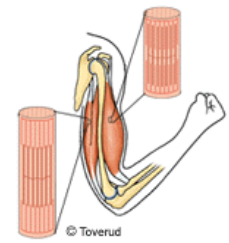
KAS DOKUSU

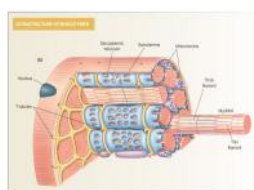
Kas Dokusu

- Kasılabilme protoplazmanın en önemli özelliklerinden biridir ve hemen hemen tüm hücre tiplerinde çeşitli derecelerde görülür.
- Ancak kas dokularındaki hücrelerde bu özellik yüksek seviyede gelişmiştir.
- Kas, kimyasal enerjiyi kasılma ve gevşeme vasıtasıyla mekanik işe dönüştüren özelleşmiş bir dokudur.



Kas Hücreleri

- Kas hücrelerine **miyosit (kas iplikçikleri)** adı verilir.
- Bu hücrelerin içinde kasılıp gevşeme özelliği gösteren ince ipliksi, sitoplazmik proteinler yer alır.
- Bunlara **miyofibril (miyofilament)** denir.
- Kas Hücresinin
  - sitoplazmasına **sarkoplazma**,
  - zarına **sarkolemma**,
  - mitokondrisine **sarkozom**,
  - endoplazmik retikulumuna ise **sarkoplazmik retikulum** adı verilir.



Kas Dokusunun Görevleri

- **Hareket:** kemikler ve eklemlerle birlikte yürüme, koşma gibi aktif yer değiştirme hareketlerinin ortaya çıkmasını sağlar.
- **Vücudun şeklinin oluşması:** Kemikler etrafında bulunan iskelet kasları hareketin yanı sıra vücut şeklinin de oluşumunda rol oynarlar.
- **Vücutta madde taşınması:** Kas dokusu tiplerinden olan kalp kası tüm vücuda kanı pompalar. İskelet kası ise lenf akımına yardımcı olur.
- **Isı üretimi:** Vücut ısısının yaklaşık % 85'i kasların kasılmalarından meydana gelir.

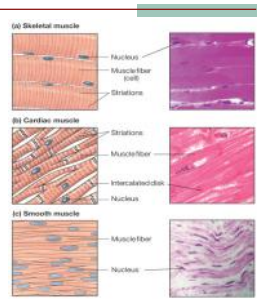


Kas Dokusunun Sınıflandırılması

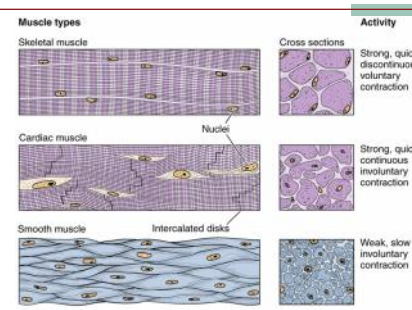
- Kas dokusu kendini oluşturan miyositlerin morfolojik, fizyolojik özelliklerine göre
  - Düz kas ve
  - Çizgili kas

  olmak üzere iki çeşittir.
- Çizgili kas da vücutta bulunduğu yere göre
  - İskelet kası
  - Viseral kas
  - kalp kası

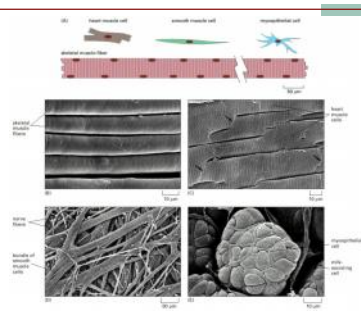
  olmak üzere üç çeşittir.



Kas Dokusunun Sınıflandırılması



Kas Dokusunun Sınıflandırılması



Düz Kas

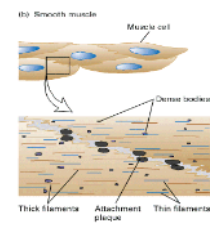
- Düz kaslar özofagustan başlayarak tüm sindirim sisteminin duvarlarını oluştururlar.
  - Alınan besinlerin sindirim sularıyla karışması, ileriye doğru yol alması, emilmesi ve boşaltılması sırasındaki organların hareketlerinden sorumludur.
  - Düz kas hücreleri bağırsak sisteminde hem enine hem de boyuna yerleşim gösterirken; Mide ve mesane gibi içi boş organlarda çeşitli yönlerde seyrederler.
- Gözde'deki düz kaslar, göz bebeğinin genişleyip büzülmesiyle ilişkili olan irisin ve ona yardımcı olan kirpiksi cisimciğin kas dokusunu oluştururlar.
- Düz kasları genellikle içi boşluklu organlanlarda görülür. Solunum sistemi (trake ile alveol arasında hava yollarının duvarında), üriner (idrar yolları ve mesane) ve genital sistemler, damarlar (atar-, toplar- ve büyük lenf damarları) ve deri.

Düz Kasın Gelişmesi

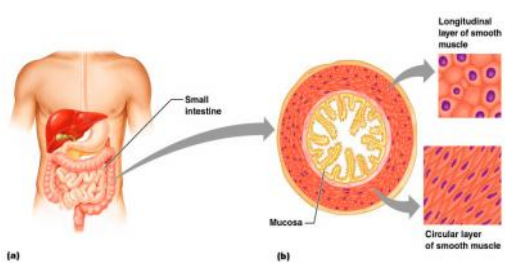
- Düz kas dokusu embriyoda mide-bağırsak borusunun etrafındaki mezenşimden gelişir.
- Düz kas hücrelerine değişecek olan mezenşim hücreleri bir araya gelerek sıklaşır. Boyları uzamaya başlayan bu hücrelere **miyoblast** denir.
- Miyoblastların çekirdekleri de uzamaya başlar. Sarkoplazmada miyofilamentler belirmeye başlar.
- Miyoblastlar mitozla bölünüp sayılarını arttırır. Çoğalan hücreler birbirleriyle sıkı ilişki kurarak düz kas dokusunu oluşturur.
- Daha sonra sentezledikleri ince retiküler ve sayıca fazla olan elastik fibriller çoğalarak hücrelerin çevresini sarıp düz kas elastik fibril birliğini oluşturur.

