kasılma gücünü organizmanın gereksinimleri doğrultusunda artırmak veya azaltmaktır. Örneğin, kalp atım sayısının egzersiz sırasında artması, dinlenme veya uyku sırasında azaltılması gibi.
- ❑ Kalp kasının kasılma mekanizması iskelet kasına benzer, ancak önemli bir fark, kalp kasının kasılma sırasında hücre içindeki Ca^{2+} iyonlarına ilaveten **hücre dışından gelen Ca^{2+} iyonlarını da kullanmasıdır.**



Düz Kas

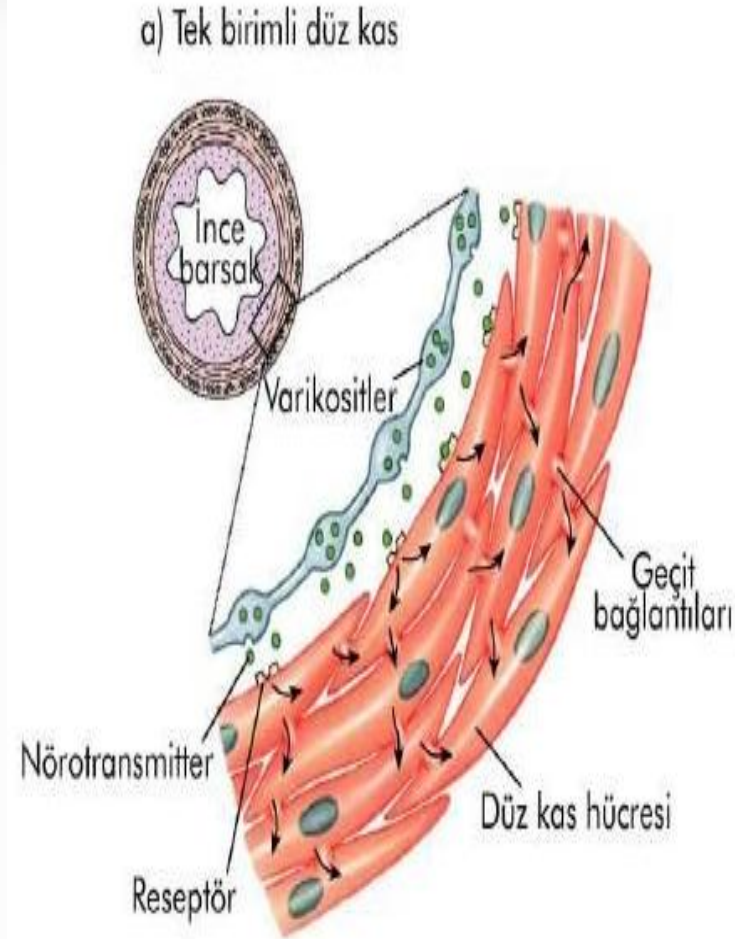
□ Düz kas dokusunun hücreleri **tek çekirdekli**, iğ şeklinde, genellikle 2-5 μm çapında, 20-500 μm boyundadır, yani iskelet kasına kıyasla **çok küçüktürler**. İskelet kasları bölünebilme yeteneklerini kaybetmişken, düz kas hücreleri ömür boyu **bölünebilme yeteneklerini korur**. Kas hasarı sonrası çeşitli parakrin ajanlar düz kas hücrelerinin bölünmesini uyarır.

□ Aktin ve miyozin filamentlerinin belli bir düzen dahilinde değil de rastgele bir dağılım göstermesi nedeni ile mikroskop altında **çizgili görünüm vermeyen** düz kaslar, genel olarak iki grup altında toplanırlar. **tek birimli düz kaslar** (viseral düz kaslar, iç organların düz kasları) ve **çok birimli düz kaslar** (çok üniteli düz kaslar).



