



# EGZERSİZ FİZYOLOJİSİ

## İskelet Kası

Prof.Dr.Çiğdem ALTINSAAT

Uyarılabilen dokular herhangi bir uyarıya karşı hücre zarlarının elektriksel özelliğini değiştirerek aksiyon potansiyeli oluşturup, iletebilme özelliği göstermektedir. Sinir ve kas dokusu uyarılabilen dokulardır. Hücre zarlarında dinlenme ve aksiyon potansiyeli olmak üzere iki tip potansiyelden söz edilmektedir. Dinlenme potansiyeli, hücreler herhangi bir iş yapmadıkları zaman, iyonların, hücre içi ve dışında farklı dağılımda yerleşimleri ile oluşan bir potansiyel iken, aksiyon potansiyeli, hücrelerin aktif oldukları sırada bazı iyonların hücre içine ve dışına hareketleri sonucunda zarında oluşan bir dizi potansiyel değişiklikleridir.

Uyarılabilen dokular, aksiyon potansiyelini oluşturup, bu potansiyel değişikliği ile ortaya çıkan elektriksel aktiviteyi zarları boyunca iletirler. Sinir hücrelerinde oluşan bu elektriksel aktivitenin yalnızca iletim işi yapılırken, kas hücrelerindeki elektriksel aktivite mekanik bir olay olan kasılmayı başlatır.

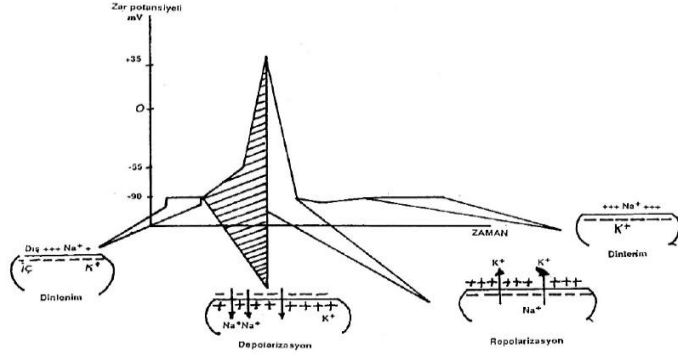
### AKSİYON POTANSİYEL

Hücre zarının içerisinde dışa oranla daha negatif olduğu dinlenme durumundaki bir hücre, herhangi bir uyarı ile uyarıldığı zaman; zarın dinlenme potansiyeli milisaniyeler içerisinde değişerek pozitif bir değere ulaşmaktadır. Zar potansiyelinde, içerisinde dışa oranla daha pozitif değer kazandığı bu duruma depolarizasyon adı verilmektedir. Ancak zar potansiyeli bu durumda kalmaz, çok kısa bir süre içerisinde tekrar eski dinlenme potansiyeline geri döner. Zar potansiyelinin depolarizasyondan tekrar dinlenme potansiyeline geri dönüşü repolarizasyon olarak tanımlanmaktadır. Aksiyon potansiyeli, depolarizasyon ve repolarizasyondan oluşmaktadır. Aksiyon potansiyelinin depolarizasyon ve repolarizasyon dönemlerinin oluşmasından sorumlu iyonlar; sodyum ve potasyumdur.

Aksiyon potansiyeli oluşmasındaki iyonik olayların temeli kısaca şu şekilde açıklanabilir.

- **Dinlenme potansiyeli:** Sodyum ( $\text{Na}^+$ ) iyonunun aktif taşıma ile sürekli hücre dışına, potasyum iyonunun ise hücre içine taşınması sonucunda oluşmaktadır. Dinlenme haline geçen hücrede; hücre dışında sodyum ( $\text{Na}^+$ ) iyonları konsantrasyonu hücre içine göre daha fazladır ve hücre dışı pozitif yüklüdür. Hücre içi ise dinlenti halinde negatif yüklüdür. Hücre içi potasyum ( $\text{K}^+$ ) iyonu konsantrasyonu hücre dışına göre daha fazladır.
- Aksiyon potansiyelinin oluşumu sırasında zarın sodyuma ve potasyuma olan geçirgenliği aniden değişmektedir.
- **Depolarizasyon (uyarılma) :** Hücre zarının  $\text{Na}^+$  iyonlarına karşı geçirgenliği artmakta ve  $\text{Na}^+$  iyonları hızla hücre içine girerek zar potansiyelini pozitif bir değere ulaştırmaktadır. Repolarizasyon döneminde ise zarın  $\text{K}^+$  iyonlarına olan geçirgenliği

artarak  $K^+$  iyonlarının hücre dışına çıkışı ile zar potansiyeli tekrar dinlenme potansiyeli değerine ulaştırılmaktadır.



### Şeki 1. Aksiyon Potansiyeli

- Aksiyon potansiyel ilerler ve hücre içi hücre dışı elektriksel yük durumu dinlenme halindeki tam tersine döner. Hücre içi pozitif, hücre dışı negatif yüklüdür.

-**Repolarizasyon:** Bu dönemde  $K^+$  kanallarının açılması ile  $K^+$  hücre dışına doğru difuze olur ve dinlenme potansiyeli olan hücre içindeki -70 mV'luk değer tekrar elde edilir. Zarın yalnızca elektriksel potansiyel değeri dinlenme durumuna erişmiştir, iyon dağılımı ise henüz terstir.

-Daha sonra aktif taşıma sistemi ile  $Na^+$  iyonlarının hücre dışına,  $K^+$  iyonlarının hücre içine taşınması ( $Na^+/K^+$  pompası) ile gerek zar potansiyeli yönünden gerekse iyonik dağılım yönünde dinlenme durumuna geri dönüş oluşmaktadır.

**Aksiyon potansiyelinin oluşmasında rol oynayan en önemli iyonlar hangileridir ve bu iyonların rollerini aksiyon potansiyelinin dönemlerine göre açıklayınız?**

### KASLAR

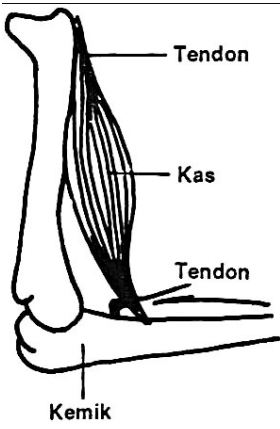
Uyarılan özellikteki kas hücreleri, zar yüzeyleri boyunca aksiyon potansiyeli iletebilme ve bu elektriksel değişikliği takiben mekanik olarak kasılma veya boylarını kısaltma yanıtı oluştururlar. Kasların kasılması ile; iskelet sisteminin hareketi, kanın kalpten damarlara pompalanması, kan damarlarının çaplarının değişmesi ve dolayısıyla damar sistemi içinde kan akımı hız ve basıncının düzenlenmesi, sindirim kanalı içindeki hareketi gibi olaylar gerçekleşmektedir.

Kas hücreleri; **iskelet kası**, **kalp kası** ve **düz kas** olmak üzere üç temel tipe ayrılmaktadır.