Düz Kas Hücreleri

- Düz kas dokusu hücreleri,
  - Mekik şeklinde (iğ şeklinde)
  - Merkezi konumlu tek çekirdekli
  - Bandlaşma göstermez
- Çapları 1 mikrondan küçük olabildiği gibi, bir kaç mikron da olabilir. Düz kas hücresinin uzunluğu bulundukları organlara göre değişiklik gösterir.
  - En küçük düz kas hücreler 20 µm uzunlukta olup, küçük kan damarları duvarında bulunur.
  - İnsan ince bağırsağındaki düz kas hücrelerinin boylan 0,2 mm kadardır.
  - En uzun boylu düz kas hücreleri gebelik sırasında uterus duvarında görülür. Boyları 0,5 mm'yi bulabilir



Düz Kas Hücreleri



Düz Kas Hücreleri

- Çekirdek, hücrenin uzunlamasına kesitlerinde en geniş bölge olan orta kısmında yer alır.
- Oval veya silindir şeklindeki çekirdeğin boyu kas hücresinin yarısı kadardır.
- Kromatin, nükleoplazma içinde tekdüze dağılmış belirgin bir şekil oluşturur.
- Türlere bağlı olarak birkaç çekirdekçik gözlenebilir.
- Kas hücresi kasılınca çekirdek de kısalır ve kalınlaşır.



Düz Kas Hücreleri

- Uygun sitolojik boyama yapıldığında mitokondriler görülebilir.
- Çoğunlukla çekirdeğe komşu bölgelerde yer alan mitokondriler az sayıdadır.
- Çekirdek çevresindeki hafif granüllü alanda bir çift sentriyol ve küçük bir Golgi ayırt edilebilir.
- Ayrıca granüllü endoplazmik retikuluma ait az sayıda tübüler yapı ve birçok poliribozom da bu bölgede yer alır.
- Sarkolemmasında bol miktarda mikropinositotik kesecikler bulunur. Kasılmada gerekli olan Ca depo bölgeleri olarak işlev görür

Düz Kas Hücreleri

- Düz kas hücresi, canlı durumdayken sarkoplazması oldukça homojen görünür. Fiksasyon ve rutin boyama işlemlerinden sonra da bu görünümünü korur.
- Ancak özel boyaların kullanılmasından sonra **miyofibriller** görünür hale gelebilir.
- Kas hücresinde uzunluğuna paralel olarak uzanan ince **miyofılament** demetleri, miyofibrilleri oluşturur.
- Düz kas miyofibrillerinde, çizgili kas miyofıbrillerinin karakteristik özelliği olan izotrop ve anizotrop bölgelerden oluşan enine bantlar görülmez.
- Miyofılament demetleri arasında dağılmış halde mitokondriler yer alır.
- Sitoplazmada ve hücrenin çeperinde, hücre iskeletini oluşturan miyofilamentlerin yanal bağlantı bölgeleri olan yoğun **cisimcikler** dağılmış halde bulunur.

Düz Kas Hücreleri

- Düz kasla kasılmadan sorumlu iki esas filament vardır.
  - İnce Filamentler: Aktin, tropomiyozin ve kaldesmon içerir
  - Kalın Filamentler: Miyozin II içeren kalın **filamentlerdir.**
    - Bunlara ilave olarak, ince filamentlerin arasında dağılmış olarak bulunan *desmin* arafilamenti vardır.
    - Damar düz kaslarında desminden başka *vimentin* de bulunur.
- Aktin ve tropomiyozin, miyozin II molekülü ile kuvvet oluşturan bir etkileşimde bulunurken; kaldesmon, miyozine bağlanma bölgesini kapatarak F-aktine bağlanır.
- Tropomiyozin ve kaidesmon hareketi, düzenleyici moleküllerin kalsiyum bağımlı etkinliğiyle kontrol edilir.

Düz Kas Hücreleri

- Miyozin II, iskelet kasındaki miyozin II molekülüne benzer.
- İki adet polipeptit ağır zincir ile dört tane hafif zincirden oluşur.
  - Miyozin hafif-zincir kinazı,
  - Alfa-aktinin
  - Kalmodulin
  - Düz kasta kasılma ile ilgili diğer protein molekülle-rini oluşturur

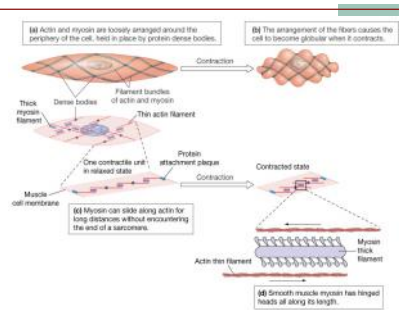
Düz Kas Hücreleri

- Aktin ve miyozinin kasılması için ATP gereklidir.
- Aktin-miyozin oranı çizgili kastaki gibi 6:1 oranında değil 12:1 oranındadır.
- Yani aktinler düz kasta, çizgili kastaki miktarından daha fazladır.
- Bunlar biraraya gelip demetler oluşturarak, miyozin filamentleriyle ilişki kurar.
- Kasılma mekanizması hücredışı kalsiyum iyonlarına son derece bağımlı çalışır.
- Bu iyonlar sarkolemmadaki mikropinositotik keselerde depolanır.

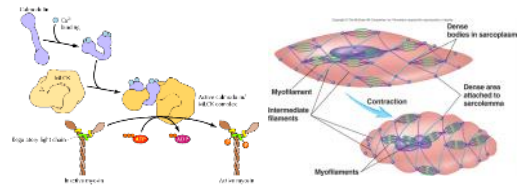
Düz Kasın Kasılma Mekanizması

- Uyarı geldiği zaman kalsiyum iyonu hücre içine alınır.
- İçeri giren kalsiyum iyonu kalmodulin molekülü *(troponin C'ye benzer bir molekül)* ile birleşerek **kalsiyum - kalmodulin** birliğini oluşturur.
- Bu ikili, inaklif duran miyozin hafif-zincir kinazıyla birleşip onu aktif hale sokar.
- Kinaz, miyozinin baş kısmını oluşturan iki hafif zincirden birinin özel bir bölgesinin fosforilasyonunu katalizleyen enzimdir.
- Miyozinin fosforilasyonu için gerekli enerji ATP nin ADP'ye dönüşümü ile elde edilir.
- Miyozinin hafif-zincir kinazının aktivasyonu hormonlarla etkilenen cAMP ile de gerçekleştirilebilir.
- Miyozinin fosforilasyonundan sonra düz kas aynen çizgili kastaki gibi kasılır.