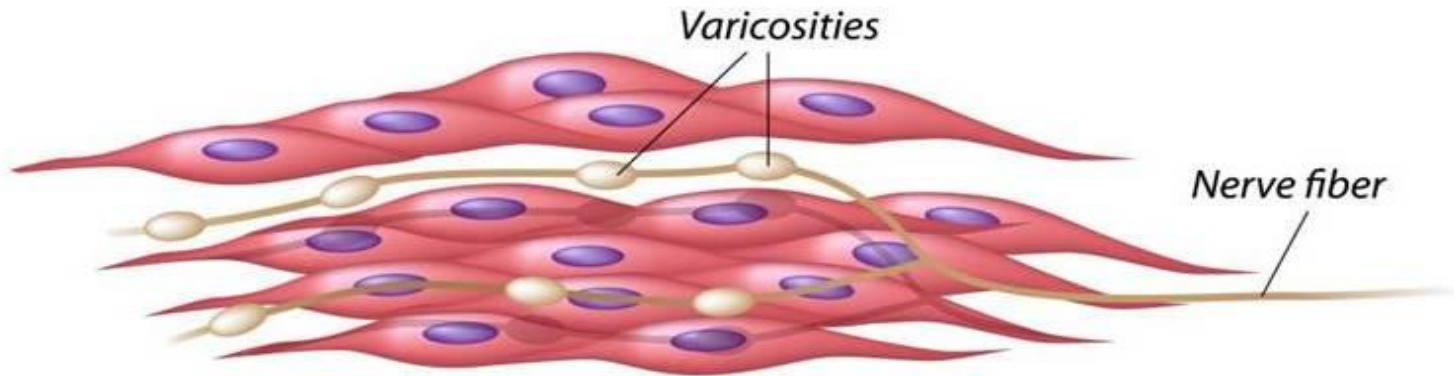
Tek Birimli Düz Kaslar

- ❑ Bunlar tek bir birim gibi birlikte kasılan çok sayıdaki kas lifi kitleleridir. Hücreler mekik şeklinde, küçük ve tek çekirdeklidir. Ayrıca özel bağlantı bölgeleri (**gap junction**) ile birbirlerine bağlıdırlar ve bu nedenle hücrelerin birinde oluşan elektriksel değişiklik, hücreden hücreye yayılım göstererek çok sayıda hücrenin bir arada kasılmasına neden olur (**sinsityal yapı**).
- ❑ Visseral düz kaslar sinirsel uyarı almadan da kendiliğinden kasılabılme özelliğindedir ve mekanik olarak gerildikleri zaman zarlarının depolarize olması ile kasılma yanıtı oluştururlar.
- ❑ Genellikle **sindirim kanalı**, **safra kanalı**, **sidik kesesi**, **üreter**, **uterus** ve **kan damarları** gibi iç organların duvarlarında yerleşmiştir.



Tek Birimli Düz Kaslar

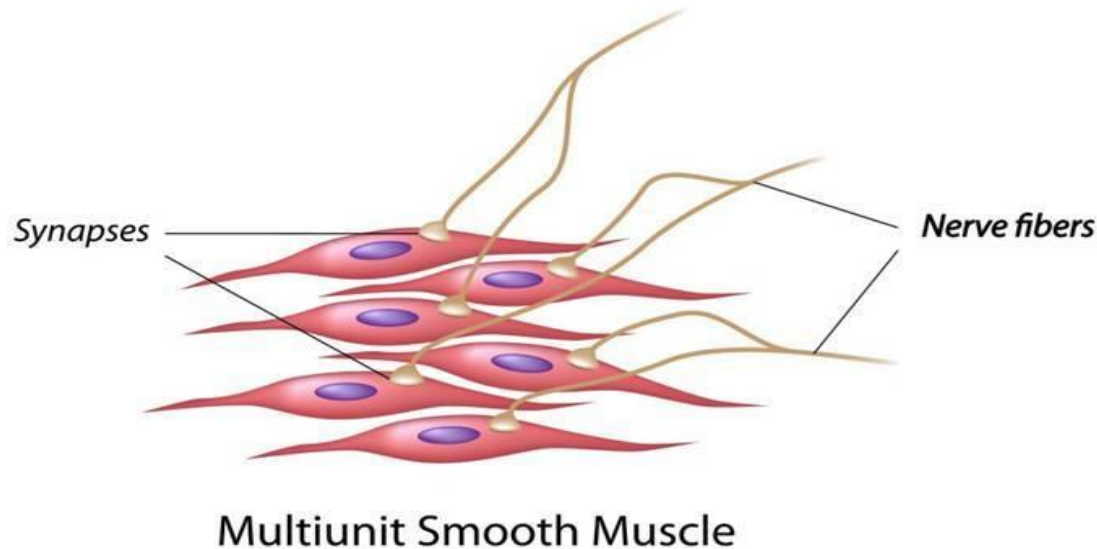
- Düz kas hücreleri ile otonom sinir sistemi bağlantı kurar ve bu sinir sisteminin görevi, hücrelerde kasılmayı başlatmak değil, **kendiliğinden oluşan kasılmaların şiddetini vücudun gereksinmesi doğrultusunda ayarlamaktır**. Örneğin yemek sonrasında mide-barsak sisteminin aktivitesinin artırılması gibi.