### İskelet Kası ( Çizgili Kas)

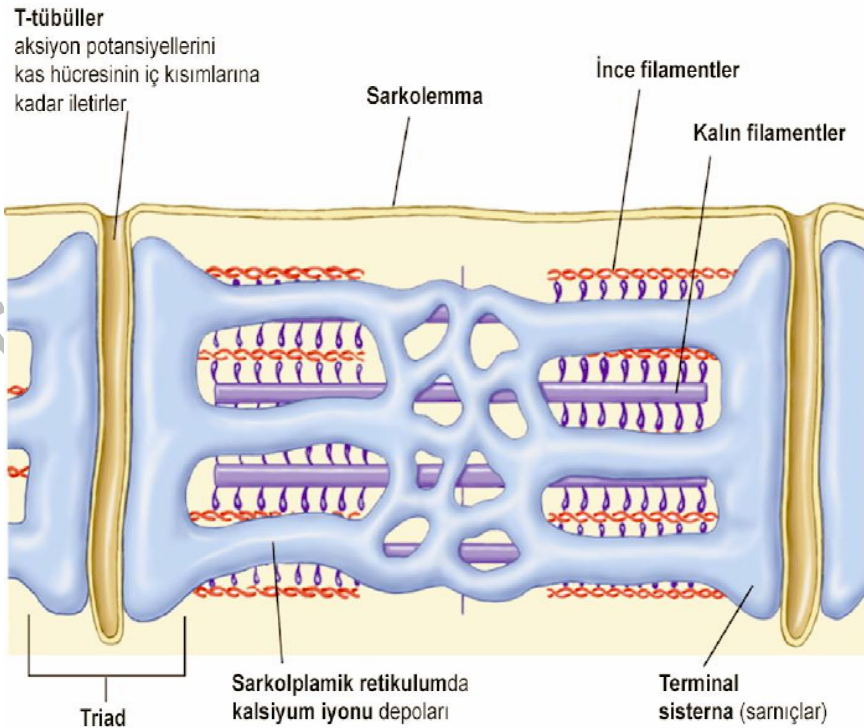
Toplam vücut ağırlığının yaklaşık yarısını iskelet kasları oluşturmaktadır. İskelet kaslarının kasılması, adından da anlaşılacağı gibi iskeleti oluşturan kemiklerin eklem bölgelerinden hareketini sağlamaktadır.

Bir iskelet kası kitlesi, kas hücresi veya lifi adı verilen hücre grubu ve bağ dokusundan oluşmaktadır. Kaslar genellikle iskelet sisteminin iki eklemi arasında, kemiklerin iki ucuna veya başka bir kasa bağ dokusundan oluşan ve tendon adı verilen yapılar aracılığı ile tutunmaktadır.



İskelet kası hücreleri uzun, silindirik şekilde ve çok sayıda nukleus içermektedir. Hücrelerin içinde, zar yapısındaki tübül sistemi olan sarkoplazmik retikulum (kas hücresindeki özelleşmiş düz endoplazmik retikulum) ile çevrelenmiş, miyofibril adı verilen çok sayıda silindirik yapı bulunmaktadır.

Miyofibriller, iskelet kasının kasılma mekanizmasında görev alan fonksiyonel birimlerdir. Uzunlamasına incelendiklerinde, sarkomer adı verilen çok sayıda bölmelere ayrıldıkları görülür.



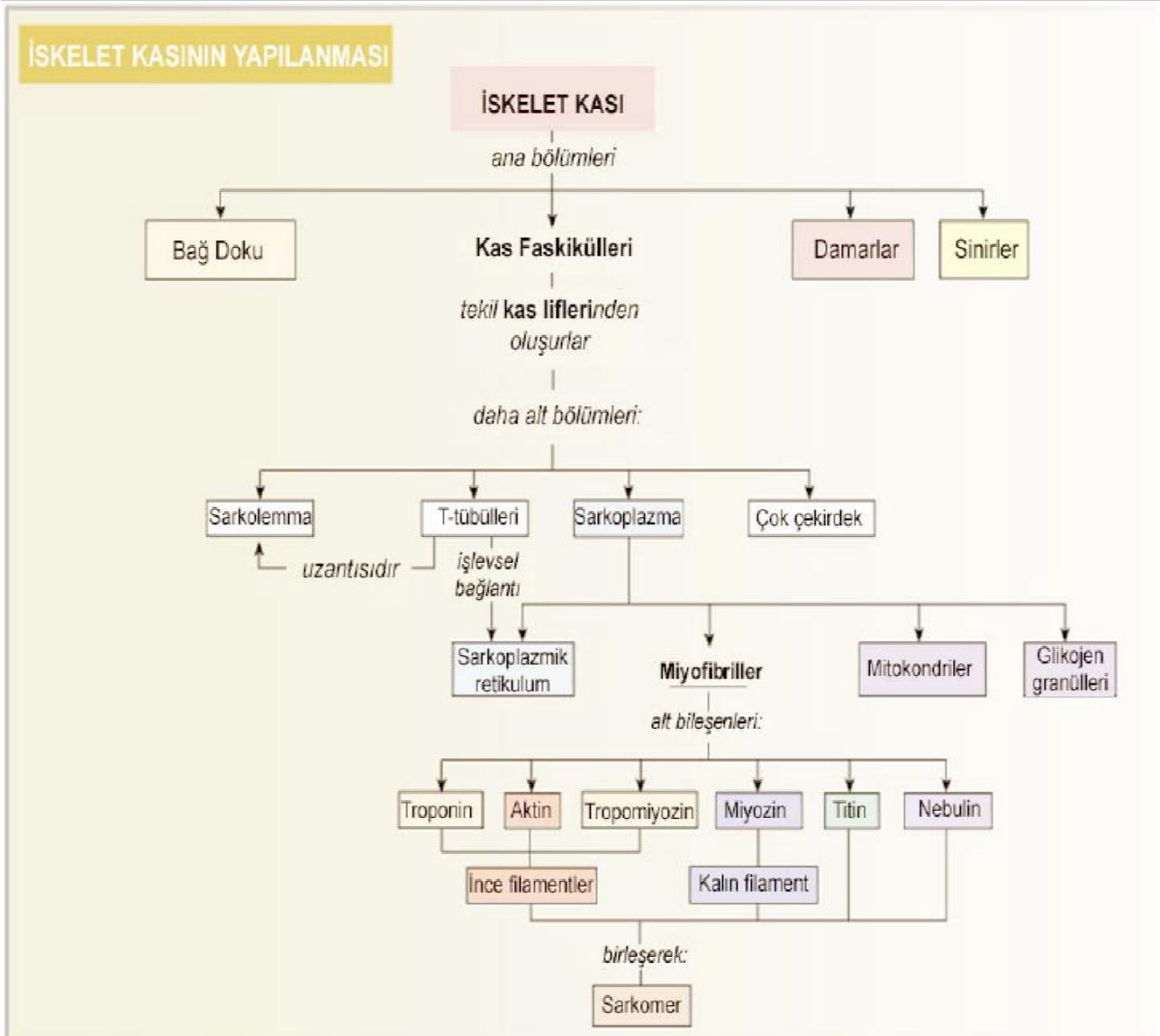
## Şeki 2. Miyofibriller, T tubul sistemi, sarkoplazmik retikulum, ince ve kalın filamentler

### İskelet kası hücresinde yer alan yapılar;

- Çekirdek - çok sayıdadır.
- Sarkolemma–Kas hücresi zarı
- T-tübül sistemi
- Sarkoplazmik retikulum–Endoplazmik retikulum
- Sarkoplazma–Sitoplazma
- Mitokondriler
- Glikojen ve iyonlar
- Miyofibriller