Düz Kasın Kasılma Mekanizması



Düz Kasın Kasılma Mekanizması



Düz Kasın Kasılma Mekanizması

- Her ne kadar otonom sinir sonları düz kas hücreleriyle doğrudan ilişki kursa da, düz kasta çizgili kastaki gibi bir sinir kas bağlantısı görülmez.
- Sinir sonu ile düz kasın birleştiği yerde bazal lamina yoktur.
- Uyan tüm düz kas hücrelerine, hücrelerin birbirleriyle birleşme yerleri olan neksuslar *(delik geçit bölgeleri)* aracılığıyla iletilir.
- Burada nörotransmitter madde asetilkolin değil, adrenal medulla hormonları *olan epinefrin ve norepinefrindir*.
- Bu yüzden sinirler adrenerjik sinirlerdir.
- Uyarı geldiğinde, kalsiyumun büyük bir kısmı depolarizasyon sırasında **voltaj-kapılı Ca++kanallarından** sitoplazmaya girer.
- **Ligant-kapılı Ca** kanalları** ise hormonlarla aktive edilir, sitosin, düz kasta kasılmayı uyaran bir hormonken; adrenal medulla hormonları uyarıcı ya da engelleyici etki yapar.

Düz Kasın Fizyolojik Özellikleri

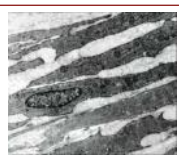
- Her ne kadar morfologlar tarafından tek bir düz kas tipi belirlenmişse de birçok işlevlere uyum göstermeleri ve değişik organlarda fizyolojik özelliklerinin farklı olması yüzünden iki çeşit düz kas ayırt edilir.
  - **I. Vasküler düz kaslar:** Damarlarda bulunur. Vazomotor sinirlerle uyarılır.
  - **2. Viseraldtiz kaslar:** İsteğimiz dışında çalışan iç organların duvarında bulunur.
- Sinir uyarıları bir hücreden diğerine neksuslarla aktarılır
- Düz kaslar **ritmik kasılma** ve **tonik kasılma** olmak üzere iki çeşit kasılma gerçekleştirir.
  - Ritmik kasılma ile organın kendine özgü görevi yerine getirilir. Örneğin; bağırsaklardaki düz kasların ritmik kasılıp-gevşemeleriyle sindirimi gerçekleştirilen besin maddelerinin anüse doğru ilerlemesi sağlanır.
  - Tonik kasılma ile düz kas devamlı olarak kasılarak içi boş organların duvarlarında sürekli bir gerginlik oluşturur. Örneğin, atardamarların genişliği, mide ve mesanenin kendine özgü yapılarının korunması buradaki düz kasların tonik kasılma aktiviteleriyle sağlanır

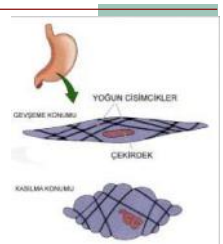
Düz Kasın Fizyolojik Özellikleri

- Değişik organlarda bulunan düz kasların başka fizyolojik ve farmakolojik farklılıkları vardır.
- Örneğin, uterustaki düz kaslar endokrin kontrol altındadır. Gebelik sırasında buradaki hücreler hacimlerini arttırır *(hipertrofi)*.
  - Gebeliğin son zamanlarında uterus düz kasları hipofiz arka lobundan salman oksitosin hormonuna çok duyarlıdır.
  - Hâlbuki aynı dönemde vücudun diğer bölgelerindeki düz kaslar epinefrin dışında diğer hormonlara ve oksitosine oldukça duyarsız davranırlar.

Düz Kasın Diğer Kaslardan Farklılıkları

1. Düz kasta T tübülüsler *(sarkolemmanın hücre içine yaptığı derin çöküntü-ler)* bulunmaz. Sarkoplazmik retikulum, sarkoplazmada pek gelişmemiş halde yer alır. Sarkomer yoktur.
2. Miyozin filamenti, iskelet ve kalp kasındakinden daha değişik düzenlenmiş olup, daha fazla çapraz köprülere sahiptir. Aktin:miyozin oranı 12:1'dir.
3. Çizgili kas ve kalp kasında bulunmayan yoğun cisimciklere sahiptir.
4. Düz kas hücreleri bağ dokusu elemanlarıyla sarılmasına rağmen, kollajen fibriller iskelet kasındaki gibi tendon ve aponörozları oluşturmaz.





- Tek çekirdekli, ortada yerleşimli hücreler
- Bağ dokusu kılıfı ve endomisyum
- Nekzuslar
- Enine çizgilenme yok
- T tübülüsü yok
- Az sayıda granülsüz ER
- Ara filaman tipi = desmin

Çizgili Kasın Gelişmesi

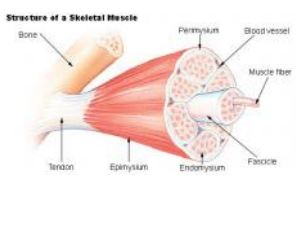
- Mezodermal yapılar olan sömitler embriyonik gelişim sırasında birkaç bölge içerir. Bu bölgelerden ayrılan hücreler gelişerek iskelet, deri ve kas dokusu gibi yapıları oluşturur.
- Sömitlerin arka yan kısımları dermomiyotom *(dermatom+miyotom)* bölgesini oluşturur. Dermatomdan derinin dermiş tabakası, miyotomdan da kas dokusu meydana gelir.
- Miyotomdan kök alan hücreler ilkin kas hücreleri olan miyoblastlara farklılaşır. Miyoblastlar ardarda mitoz bölünme geçirir. Ancak hücreler birbirlerinden ayrılmaz. Böylece uzun ve çok çekirdekli hücreleri meydana gelir.
- Hücreler uzamaya devam ederek silindir şeklini alır.
- Başlangıçta, çekirdekler hücrenin orta kısmında bulunmasına karşın, kasılma proteinlerinin sentezlenip hücrenin orta kısmında düzenlenmesinden sonra, hücrenin yanal kısımlarına yönelerek devamlı kalacakları yer olan sarkolemmanın hemen alt kısmına yerleşirler.
- Kasılma proteinleri arasına mitokondriler yerleşir. Diğer organellerin de yerlerini almalarından sonra genç kas hücresi miyoblast, artık tüm işlevlerini yerine getirebilecek özellikte ergin bir kas hücresi yani miyosit olur.