Single-unit Smooth Muscle

Multi-Ünit Düz Kaslar

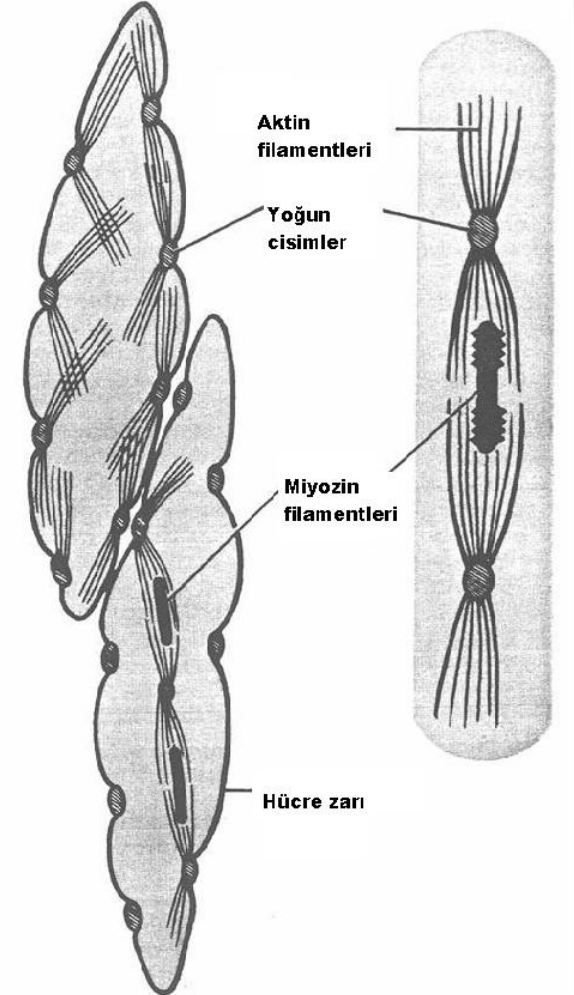
- ❑ Ayrı ayrı düz kas liflerinden oluşurlar. Her bir lif iskelet kasında olduğu gibi tek bir sinir sonlanması ile innerve edilir. Bu düz kas hücreleri arasında özel bağlantı bölgeleri yoktur ve kasılmaları için sinirsel uyarı şarttır.
- ❑ Büyük arterlerin duvarlarında, büyük bronşların duvarında, gözün irisi ve silyer kaslarında, palpepra tersiya ile piloerektör kaslarda bulunurlar.



Düz Kasın Kasılması

□ Düz kaslarda da kasılma mekanizması kayan filamentler mekanizmasına göre, aktin ve miyozin etkileşmesi ile olur. Düz kas hücrelerinde hücre zarına tutunmuş ve hücre içine dağılmış çok sayıda yoğun cisimler vardır. Komşu hücrelerin yoğun cisimleri hücreler arası protein köprülerle birbirine bağlanmıştır. Yoğun cisimlerden çok sayıda aktin filamenti çıkar ve aralarında tek bir miyozin filamenti vardır. Yoğun cisimler iskelet kasındaki Z disklerinin işlevini üstlenmiştir.