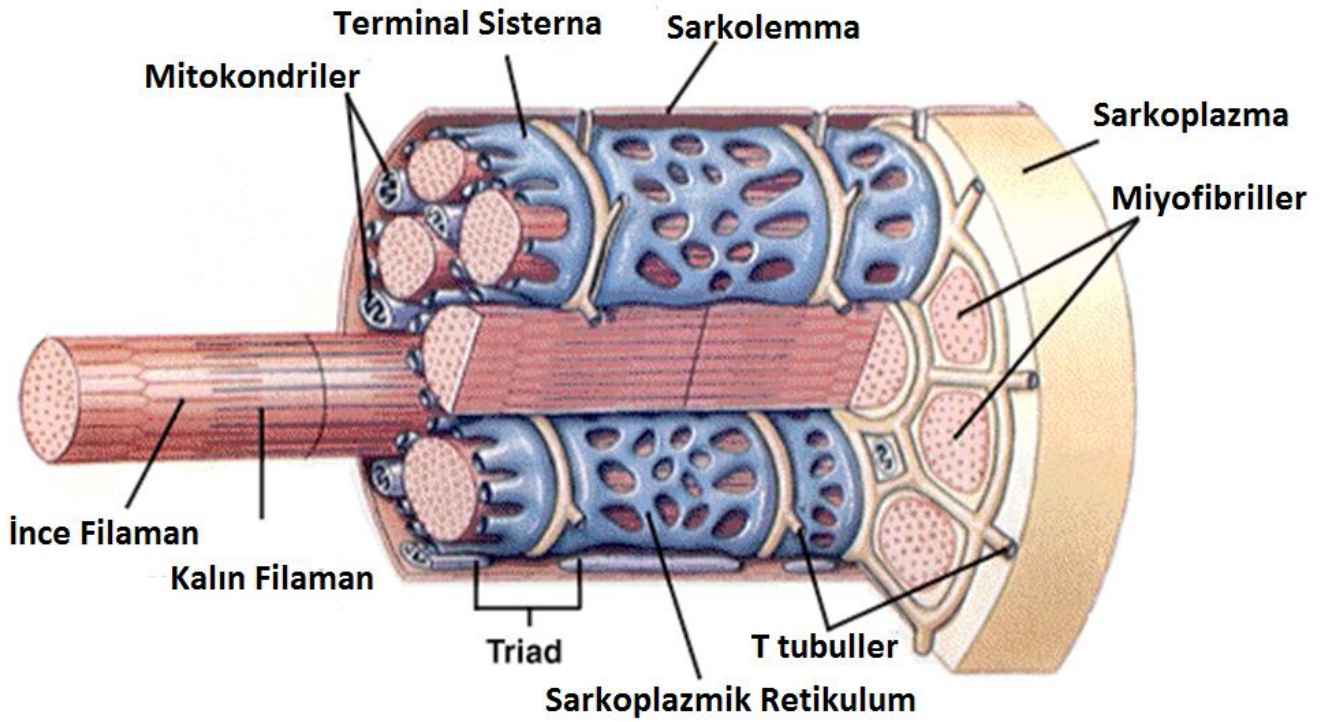
**Sarkomer** kas hücresinde kasılma işini yapan en küçük birimdir. Yapısını, **ince ve kalın filament** olarak tanımlanan, protein yapısında miyoflamentler oluşturur. Miyoflamentlerin yerleşim düzeni, iskelet kas hücrelerine mikroskop altında çizgili görünüm kazandırmaktadır. Sarkomeri oluşturan

- Kalın filament (Miyozin filamenti), **miyozin molekülünden**,
- ince filament (Aktin Filamenti) ise **aktin, tropomiyozin ve troponin** olmak üzere üç proteinden oluşmaktadır.



## İskelet Kasında - Organizasyon

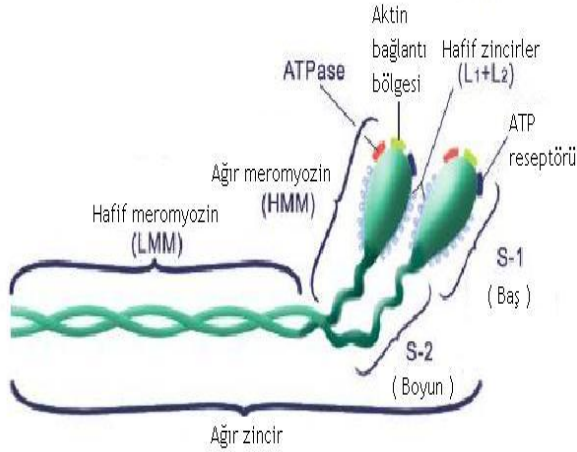
Kas  $\Rightarrow$  Fasiküller  $\Rightarrow$  Kas Telleri  $\Rightarrow$  Miyofibriller



### Kalın Filaman

Yapısı **miyozin** proteininden ibarettir. Her miyozin molekülü sarmal yapıdaki bir kuyruk bölümü ile bu sarmal yapıdan dışa iki tarafa doğru uzanan bir baş bölümünü içerir. Bu baş bölümü ayrıca **Çapraz Köprü** oluşumunu da ifade eder.

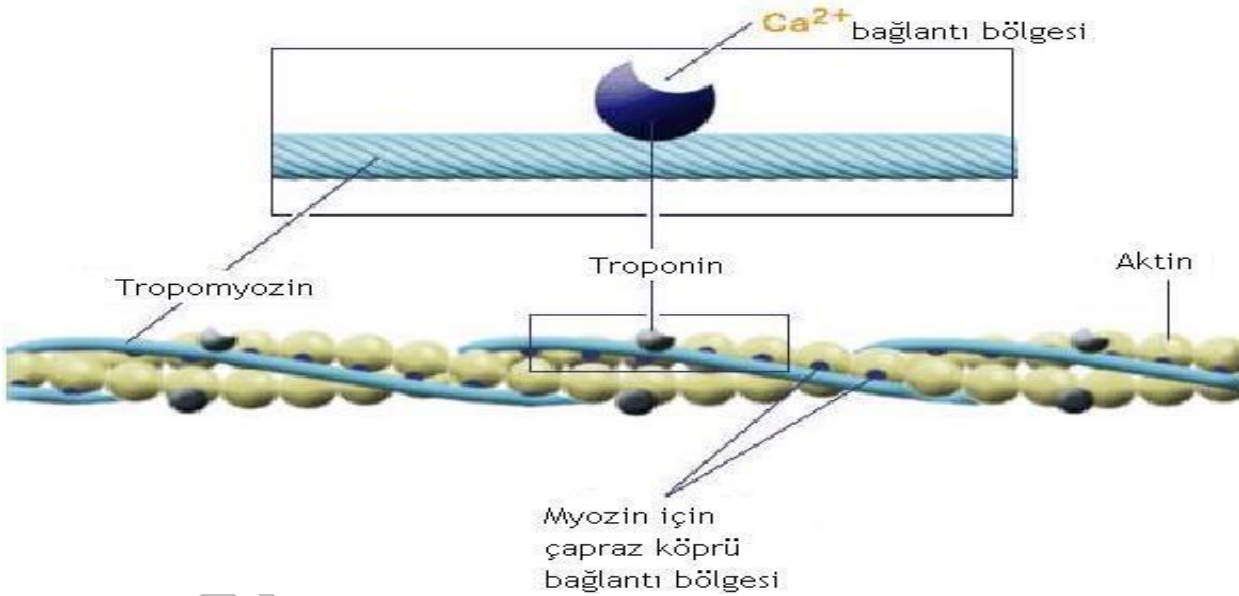




Miyozin Başının bazı özellikleri vardır;

- 1) ATP nin bağlanacağı bağlantı noktalarına sahiptir. Bu potansiyel enerji demektir.
- 2) Aktin molekülünün bağlantı noktası da burada bulunur.
- 3) Dayanak noktası da denebilecek ' menteşe ' özelliğine sahip noktayı da bulundurur. Bu nokta tam olarak başla kuyruğun bağlantı yeridir.
- 4) ATP- az etkinliği vardır.