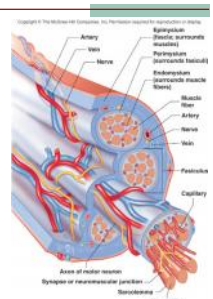
Çizgili Kasın Histolojik Yapısı

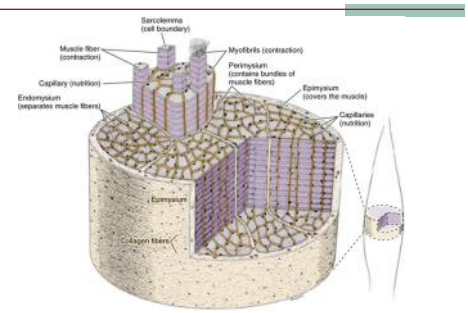
- Çizgili kasın histolojik yapı birimi, ışık mikroskobu ile görülebilen çok çekirdekli ve düzenli bantlar halinde enine çizgilenme gösteren uzun silindirik miyosittir.
- Buna kas lifi, kas teli veya kaş iplikçiği de denir.
- Birçok kas lifi bir araya gelerek taze kas dokusunda çıplak gözle görülebilen küçük lif demelerini oluşturur.
- Kas hücreleri tek tek, küçük lif demetleriyle tüm kas kitlesinin üstü bağdokusu kılıflarıyla sarılmıştır.

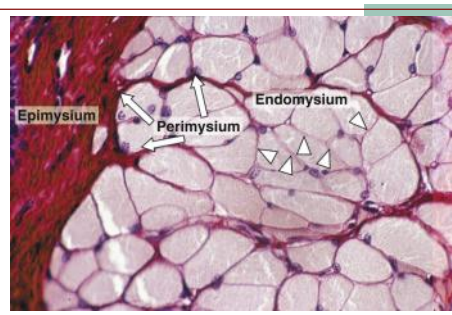
Çizgili Kasın Histolojik Yapısı

- Geniş kas kitleleri dıştan içe doğru
  - Epimisyum
    - Bol miktarda kollajen fibril ve az sayıda retiküler ve elastik fibril içerir.
    - Fibroblast, makrofaj, yağ hücreleri ye uydu hücreleri vs
    - Çizgili kas dokusunun organizmada bulundu ğu yere ve gördüğü işleve göre bu kılıftaki fibril çeşidinde de nicel ve nitel olarak farklılık görülür.
  - Perimisyum
  - Endomisyum
- Bu bağ dokusu kılıfları kasılma birimlerinin ve bu birim demetlerinin birbirine bağlanmasını sağlayarak birlikte uyumlu bir şekilde kasılmalarına yardımcı olur. Bununla birlikte birimler arasında bir hareket özgürlüğünün oluşmasına da katkıda bulunur.
- Epimisyumdan kas birimlerine dağılan kan damarları daha küçük dallara ayrılarak septalar aracılığıyla her bir kas hücresine ulaşır.







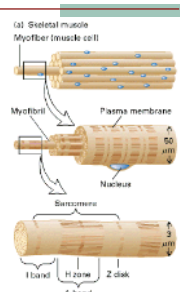


Çizgili Kasın Histolojik Yapısı

- Genellikle kasların çoğunda kas lifleri kasın tümünden daha kısadır. Bu lifler bir uçta kas içindeki bağ dokusu septasına, diğer tarafta da tendona bağlanmak suretiyle çıktıkları yer ile bağladıkları bölgeler arasında uzarlar.
- Kas liflerinin genişlikleri incelenen kas çeşidine ve türden türe bağlayarak 10-100 µm veya daha fazla olabilir. Kas liflerinin boyu 1 - 40 mm kadardır. Bazı kas lifleri 12-30 cm kadar uzunlukta olabilir.
- Organizmanın büyümesi sırasında kas liflerinin çapları yaşla birlikte artar. Gelişmesini tamamlamış bireylerde egzersizlerle kas genişliğinde ve kas uzunluğunda artış sağlanabilir. Bu duruma kas hipertrofisi adı verilir.
- Kaslar, kırık tedavisinde gibi uzun süre hareketsiz kaldıklarında kas lifleri incelebilir. Buna da kas atrofisi denir.

Çizgili Kas Lifleri

- Kaslar taze durumdayken çıplak gözle incelendiğinde renklerinde bazı fark lılıklar ayırt edilir. Işık mikrosko-bunda, hematoksilen-eozin ile boyanmış kas preparat-larında görülemeyen renk farklılığı, oksidatif enzim aktivitesine dayanan sitolojik ve histokimyasal tepki-melerle kolayca görebilir. Diğer özellikleri de göz önüne alındığında çizgili kas lifleri 3 gruba ayrılar:
  - Kırmızı kas lifleri (yavaş kaslar),
  - Beyaz kas lifleri (hızlı kaslar),
  - Ara kas lifleri



Kırmızı Kas Lifleri (Tip I – Yavaş Oksidatif)

- small cells **
- many mitochondria
- reduced SR
- many capillaries
- high aerobic rate
- high **myoglobin** level
- low glycolytic rate
- low **buffer** level
- small glycogen store
- slow myosin ATPase
- slow rate of contraction



Ara Kas Lifleri (Tip IIA – Hızlı Oksidatif)

- intermediate size
- many mitochondria
- intermediate size ER
- many capillaries
- high aerobic rate
- high myoglobin level
- high glycolytic rate
- intermediate buffer level
- inter. glycogen store
- fast myosin ATPase
- fast rate of contraction



Beyaz Kas Lifleri (Tip IIB – Hızlı Glikolitik)

- very large cells
- few mitochondria
- well developed SR
- few capillaries
- low myoglobin levels
- low aerobic rate+
- high glycolytic rate
- high buffer levels
- large glycogen stores *
- fast myosin ATPase
- fast rate of contraction #



A- Beyaz kaslar

- Miyoglobulin az
- Kas telleri etrafında damarlar az
- Kas telleri kalın çaplıdır
- Miyofibriller tek tek ve eşit aralıklarla yerleşerek kas tellerini oluşturur
- Mitokondriyonca fakirdirler, yakıt maddesi olarak glikojeni aerobik yolla privata, privatıda aneorobik yolla laktata parçalayarak kullanırlar
- Çok güçlü fakat Çabuk yorulan kaslardır, kısa süreli kasılma yaparlar.
- Tavukların göğüs kasları beyaz kaslardandır.
- Z bandları ince ve düzenlidir
- Bu kaslarda motor plaklar sadece 1-2 noktada bulunur. Buradan anastomozlaşarak son noktaları oluştururlar

B-Kırmızı kaslar

- Miyoglobulin çoktur
- Damarlar çoktur
- İnce çaplıdır
- Miyofibriller bir araya gelerek Cohnheim alanları oluştururlar
- Mitokondriyondan zengindirler, yakıt maddesi olarak lipidleri aerobik yolla parçalayarak kullanırlar
- Çok uzun süre kasılıp uzayabilirler.
- Göçmen kuşlarda bol miktarda bulunan kas türüdür
- Memelilerin ekstremiter kasları da kırmızı kaslardandır
- Z bandları daha kalın ve düzensizdir
- Kas telleri üzerinde bir çok noktada motor son plaklar bulunur.