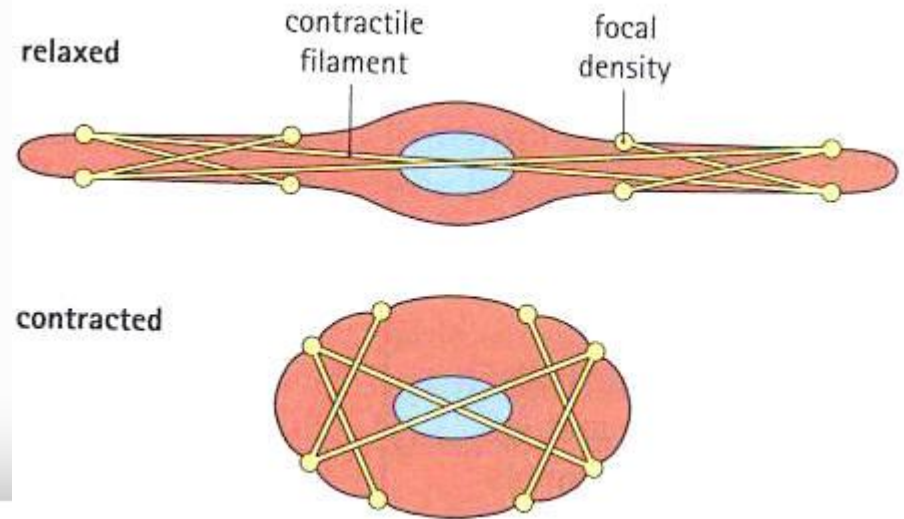
□ Düz kasta miyozin filamentlerinden “yan kutup” denen çapraz köprüler çıkar. Bir taraftaki yan kutuplar kasıldığında kas o tarafa, diğer taraftaki yan kutuplar kasılınca kas diğer tarafa kasılır. Bu sayede düz kaslar boylarını % 80 oranında kısaltabilir. Buna karşın iskelet kasları boylarını sadece % 30 oranında kısaltabilir.



- ❑ Düz kasın sinirsel, hormonal, kimyasal veya fiziksel uyarılması sonucu hücre içi kalsiyum iyon konsantrasyonunun artması kasılmayı başlatır. Ancak düz kaslarda iskelet kaslarındaki **TROPONİN yoktur**. Bunun yerine **kalmodulin** adı verilen bir protein molekülü troponin gibi 4 kalsiyum iyonunu bağlayarak kasılma sürecinde görev yapar.
- ❑ **Düz kaslardaki diğer önemli bir fark**; kasılma sırasında kalsiyum iyonlarının sarkoplazmik retikulum yerine büyük oranda hücre dışından içeri geçmesi, gevşemede ise tekrar hücre dışına çıkmasıdır.
- ❑ **KASILMA NASIL OLUR?** Hücrenin uyarılması ile hücre içine kalsiyum iyonları girer. Ca^{+2} hücre içinde kalmoduline bağlanır. **Ca^{+2} -kalmodulin** kompleksi **miyozin kinaz** enzimine bağlanıp onu aktive eder. Miyozin kinaz enzimi miyozin başındaki hafif zinciri (regülatör zinciri) ATP yardımıyla fosforile ederek miyozinin aktine bağlanmasına ve kasılmaya yol açar.

❑ **GEVŞEME NASIL OLUR?**

Miyozinin defosforile olması ile gerçekleşir. Hücre içi kalsiyum düzeyi belli bir değerin altına inince sürekli aktif olan **miyozin fosfotaz** enzimi hafif zinciri defosforile eder. Bu durumda miyozin başı aktinden ayrılır ve kasılma sonlanır.



Düz Kas ve İskelet Kasının Karşılaştırılması

- ❑ Düz kasta miyozin başlarının ATPaz aktivitesi düşük olduğundan **miyozin çapraz köprü döngüsü daha yavaştır.**
- ❑ Düz kasta kasılmanın sürdürülmesi için **daha az enerjiye gereksinim duyulur.** Düz kastaki ekonomik enerji tüketimi vücuttaki bütün işlevler ile organların düz kaslarında belirli bir gerimin sürekliliği bakımından çok önemlidir.
- ❑ Düz kasta **kasılma ve gevşeme daha yavaştır.** Düz kaslarda uyarı sonrası 50-100 ms sonra kasılma başlar, 500 ms sonra pik yapar, 1-2 s sonra ise kasılma sona erer. Yani toplam kasılma süresi 1-3 saniyedir. Bu süre iskelet kasındakinin 30 katıdır.
- ❑ **Düz kas daha güçlü kasılır.** İskelet kasında kasılma gücü 3-4 kg/cm² iken, düz kasta 4-6 kg/cm²'dir. Düz kasta miyozin filamentleri daha az olsa da ve çapraz köprü başları daha yavaş bağlansa da kasılma gücü iskelet kaslarına nazaran 2 kat fazladır. Bunun nedeni **miyozin başlarının aktin filamentlerine daha uzun süre bağlı kalmasındandır.**