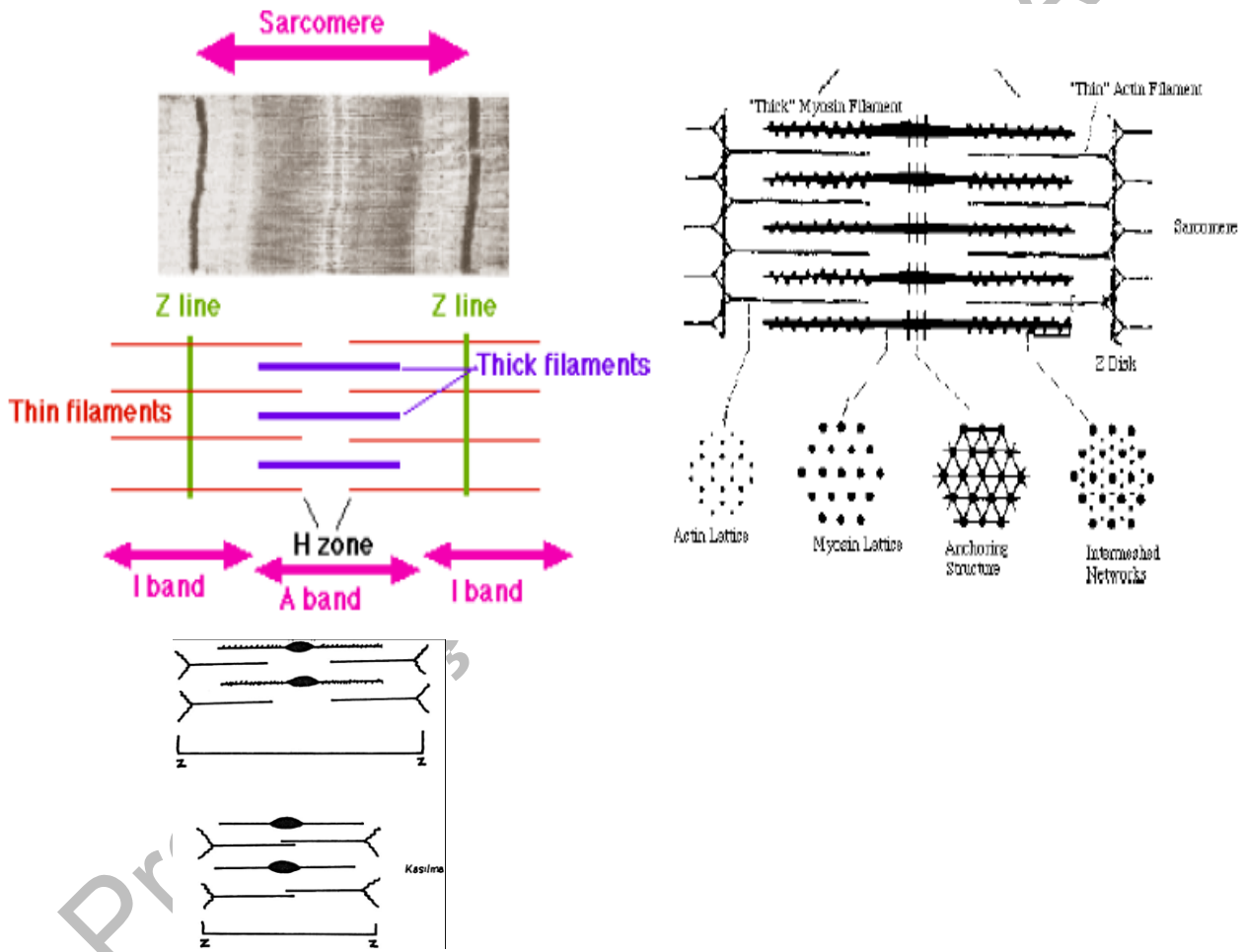
### Aktin (İnce) filamentinin yapısı



İnce filamentler sarkomerin iki ucunda, kalın filamentler ise orta bölgede yerleşmiştir. Sarkomerin her iki ucunda yerleşmiş olan ince filamentlerin başlangıç bölgeleri Z çizgisi olarak tanımlanmaktadır. İki Z çizgisi arası, sarkomer boyunu belirler. (Şekil 1.3).

Kas hücreleri kasılırken tüm sarkomerlerin Z çizgileri birbirine yaklaşarak sarkomer boyları kısalır. Kısalmanın nedeni ince ve kalın filamentlerin birbirleri üzerinden kaymasıdır. Kayma sırasında merkezdeki kalın filamentler sabit dururken, ince filamentler kalın filamentlere doğru hareket etmektedir (Şekil 1.4). İnce filamentlerin kalın filamentlere doğru çekilmesiyle Z çizgileri birbirine yaklaşır ve sarkomer boyu kısalır. 'A bandı' nın ortasında kalan ve sadece miyozin iplikçığının bulunduğu 'H' hattı da daralmış olur.

İnce ve kalın filamentlerin bu şekilde aktive olup kayma işlevini yapabilmeleri için önce kas hücrelerinin uyarılarak zarlarında aksiyon potansiyelinin oluşması gerekmektedir. Uyarılmayı takiben kasılmanın oluşması, uyarılma ve kasılma gibi iki farklı mekanizmanın birbiriyle eşleşmesine bağlıdır. **Uyarılma** ile **kasılma** arasındaki eşleşme  $Ca^{2+}$  iyonları tarafından yapılmaktadır.  $Ca^{2+}$  iyonları sarkoplazmik retikulumun tübül sisteminde depo edilmiş halde bulunur. Hücre zarında oluşan aksiyon potansiyeli, sarkoplazmik retikuluma ulaştığı zaman, kalsiyum iyonları buradan serbestleşerek ince filamentlerin yapısında bulunan troponin molekülüne bağlanır. Bağlanmayı takiben ince filamentler kalın filamentler üzerinden kayar ve kasılma gerçekleşir. Bu arada ATP molekülünden yüksek enerjili bir fosfat bağı koparılarak ATP molekülü ADP (adenozin difosfat)'ye dönüştürülmektedir.

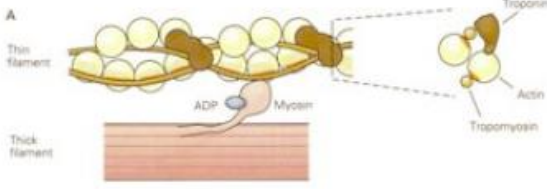


Şekil 1.4: Kasılma sırasında ince filamentlerin kalın filamentlere doğru hareketi ve sarkomer boylarının kısılması

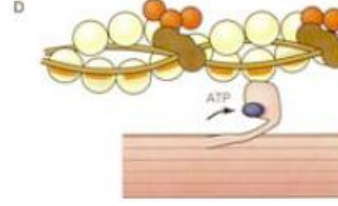
Kasların gevşemesi sırasında kalsiyum iyonları aktif taşıma ile sarkoplazmik retikuluma geri alınır. Bu nedenle gevşeme sırasında da ATP tüketimi ve enerji sarfı vardır.