Kas liflerinin yapısal ve fonksiyonel özellikleri

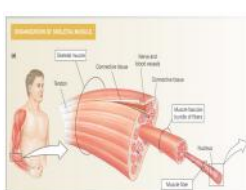
Özellik	Tip I	Tip II a	Tip II b
Motor nöron hacmi	küçük	büyük	Büyük
Motor nöron uyarı eşiği	düşük	yüksek	Yüksek
Sinir ileti hızı	Yavaş	hızlı	Hızlı
Kas lif çapı	küçük	büyük	Büyük
SR gelişmişliği	az	çok	Çok
Mitokondri yoğunluğu	yüksek	yüksek	Az
Kapiller yoğunlu	yüksek	orta	Az
Myoglobin sayısı	yüksek	Orta	Az

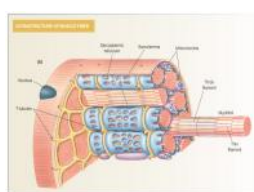
Kas liflerinin yapısal ve fonksiyonel özellikleri

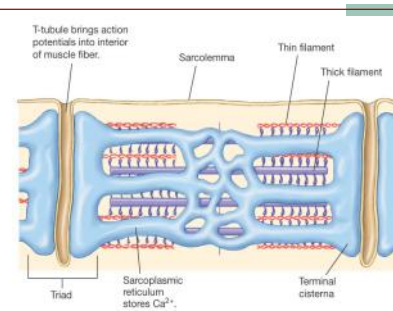
Özellik	Tip I	Tip II a	Tip II b
Kreatin fosfat deposu	az	Çok	Çok
Glikojen deposu	az	Çok	Çok
Tyrigliserit deposu	Çok	Orta	Az
Myozin ATP az aktiv.	Düşük	Yüksek	Yüksek
Glikolitik enzim aktiv.	Düşük	Yüksek	Yüksek
Oksidatif enzim aktiv.	Yüksek	Yüksek	Düşük
Kasılma süresi	Yavaş	Hızlı	Hızlı
Gevşeme süresi	Yavaş	Hızlı	Hızlı
Kuvvet üretimi	Düşük	Yüksek	Yüksek
Enerji verimi	Yüksek	Az	Az
Yorgunluk direnci	Yüksek	Az	Az

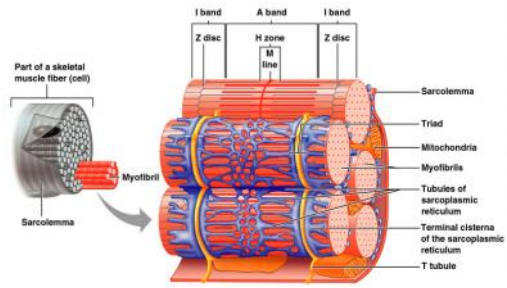
Kas Lifinin İnce Yapısı

- Çizgili kasta, her kas hücresi veya lifi sarkolemma ile çevrilidir.
- Sarkolemma üzerinde çok sayıda mikropinositotik kesecik görülür.
  - Bunlar, hücrenin ihtiyacı olan bazı moküllerin hücrenin içine taşınmasında yardımcı olur; ancak düz kastaki gibi kalsiyum depolamaz.
- Zarın hemen altında çok sayıda çekirdek bulunur.
- Kas hücresinin bütün organel ve inklüzyonlarının içinde yataklandığı sıvıya sarkoplazma adı verilir.
- Türden türe değişen sayıdaki yağ damlacıkları, sarkoplazmada miyofibril ve mitokondriler arasında yer alır.
- Kas sarkoplazmasında oksijen bağlayıcı protein olan miyoglobin bulunur.
- Sarkoplazmik retikulum, her bir miyofibrilin etrafını saran tübüllerden oluşmuş zarla kaplı kanalcıklardan meydana gelmiştir
- Sarkoplazmik retikulumun boyuna tübülleri ve enine kesecikleri miyofibril mikroçevresinde kalsiyum iyonları derişiminin düzenlenme-sinden sorumludur.

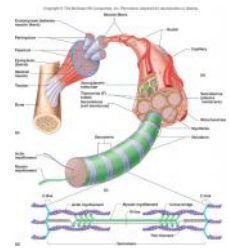


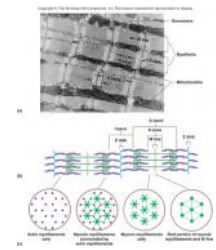






Kasların kısımları

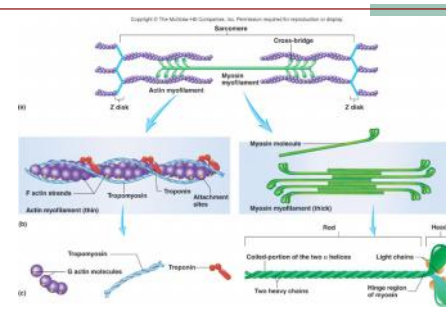


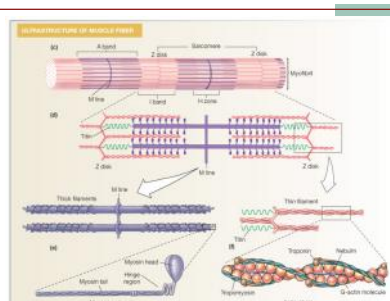


Kas Lifinin İnce Yapısı

- Sarkolemma sinirsel olarak uyarılıp depolarize edildiği zaman, bu uyarı kas hücrelerinin içine enine tübülüsler *(T tübülüs)* yoluyla iletilir.
- Triat bölgesinde uç keseciklerin enine tübülüsleriyle birleşme bölgelerinde bulunan kapılı Ca** kanalları gelen uyarı ile açılarak kalsiyum iyonunun sarkoplazmik retikutumdan sarkoplazmaya geçmesini sağlar.
- Daha sonra bir dizi işlem sonucunda miyofibrillerin kasılması gerçekleşmiş olur.
- Sinir uyarılarıyla sarkolemmanın depolarizasyonu sona erdiğinde kalsiyum iyonu aktif transportla sarkoplazmik retikulum içine pompalanır.
- Bu iş, sarkoplazmik retikulumun zarında bulunan Ca ** ATP az tarafından 2 Ca++ iyo-nu için l ATP harcanarak gerçekleştirilir.
- Miyofibriller etrafında kalsiyum iyonu derişiminin azalması kas kasılmasının sona ermesine neden olur.