Düz Kasta Mandal Mekanizması

- Düz kasın kasılı kalma sürecinde **miyozin kinaz ve miyozin fosfotaz** enzimlerinin aktivitesi düşer. Bu durum miyozin başlarının döngüsünü yavaşlatır ve kasılı kalınan süreyi uzatır. Bu sayede düz kaslar az enerji harcayarak saatlerce tonik kasılma yapabilirler. Bu olaya **mandal mekanizması** denir.

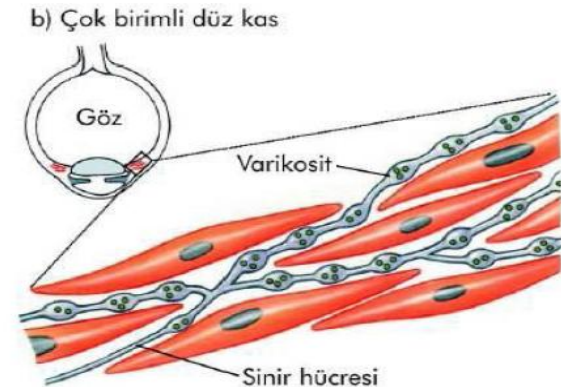
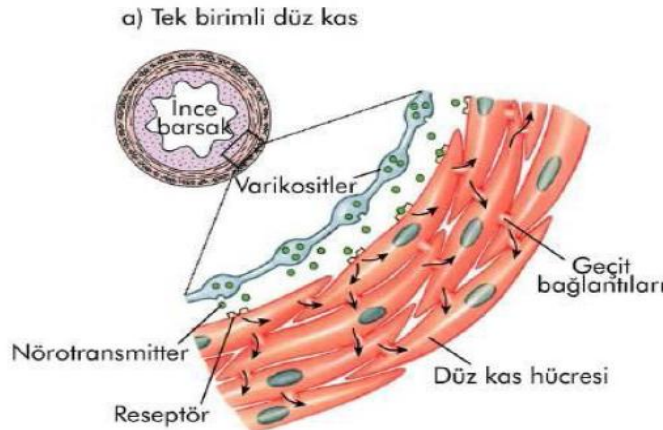


Düz Kasın Stres Gevşemesi (Plastisite)

- Boşluklu organların tek birimli düz kaslarının (viseral düz kaslar) boyları organ lümenindeki basıncın artmasına bağlı olarak uzar ve gerilir. Ancak saniyeler yada dakikalar içinde düz kas tekrar başlangıçtaki gerilimine geri döner. Örneğin idrar kesesinin artan idrar miktarı ile gerilmesi, buna bağlı idrar yapma isteğinin hissedilmesi, ama kısa süre sonra idrar yapma isteğinin hissedilmemesi. Bu durum aslında mandal mekanizması ile yakın ilişkilidir. **Kas gerilince mandal mekanizması nedeniyle kas boy uzamasına direnir ve iç basınç yükselir.** Sonra saniyeler içinde **miyozin başları aktin filamentlerinden ayrılıp, daha geriden aktin filamentlerine bağlanır.** Böylece boşluklu organın lümenindeki basınç sabit tutulur.

Düz Kasta Sinir-Kas Kavşağı

- ❑ Düz kası innerve eden otonom sinir lifleri kas üzerinde varikositeler yapar ve **yaygın kavşaklar** oluşturur. Buralardan salınan nörotransmitter maddeler difüzyonla kas hücrelerine ulaşır.
- ❑ Özellikle **çok birimli düz kaslarda** sinir aksonu varikositeleri kas hücrelerinin direkt üzerinde, onlara çok yakın (20-30 nm) **temas kavşakları** yapmıştır. Bu kaslarda latent dönem tek birimli düz kaslara kıyasla çok daha kısadır.
- ❑ Düz kasları innerve eden otonom sinirlerinin bazıları **asetil kolin**, bazıları **norepinefrin**, bazıları ise **başka bir transmitter madde** salgılar. Bir sinir sadece bir tip nörotransmitter salgılar. Bir transmittere bazı organ düz kaslarının eksitasyon, bazılarının ise inhibisyon şeklinde yanıt vermesi farklı nörotransmitter reseptörleri içermesinden kaynaklanır.