## Çapraz Köprü Döngüsü

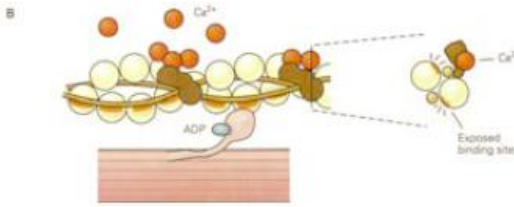
### 1.Attached (dinlenme)



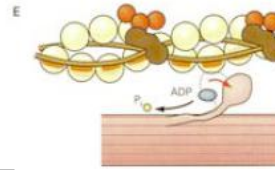
### 4.ATP-bağlanması



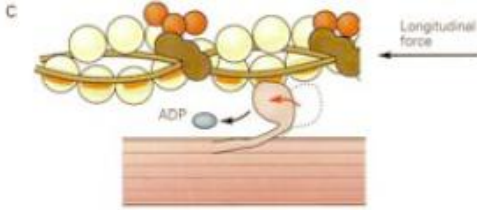
### 2.Çapraz Köprü Oluşumu



### 5.ATP nin hidrolizi ve miyozin başının geriye dönüşü



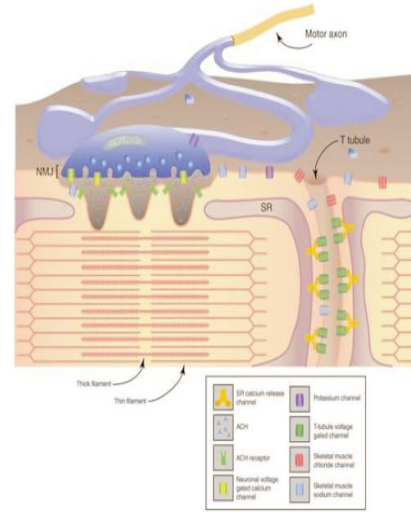
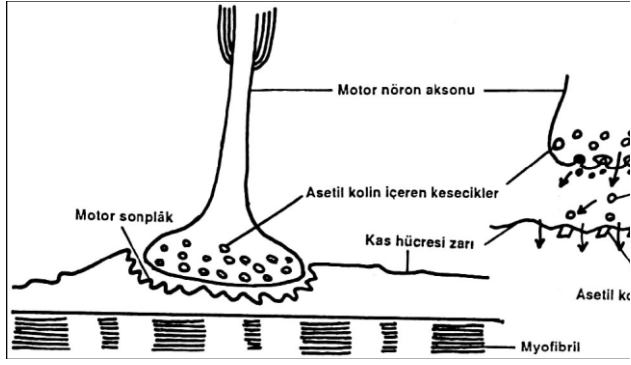
### 3. Başın dönerek kuvvetin şekillenmesi



İskelet kaslarında uyarılar, nöronlar (sinir hücreleri) tarafından oluşturulur. Diğer bir deyişle, iskelet kasları sinirsel impuls (uyarı) olmadıkça kasılamazlar. Kaslarda aksiyon potansiyeli oluşturup kasılmayı başlatan nöronlara "motor nöronlar" adı verilmektedir. İskelet kaslarının motor nöronlarındaki zedelenmeler bu kaslarda atrofi ve felce neden olur. Motor nöronlar bir iskelet kas lifi üzerinde sinir kas kavşağı adı verilen özelleşmiş bir bölgede sonlanırlar.

(Şekil 1.5). Sinir hücrelerinin akson adı verilen uzantıları, kas hücresi zarının kalıplaşmış, girintili-çıkıntılı bir yapı gösterdiği ve motor son plak adı verilen bölgesinde, bu bölge ile arasında 20-50 nm bir açıklık kalacak şekilde sonlanırlar. Akson sonlanmaları yumru görünümünde olup içlerinde transmitter madde bulunduran çok sayıda kesecikler bulundurlar. Kesecikler sinir hücresindeki uyarının kas hücrelerine aktarılmasında aracılık eden asetilkolin maddesini (transmitter madde) içerirler.





Şekil 1.5: Sinir-Kas kavşağı

Sinir hüresinden kas liflerine uyarı geçişi kısaca şu şekilde açıklanabilir: Motor nöronun akson ucuna ulaşan aksiyon potansiyeli, keseciklerdeki asetilkolinin ekzositoz ile serbestlenmesini sağlar. Daha sonra asetilkolin, kas lifi zarında bulunan kendine özel reseptörlere (reseptörün kelime anlamı alıcı demektir. Hücre zarında reseptör görevini, zarında bulunan protein molekülleri yapmaktadır) bağlanarak zarı Na<sup>+</sup> iyonlarına karşı geçirgen kılar ve aksiyon potansiyelini başlatır (Şekil 1.5).

Uyarılabilen dokular, herhangi bir uyarıya karşı hücre zarlarının elektriksel özelliğini değiştirerek aksiyon potansiyeli oluşturup, iletebilme özelliğine sahiptirler. Aksiyon potansiyeli, hücre bir iş yaparken zarında oluşan bir dizi potansiyel değişikliğidir. Uyarılabilen dokular sinir ve kas dokusudur. Sinir hücreleri zarları boyunca aksiyon potansiyelinin yalnızca iletim işini yaparken, kas hücreleri aksiyon potansiyeline mekanik bir olay olan kasılma cevabını oluşturmaktadır.

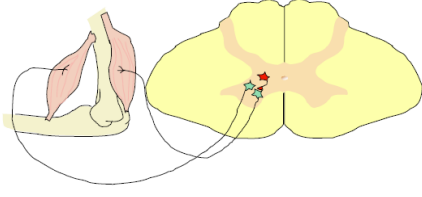
Organizmada kaslar iskelet kası, kalp kası ve düz kas olmak üzere üç temel tipe ayrılmıştır. İskelet kaslarının kasılması ile kemiklerin hareketi, kalp kasının kasılması ile kanın kalpten damar sistemi içine pompalanması, düz kasların kasılmaları ile çok çeşitli iç organ fonksiyonları (sindirim, boşaltım gibi) gerçekleşmektedir.

İskelet kaslarının uyarılma ve kasılmalarındaki temel prensipler, ufak farklılıklarla tüm kas tipleri için geçerlidir. Kas hüresindeki aksiyon potansiyeli (uyarılma), hücre içindeki serbest kalsiyum miktarını artırmakta, kalsiyum iyonları da ince ve kalın filamentlerin birbiri üzerinden kaymasını sağlamaktadır (kasılma). Bu arada da eş zamanlı olarak ATP'deki kimyasal enerji mekanik işe çevrilmektedir.

İskelet kaslarının kasılabilmesi için sinirsel uyarı şart iken, kalp kası ve visseral düz kaslar için böyle bir koşula gereksinim yoktur. Kalp kası ve visseral düz kaslar kendi uyarılarını kendileri oluşturabilme özelliğine sahiptir.

Kaslarda aksiyon potansiyeli oluşturup kasılmayı başlatan nöronlara **motor nöronlar** adı verilmektedir.

Motor nöronlar kas hücrelerini kimyasal bir madde aracılığı ile uyarırlar. İskelet kaslarının motor nöronlarında bu kimyasal aracı asetilkolin molekülüdür.



# Motor Birim

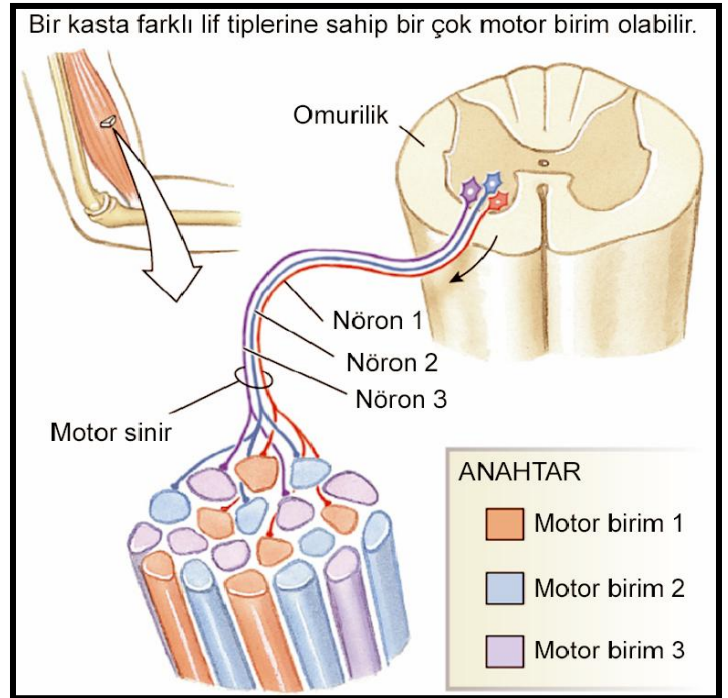
Motor ünite, motor nöron ile onu innerve eden kas liflerini içerir. İskelet kasları  $\alpha$ -motor nöronlarla innerve edilir. Aynı motor nöron tarafından innerve edilen kas telleri Motor ünite kavramını oluşturur. Çizgili kaslarda asıl kontraktıl ünite **SARKOMER** dir.