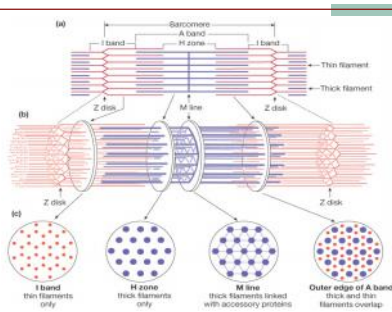
Actin ve Myosinin Yapısı





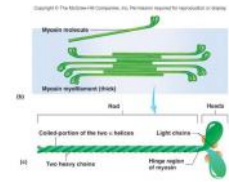
Kas Lifinin İnce Yapısı

- Koyu alan, polarize ışığı çift kıran anizotrop bölge olan (A bandına, açık alan ise polarize ışığı tek kıran izotrop bölge olan I bandına karşılık gelir.
- A ve I bantlarının uzunlukları kasın faaliyetlerine göre değişir.
  - Ancak A bandının uzunluğu kasın kasılıp-gevşeme hareketlerinin tüm evrelerinde sabit kalırken, I bandının uzunluğu kasılma sırasında küçülür.
- İki I bandı arasındaki birleşim hattına Z hattı adı verilir. A ve I bantları ile Z hattı, miyofibril boyunca devamlı tekrarlar yapar.
- A bandının ortasında bulunan açık renkli parlak bölgeye H bandı, H bandının ortasında yer alan koyu renkli hatta da veya M çizgisi adı verilir
- Miyofıbril boyunca iki Z hattı arasında kalan bölgeye sarkomer denir.



Kas Lifinin İnce Yapısı

- Bir miyozin filamenti pek çok miyozin II molekülünden oluşur.
- İki adet polipeptit zincirinin heliks şeklinde birbiri üzerine kıvrılmasıyla oluşan miyozin II molekülü, iki başlı golf sopasına benzer, İki *ağır polipeptit zinciri* ve dört *hafif zincirden* oluşur.
  - Molekülün en uzun kısmını oluşturan kuyruk kısmı bir biri üzerine kıvrılmış iki ağır polipeptit zincirinden oluşur.
  - Daha kısa olan kısım, dört hafif zincirden oluşan molekülün baş kısmıdır.
  - Her iki baş kısmında, birisi ATP'nin diğeri aktinin bağlanma bölgesini oluşturan iki bölge ve iki hafif zincir yer alır.

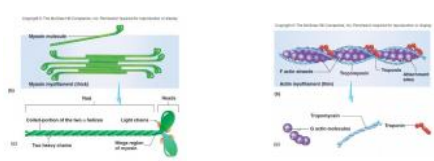


Kas Lifinin İnce Yapısı

- Miyozin II 'in üç biyolojik aktivitesi vardır.
  1. Miyozin II molekülü, iyonik faktörlerin etkili olduğu fizyoloiik koşullarda kendiliğinden filament olur.
  2. Miyozin II, bir ATPaz enzimidir.
  3. Miyozin II. polimerize olmuş aktine bağlanma özelliği taşır.

Kas Lifinin İnce Yapısı

- Kasılma durumunda aktinlerin birbirlerine karşı gelen uçları neredeyse birleşecek kadar birbirlerine yaklaşırken; gevşeme durumunda birbirlerinden oldukça uzaklaşır.
- Aktin filamentlerinin uçları arasındaki mesafe H bandının genişliğini tayin eder. H bandı, A bandının orta bölgesi olup, aktin filamentlerinin hiç bulunmadığı yerdir.
- Kasın kasılması durumunda H bandı görülemeyecek derecede daralırken, gevşemede oldukça genişler.
- A-I birleşim bölgesinde aktin ve miyozin filamentleri birbirlerinden 100-200 Å'luk bir mesafede bulunur.
- Bu bölgeden A bandının her iki yanına doğru gidildikçe her bir miyozin filamentinden komşu aktin filamentlerine uzanan ve düzenli yerleşim gösteren çapraz köprüler görülür.



Kas Lifinin İnce Yapısı

- Sarkomerin başlangıç ve bitiş noktalarını oluşturan Z hattına ulaşan her aktin filamenti, Z filamentleri denilen 4 tane çatallı ince iplikçiğe ayrılır. Bunların her biri diğer yandan gelen aktinlere ait Z filamentleriyle birleşerek Z diskini, bunlar da hep birlikte Z hattını meydana getirir.
- Bu yüzden boyuna kesit incelemelerinde burası zig zag şeklinde görünür. Z filamentlerine ek olarak burada Z disk materyali veya Z disk matriksi adı verilen bir madde bulunur.
- Z hattında aktin filamentlerinden başka, bu bölgenin elektron yoğunluğuna katkıda bulunan ve aktin filamentlerinin birbirine bağlanmasında rol oynayan alfa-aktinin proteini bulunur.

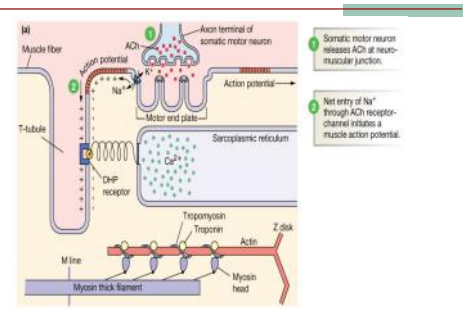
Kalın ve İnce Filamentlere Yardımcı Diğer Proteinler

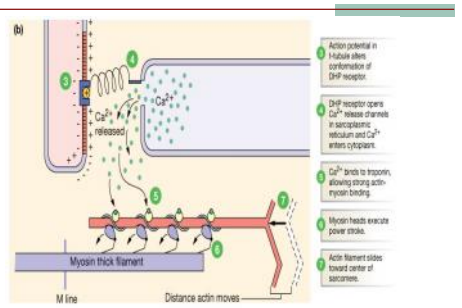
- Titin
- Alfa-aktinin
- Nebulin
- Tropomodulin
- Desmin
- Miyomezin
- C proteini
- Distropin

Protein	İşlevi	MA (kDa)
Myozin	Kalın filamanları oluşturur, Aktin ile olan ilişkisi ATP'yi hidrolize eder ve kasılma olur	510
Myomesin	Myozin filamanlarını M çizgilerinde birbirine tutundurur	185
Titin	Myozin filamanlarını Z disklerine tutundurarak sarkomere esneklik kazandırır	2500
C protein	Myozin filamanlarını M çizgisine tutundurur	140
G-Aktin	Fibriller aktin filamanlarını oluşturur, myozin ile birlikte kasılmayı gerçekleştirir	42
Tropomyozin	Aktin filamanlarının oluklarına yerleşir	64
Troponin	Kalsiyuma bağlanır; Tropomyozine bağlanır; Aktine bağlanır ve aktin-myozin ilişkisini keser	78
α-Aktinin	Aktin filamanlarını Z diskine tutundurur	190
Nebulin	Z diskinde yer alır, α-Aktinin moleküllerinin aktin filamanlarına bağlanmasına yardım eder	600