Tek Birimli Düz Kasta Aksiyon Potansiyeli

- ❑ Düz kasın dinlenim zar potansiyeli $-50/-60$ mV kadar olup, iskelet kasına kıyasla yaklaşık 30 mV daha az negatiftir.
- ❑ Tek birimli iç organ düz kaslarında aksiyon potansiyeli (AP) prensip olarak iskelet kaslarında olduğu gibidir, ancak 2 tip AP'i görülür. **Sivri aksiyon potansiyelleri** ve **platolu aksiyon potansiyelleri**.
- ❑ 10-50 ms süren sivri AP'leri elektrik uyarısı, **hormonlar, nörotransmitter maddeler, gerilme** ve **spontan** şekilde oluşabilir.
- ❑ Platolu AP'lerinde **repolarizasyon çok yavaş** (yaklaşık 1 saniyeye kadar) şekillenir. **Üreterler, uterus, damar düz kasları** ve düz kas olmasa da **kalpte** görülür.
- ❑ Düz kaslarda iskelet kaslarındaki voltaja duyarlı Na^+ kanallarından ziyade voltaja duyarlı Ca^{+2} kanalları vardır. Düz kaslarda **hem AP'i hem de kasılma** doğrudan **ekstraselüler ortamdan** hücre içine akan **Ca^{+2} iyonları ile oluşturulur**. Ancak kalsiyum kanalları çok yavaş açılıp uzun süre açık kaldığından AP'i düz kaslarda uzun sürer.

Çok Birimli Düz Kasta Aksiyon Potansiyeli

- ❑ Çok birimli düz kaslarda **AP oluşmaz**. Bunun nedeni kas lifinin AP'i oluşacak kadar büyük olmamasıdır.
- ❑ Gözün irisi ve piloerektör kaslar gibi **çok birimli düz kaslar sinirsel uyarı ile kasılırlar**. Sinir uçları bazı çok birimli düz kaslarda **asetil kolin**, bazılarında ise **norepinefrin** salgılar. Örneğin gözün silyer kasları ve irisin sirküler kasları asetil kolin etkisiyle (parasempatik sinirlerce inerve edilirler) kasılırken, irisin radyal kasları norepinefrin etkisiyle (sempatik sinirlerce inerve edilir) kasılır. Sinirsel uyarı sonucu kas lifinde depolarizasyon oluşur ve kasılma meydana gelir, ancak AP'i oluşmaz.
- ❑ Düz kasta depolarizasyon sonucu açılan kalsiyum kanallarından hücre içine Ca^{+2} girişi olur. Hücre çok küçük olduğundan kalsiyum hızla hücre içine yayılır ve kasılmayı başlatır. Hücrenin bu denli küçük olması T-tübül sistemi ve sarkoplazmik retikulum gereksinimini de ortadan kaldırmıştır. **Düz kaslarda T-tübül sistemi yoktur, sarkoplazmik retikulum ise iyi gelişmemiştir.**

Kaynaklar

- Dukes Veteriner Fizyoloji, Çeviri editörü: Sedat Yıldız, Türkçe birinci baskı, Nisan 2008.
- Evcil Hayvanların Fonksiyonel Anatomisi ve Fizyolojisi, Çeviri Editörleri: Ülker Çötelioglu ve Mukaddes Özcan, 4. basımdan çeviri, 2012.
- Fizyoloji, Ahmet Noyan, 9. baskı, 1996.
- Guyton Tıbbi Fizyoloji, Çevirmen: Berrak Çağlayan Yeğen, İnci Alican, Zeynep Solakoğlu, 12. baskı, 2013.
- Vander İnsan Fizyolojisi Vücut Fonksiyon Mekanizmaları, Çeviren: Tuncay Özgünen, 13. baskı, 2014.