Bir motor sinir lifi tarafından innerve edilen kas liflerinin tümüne birden **MOTOR BİRİM (ÜNİTE)** denir. Genelde kontrolün hassas yapılması gereken ve hızlı reaksiyon innerve küçük kaslarda her bir motor üniteye birkaç kas lifi vardır. Göz kasları ve bazı larengeal kaslarda 2-3 adet motor ünite vardır. Diğer taraftan soleus kası gibi çok ince kontrol gerektirmeyen büyük kaslarda bir motor üniteye birkaç yüz kas lifi bulunabilir. Bedendeki bütün kaslar için ortalama bir sayı söylemek güçse de tahminen, motor üniteye yaklaşık 100 kas lifi düşer. Her motor üniteye kas lifleri bir kasta **BİRBİRİNE BAĞLI DEĞİLDİR**. Onun yerine 3-15 liften oluşan mikro demetler halinde diğer motor ünitelerin üstüne binerler. Bu iç içe geçme motor ünitelerin tamamen ayrı segmentler halinde hareket etmesi yerine birbirini destekleyecek şekilde kasılmasını sağlar.

Merkezi sinir sistemi kas kasılması için zayıf bir sinyal gönderdiği zaman, önce sayıca aza ve küçük kas liflerini içeren motor üniteler uyarılır. Sinyalin gücü arttıkça giderek daha büyük motor üniteler uyarılmaya başlar. En büyük motor üniteler en küçüklerle kıyasla 50 kat fazla kontraktıl güce sahiptir.

İnce hareketler yapan kaslarda

- 1/1-sinir/kas
- Parmak uçları
- Büyük kaslar ise ; (Bacak kasları gibi)
- 1: 2000 motor ünite oranı vardır

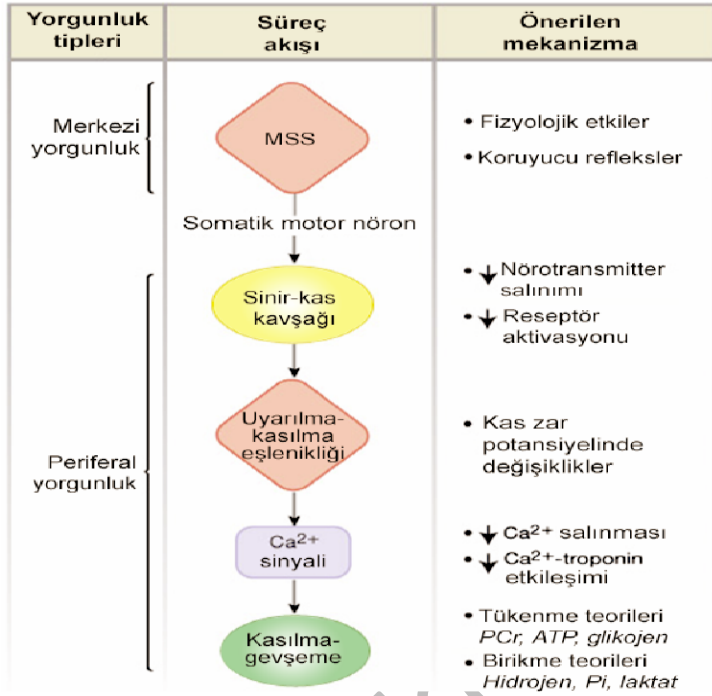


## KAS YORGUNLUĞU

Kas yorgunluğu kas glikojeninin tükenme hızı ile orantılıdır. Kas yorgunluğunun kas liflerinin kontraktil ve metabolik işlevlerinin aynı iş verimini sürdürmemesinden kaynaklanmaktadır. Uzun süreli motor aktiviteden sonra sinir-kas kavşağından sinyallerinin iletiminin azaldığını, bunun da kas kasılmasını zayıflattığı görülür.

Kasılan kastan geçen kan akımının kesilmesi, özellikle O<sub>2</sub> sızlık ve kasa gerekli enerji kaynaklarının sağlanamaması nedeniyle birkaç dakika içinde **Kas yorgunluğu** şekillenir.

Şekli inceleyiniz.



- Merkezi sinir sistemi yorgunluğu-
- Sinir sinyalinin nöromuskuler bileşkedden taşınmasında azalma
- Kan akımı azalmasına bağlı O<sub>2</sub> yetmezliği
- Laktik asit ve metabolitlerin birikmesi
- Hücre içi asidite artışı
- Hücre dışı sıvıda yüksek K<sup>+</sup> derişimi
- Ach (asetil kolin) tükenmesi gibi nedenlerle oluşur.
- Sarkoplazmik retikulumdan serbestleşen Ca<sup>+2</sup> miktarında azalma
- Kas glikojeninin tükenmesi
- Gerekli veya beklenen kuvvetin devam ettirilememesi, gerekli kuvvet ne olursa olsun nöromusküler sistemin kuvvet oluşturma kapasitesinin azalması olarak tanımlanır.

# EGZERSİZDE ENERJİ METABOLİZMASI

-Enerji açığa çıkaran metabolik olayların tümüne enerji metabolizması denir. Metabolizma sırasında anabolik ve katabolik olaylar beraberce yürür. Hücrede enerji ve sentezde yer alan tüm olaylara intermediyer metabolizma denir. Hücrelerin kullandığı enerji iki yoldan sağlanır;

- Hücrelerde depo edilmiş kimyasal enerji,
- Karbohidrat, yağ ve proteinlerden ortaya çıkan enerji,

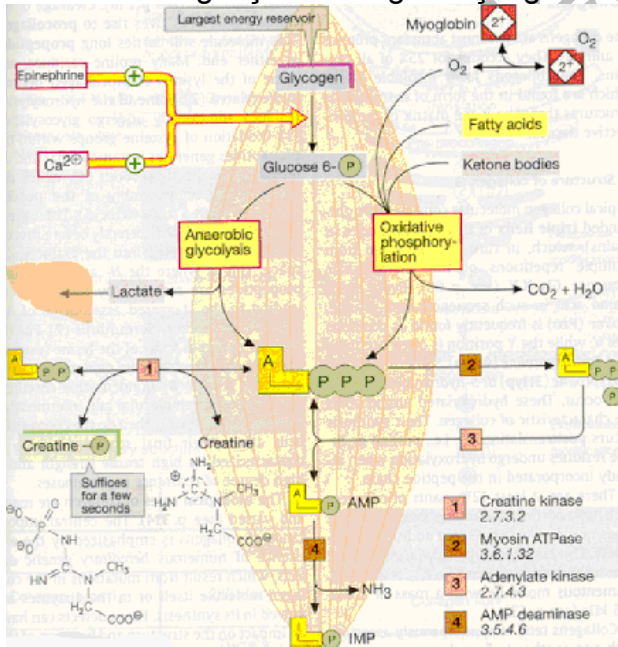
## Kas kasılması sırasında ATP'nin kullanıldığı yerler