Çizgili Kasın Kasılma Mekanizması

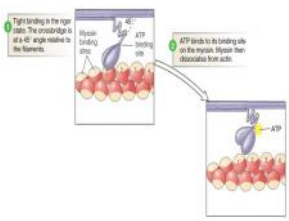
1. Motor nöronun sonundan *asetilkolin* salınır. Asetilkolin, presinaptik bölgedeki sinaptik keseciklerden ekzositoz ile sinaptik yarığa boşaltılır.
2. Asetilkolin, asetilkolin reseptörüyle birleşir. Bu durum sarkolemmada lokal depolarizasyona neden olur.
3. Sarkolemmanın depolarizasyonu ile *voltaj-kapılı* Na^+ *kanalları* açılır ve Na+ hücre içine girer.
4. Zarın Na+ geçirgenliği tüm sarkolemmaya yayılan genel depolarizasyona yol açar. Bu depolarizasvon dalgası T tübülüsleriyle hücre içine letilir. T tübülüslerin zarında bulunan voltaj algılayıcı proteinler şekil değişikliğine gider.

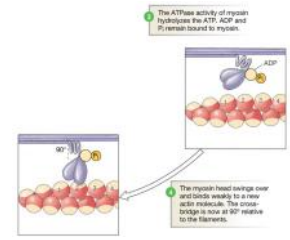


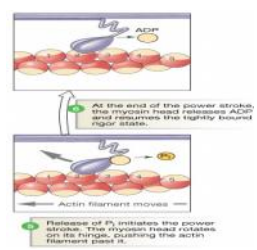


Çizgili Kasın Kasılma Mekanizması

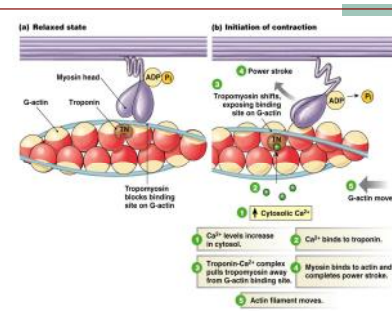
5. Sarkoplazmik retikulum zarında bulunan kapılı-Ca* *kanalları*, voltaj algılayıcı proteinlerdeki şekil değişikliğiyle aktive olur. Bu durum, sarkoplazmik retikulumda depolanan kalsiyumun hücre içine bırakılmasına neden olur.
6. Kalsiyum, troponin C (TnC)'ye bağlanır.
7. Tropomiyozin molekülü, aktin - miyozin arasından çekilir.
8. Aktin ve miyozin filamentleri birbirine bağlanır.
9. Aktinler miyozin başlarına değer değmez. ATPaz ATP'yi parçalar. Elde edilen enerji ile aktinler miyozin başları üzerinde kayar.
10. kas hücresi (miyosit) kısalır ve kasılma gerçekleşmiş olur







Troponin & Tropomyosin



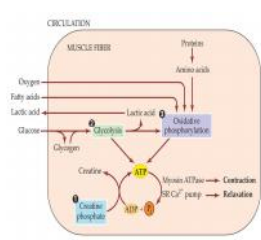
Çizgili Kasın Gevşeme Mekanizması

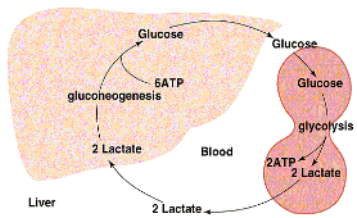
1. Asetilkolin esteraz asetilkolini parçalar. Böylece artık uyarı gelmez.
2. Kalsiyum, Ca ATPaz ile sarkoplazmik retikuluma geri pompalanır.
3. Aktinler miyozin başlarını bırakır ayrılır.
4. Aktin ve miyozin arasındaki boşluk tropomiyozin molekülü ile doldurulur
5. Kas dinlenmeye geçer.

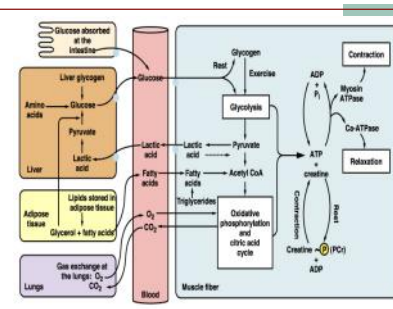
Kasın Enerji Metabolizması

Kas çok aktif halde iken kasılma enerjisi şu kaynaklardan sağlanır:

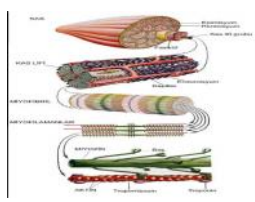
- Kasta mevcut ATPden,
- Kasta depo edilmiş kreatin Fosfattan,
- Kasta mevcut glikojenin glikoliz yoluyla laktik asite kadar parçalanmasından,
- Mitokondride meydana gelen aerobik oksidasyon enerjisinden











Kalp Kası

- Yalnız kalpte bulunur, bandlaşma göstermesi bakımından iskelet kasına, istemsiz çalışması bakımından da düz kasa benzer.
- Kalp kası, hücreler arası diskler aracılığı ile birbirine bağlanan, dallanma özelliği gösteren ve tek çekirdek taşıyan hücrelerden oluşur.
- İstek dışı çalışır.
- Kalp kas telleri çok fazla oranda mitokondri içerir.
- Organizmada ritmik ve otomatik kasılmalar yapan bir çizgili kas türü olan kalp, "miyokard" adı verilen kalp kas tabakasında ve kalbe yakın büyük dam arların duvarında yerleşik bir dokudur.