- Miyozin ATP-az (kasılma) Kasılma sırasında miyozin başından ATP-az serbest bırakılır ve aktin molekülüne miyozinin bağlanması için enerjiyi sağlayan ATP 'ye fosfat bağı sağlayabilsin.
- Kalsiyum ATP-az ( gevşeme)
- Aksiyon potansiyeli sırasında bozulan iyon dengesinin polarize duruma geçirilmesi için Na-K pompası'nda ATP-az

İskelet kaslarının kasılma-gevşemesi için kullanılan enerji kaynakları

1. Aerobik glikoliz (oksidatif fosforilasyon) (sınırsız zaman)
2. Kasta mevcut depo ATP (3 sn)
3. Fosfokreatin mekanizması(fosfojen sistem) (8-10 sn)
4. Depo glikojenin yıkımı ve anaerobik glikoliz (1.3-1,6dak)
5. Yağ asitlerinin oksidasyonu

Kas kasılma-gevşeme döngüsü için sabit bir enerji kaynağı olarak ATP gereklidir. Kas kasılma-gevşeme döngüsü için gerekli ATP çeşitli yollardan sağlanır.



## 1. Kasta mevcut depo ATP

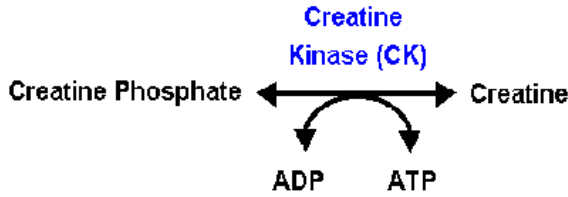
- ATP deposu her zaman otomatik olarak dolu tutulur. Oksijen yokluğunda kaslar depo ATP yi kullanırlar. İskelet kasında ATP depoları çok kısa ömürlüdür; olasılıkla 1 saniyeden kısa süreli kasılma için

gerekli enerjiyi sağlayabilirler. Ancak bu şekilde kas aktivitesi sadece 3 sn sürer.

## 2. Fosfokreatin Mekanizması

- Yardımcı bir depo olarak fosfokreatin;
- Hücrelerde fosfokreatin ATP'ye oranla 3-8 kat daha fazla bulunur. Ekstra **8-10 sn** lik kas gücü sağlayabilir.
- **Kısa süreli patlayıcı kas gücü** için kullanılır. Fosfokreatinin yüksek enerjili bağı vücut koşullarında 13000 kalordir. (ATP 12000 kalori)
- Hücrede ATP varlığında fosfokreatin sentezlenir.

5 µmol ATP, memeli iskelet kasının 0,5 saniyede 10 kasılma yapmasına yeter. Kasılma sırasında ATP'nin hızla eksilmesi, **kreatin kinaz** etkisiyle **kreatin fosfat** ve **ADP**'den ATP oluşturularak önlenir.



Dinlenme Halinde;

Metabolizmadan  $ATP + \text{kreatin} \rightarrow ADP + \text{Fosfokreatin}$

Aktif Kas Çalışmasında;

ATP yokluğunda ise fosfokreatin yıkılır. açığa çıkan fosfat ile ATP sentezlenir. Vücuttaki ATP konsantrasyonu sabit kalmış olur.

$\text{Fosfokreatin} + ADP \rightarrow \text{Kreatin} + \text{ATP}$

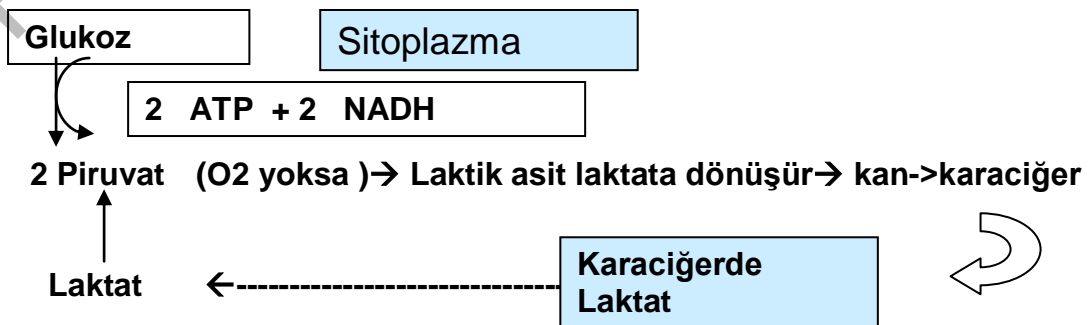
## 3. Glikojenin Oksijensiz yıkımı (anaerobik) glikoliz

- Hızlıdır, fakat;
- 1 mol glikoz başına 2 mol ATP üretilir.

## 4. Aerobik glikoliz (oksidatif fosforilasyon) Oksijenli (aerobik)

- Oksijen gerektirir.
- Glikoz ve Yağ asitleri kaynak olarak kullanılabilir.
- 1 mol glikozun yıkımında Net 30-32 ATP üretilir.
- Aerobik glikolizde, Krebs siklusu (sitrik asit döngüsü, TCA siklusu) ve elektron transport sistemi mitokondride devam eder.

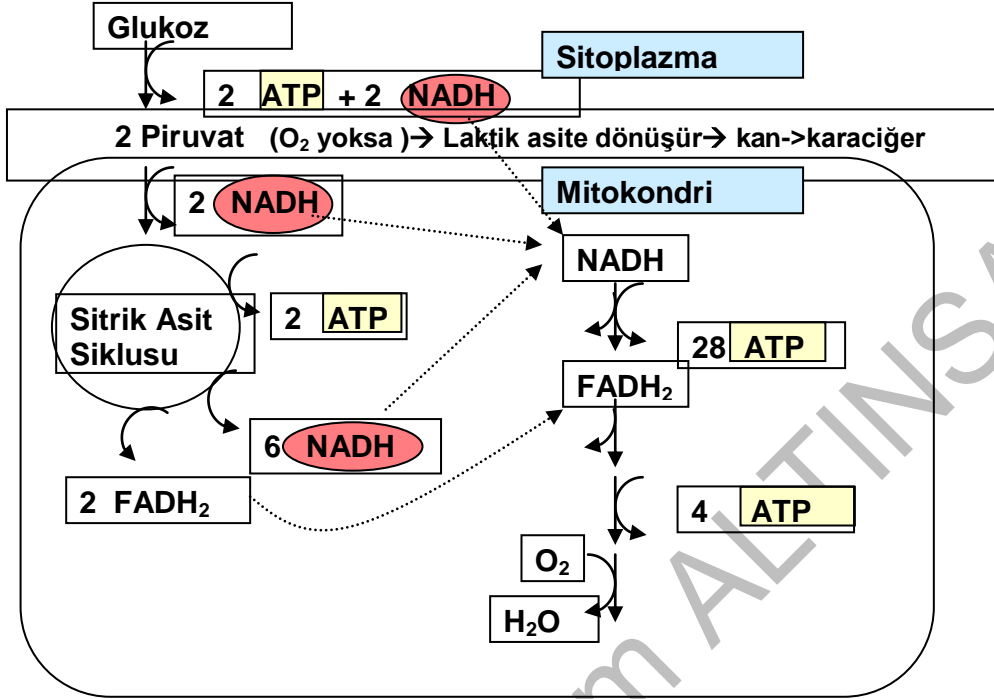
### KORİ Döngüsü





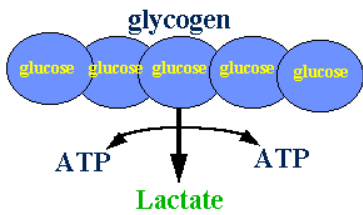
Egzersiz esnasında iskelet kaslarında meydana gelen laktik asit, yükü artmış olan kalp kası tarafından kullanılır.