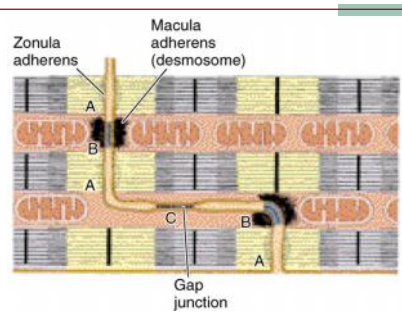
Kalp Kası

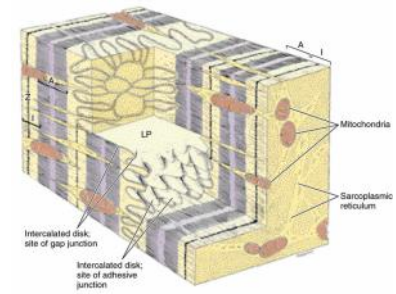
- Hemotoksilen-eozin boyamasıyla kalp kasının daha çok paralel tertiplenmiş, çatallanmalar yapan bir düzen içinde olduğu görülür.
- Her hücrenin yan dalları diğerleriyle ilişkidedir. Kalpte görülen hücrelerarası bağlantı yapısına **diskus interkalaris** adı verilir.
- Hücrelerin birbirine sıkıca bağlanmasını sağlar.
- Kalp kası da mezenşimden gelişmektedir.
- Miyoblastlar mitozla çoğalıp birbirlerine bağlanmakta (dallanma düzeni) ve böylece diskus interkalaris yapısı ortaya çıkmaktadır; daha sonra da miyofilamentler gelişmektedir



Kalp Kası

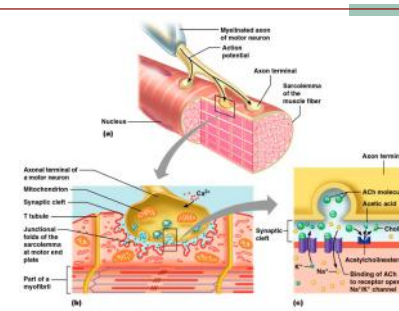
- İskelet kası hücrelerinde bahsedilen histolojik özellikler kalp kasında küçük bazı farklar dışında aynıdır.
- Hücre, dıştan ince retikulum telciklerinin bulunduğu PAS pozitif bir tabakayla çevrilidir.
- Kalp kasında bağ dokusu azdır; buna karşılık iskelet kasından daha fazla damar içerir. Hücredeki çekirdek oval şekillidir ve orta duruşludur.
- Kalp kasında çok miktarda sarkoplazma ve mitokondriyon bulunur. Mitokondriyonun çok olması, dokuda oksidatif fosforilasyonun yüksek düzeyde olduğunu gösterir.
- Glikojen de iskelet kasından fazladır. Buna karşılık sarkoplazmik retikulum iyi gelişmemiştir; ancak T tubülleri geniştir ve iskelet kasındaki gibi A-I bölgesinde değil Z çizgisinde lokalize olmuşlardır.
- Miyofilamentlerin türü aynı olmakla beraber düzgün tertiplenme göstermez ve preparatlarda daha az yoğunlukta boyanırlar

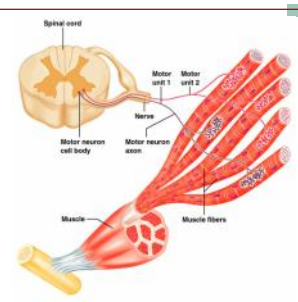




Kalp Kasının Kasılma Mekanizması

- Embriyonal hayatın erken safhalarından itibaren kendiliğinden miyojenik kasılmalar yapmaya başlayan kalp kasındaki mekanizma iskelet kasıyla aynıdır.
- Ayrıca, kalpte bazı bölgelerde özel "uyarı yapıcı ve iletici" sistemler (sinoatrial düğüm, atrioventriküler düğüm, his demeti, purkinje lifleri gibi) gelişmiştir. Kalbe özgü tipik yapılardır. Bu sistemin elemanları kas liflerinden oluşmuştur.
- Yapıları kalp kasından biraz farklı olup, sarkoplazmadan zengin, miyofibrillerden fakir hücrelerdir. Esas görevleri, uyarıyı kalbin çeşitli bölgelerine, atrium ve ventriküllerine iletmektir.
- Normalde kalp kasılmalarını başlatan ve ritmini ayarlayan bölüm sinoatrial düğümdür. Ancak, diğerleri de ritmik kontraksiyonlar yapabilirler.
- Kalp atımları, sinir sistemine bağlı olmaksızın kendi uyarı yapıcı ve iletici sistemiyle olmasına rağmen mekanizma sempatik ve parasempatik sinirlerin kontrolü altındadır





	İskelet kası	Kalp kası	Düz kas
Hücre özellikleri	Uzun silindirik, çizgili dallanmamış	Dallanmış silindir şeklinde, çizgili,	Mekik şeklinde,
Çekirdek durumu	Çevrede ve sarko-plazmanın yanında	Genellikle merkezde tek çekirdekli,	ortada tek çekirdekli
Lokalizasyon	Kemikler etrafında	Kalpte	İçi boşluklu organ-ların duvarında
Çap	Oldukça büyük (10-100mkrometre	Nisbeten büyük (14 mikrometre)	Küçük (3-8 mikrometre)
Uzunluk	100 mikrometre-30 cm	50-100 mikrometre	30-200 mikrometre
Kontraksiyon hızı ve yorulması	Hızlı ve çabuk yorulur	Normal ve yorulmaya dirençli	Yavaş ve yorulmaya dirençli
Sinir kontrolü	Somatik sinir sistemi	Otonom sinir sistemi	Otonom sinir sistemi
Rejenerasyon yeteneği	Sınırlı	Yok	Diğerlerine göre fazla
Otoritim	Yok	Var	Sadece visseral kaslarda
S. Retikulum	Var	Var	Az

	İskelet kası	Kalp Kası	Düz kas
Kasılma	İstemli, hepsi veya hiçbiri	İstemsiz; ritmik ve spontan	İstemsiz; yavaş ve güçlü
Sarkomer	Var	Var	Yok
Çekirdekler	Çok çekirdekli, perifer yerleşimli	Tek çekirdekli, ortada yerleşimli	Tek çekirdekli, ortada yerleşimli
Sarkoplazma Ret.	İyi gelişmiş, terminal sarnıçlar +	Az gelişmiş	Az sayıda granülsüz ER (Ca^{++} deposu değil)
T tübülüs	Var; triad yapısını oluşturur	Var; diad yapısını oluşturur	Yok
Hücrelerarası Bağlantı	Yok	İnterkale diskler	Nekzuslar
Kalsiyum Kontrolü	Terminal sarnıçtaki Kalsekestrin	Hücre dışı ortamdan gelen kalsiyum	Kaveola içinde
Kalsiyum bağlanması	Troponin C	Troponin C	Calmodulin
Yenilenme (onarım)	Var, uydu hücrelerce	Yok	Var
Mitoz	Yok	Yok	Var
Sinir lifleri	Somatik motor	Otonomik	Otonomik
Bağ dokusu	Epimisyum, perimisyum, endomisyum	Bağ dokusu kılıfı ve endomisyum	Bağ dokusu kılıfı ve endomisyum
Belirleyici özellikler	Uzun silindirik yapılar	Dallanmış hücreler	Mekik şeklinde, enine çizgilenme yok