## Glikoz metabolizması



ATP sentezlenmesi için devreye anaerobik metabolizma girer ve glikoz 2 mol Atp harcanarak piruvik asite sonra 2 mol laktik asite dönüştürülür. 4 mol ATP edilse de 2 molü yolda harcadığı için net enerji 2 mol ATP'dir. Bu yol ile 2-3 dakikalık bir hareket enerjisi sağlanır. Laktik asit tuzu olan laktata dönüştürülür ve kastan kana geçerek karaciğere götürülür. Karaciğerde tekrar piruvata oradan glikoza dönüştürülür. Yani glikoz kaynağı olarak kullanılır. Buna **KORİ Döngüsü** denir. Hızlı iskelet kaslarında ve kasılan veya yorgun kasta ATP, temel olarak glikolizden sağlanır. İskelet kası sarkoplazmasında, I bandlarına yakın granüllerde glikojen depo edilmiştir. Spesifik bir **kas glikojen fosforilazı** etkisiyle glikojenden glukoz serbestleştirilir ve glukoz, glikoliz yolunda yıkılırken ATP oluşur. Tip IIb (Hızlı, Beyaz çabuk kasılan, FG, fast- glikolitik) kas lifleri yüksek glikojen (karbonhidrat) içeriğine sahiptirler ve anaerobik özelliğe sahip kısa ve yoğun alıştırılmalar için daha uygundur.

### ANAEROBIC GLYCOLYSIS



Yavaş ve dayanıklılığı yüksek iskelet kaslarında, miyoglobin vasıtasıyla bol miktarda  $O_2$  depolanmıştır. Kırmızı (yavaş kasılan, SO) kas lifleri biyokimyasal olarak aerobik

dayanıklılık çalışmaları için daha iyi bir donanıma sahiptirler. Bu kaslarda ATP rejenerasyonunun ana kaynağı oksidatif fosforilasyondur. Sitrat döngüsünde oluşan NADH ve FADH<sub>2</sub>'lerden solunum zincirinde ATP oluşur

- Hafif kas işinde enerjinin %60'ı ve daha fazlası yağ asitleriyle keton cisimlerinden sağlanır.
- Ağır ve uzun kas işinde enerjinin %60'ı ve daha fazlası kas glikojeni ve kan glukozundan sağlanır.
- Yemekten sonra kan glukoz düzeyi yüksektir; glukozun oksidasyonu ve glikojene dönüşümü baskın olaylardır; glukoz, laktata dönüşebilir.
- Kanda glukoz düzeyi düşük olduğu durumlarda; yağ asitleriyle keton cisimleri enerji kaynağı olarak kullanılırlar.
- Uzun süren açlıkta yağ asitleri ve keton cisimlerine ek olarak proteinler de enerji kaynağı olarak kullanılırlar.
- Dinlenme halinde iken kalp kasında genellikle aerobik yoldan yağ asitleri, keton cisimleri ve laktatın oksidasyonu ile ATP sağlanır; glukoz çok az kullanılır.
- Ağır iş yükünde ve açlıkta kalp, glikojenden ayrılan glukozu sitrat döngüsünde yıkar ve oksidatif fosforilasyon ile ATP üretir.
- Sağlıklı kalp kası hiçbir zaman laktat üretmez; ancak laktatı kullanır
- 
- İskelet kasları dinlenme halinde iken enerjisini yağ asitlerinin aerobik yıkımlanmasından elde eder.
- Orta ve ağır şiddette bir egzersiz sırasında ilk 45-90 saniye anaerobik yollardan enerji ihtiyacını karşılar. Bedenin oksijen kullanımının en yüksek düzeye ulaşmasına Maximal Kullanım(uptake) ya da Maksimal aerobik kapasite denir.

### 5.Yağ asitlerinin oksidasyonu

- 4-5 saatten fazla süren egzersizlerde glikojen depoları tükendikten sonra yağ asitleri oksidasyona katılır.

### KAS LİFİ TİPLERİ:

Kas lifleri farklı mekanik ve kontraktıl özellikler gösterirler.Sınıflandırılmaları maksimum tansiyona ulaşma sürelerine göre başlıca iki tip lif bulunmaktadır:

- Yavaş kas lifleri (**Tip-I**)
- Hızlı kas lifleri (**Tip-II**) :
  - Tip II a**
  - Tip II b**
  - Tip II c**
- **Yavaş lifler:** Oksijenli enerji metabolizması kullanır yani oksidatif kapasitesi yüksektir ve daha yavaş yorulur.
  - Daha fazla mitokondri ve kılcal damardan zengindir.
  - Liflerin çapları küçüktür.
  - Miyoglobin fazladır.
  - Mukavemete dayalı faaliyetler
  - Duruş(postür) kasları
- **Glikolitik/Hızlı/Beyaz/Tip II Lifler:** 2-3 kez daha hızlı kasılırlar....
- Oksijensiz/Kolay yorulan lifler

- Glikolitik kapasitesi yüksek ve sarkoplazmik retikulumdan Ca<sup>2+</sup> pompalama hızı fazladır.
- Çapları büyüktür ve daha fazla kuvvet oluştururlar.
- Az mitokondri, yoğun miyofibril paketleri içerir.
- Hızlı/hassas hareketler kabiliyetleri vardır.
- Yüksek enerji kullanımını gerektiren kısa anaerobik aktivitelerde önemlidir. Kısa süreli koşu (sprint)

Çoğu kas, birbiri arasına dağılmış yavaş ve hızlı lifleri içerir. Kas lifinin tipini tayin eden, motor sinirdir. Bu yüzden bir motor ünitedeki kas lifleri hep aynı tiptir. Kas lifinin tipine göre motor üniteler, yavaş ve hızlı üniteler olarak ikiye ayrılır. Yavaş üniteleri, yavaş ileten küçük motor nöronlar, hızlı üniteleri, hızlı ileten büyük motor nöronlar innerve eder. Buna **büyüklik prensibi** denir.

	Tip I	Tip IIa	Tip IIb	Tip IIc
Miyozin başı ATP az aktivitesi	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Kas kasılma zamanı (hızı)	Uzun (Yavaş)	Kısa (Hızlı)	Kısa (Hızlı)	Kısa (Hızlı)
Enerji Metabolizması	Oksidatif	Oksidatif-Glikolitik	Glikolitik	
Yorgunluk	Az yorulur	Yorulur	Çabuk yorulur	Çok çabuk yorulur
Motor Ünitedeki lif sayısı	Fazla	Fazla	Az	-----
Motor Sinirin Çapı	Küçük	Büyük	Büyük	-----
Miyogloblin içeriği	Fazla	Orta	Az	-----

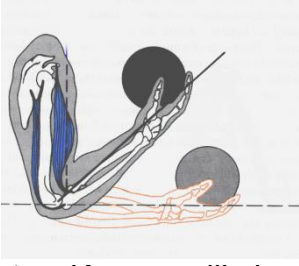
### **KASILMA TİPLERİ; Hareketinin Mekanizması:**

#### **1. İzometrik Kasılma (eş-uzunluklu) (statik): Hareket üretilmez!**

- Kas boyunda değişim olmaksızın enerji harcar, Kasın uzunluğu sabit kalır, tonusu artar.
- Bu tip statik kasılma ile dış iş yapılmaz ancak enerji harcanır. (Ör: Ayakta durmak)
- Bütün doğal kasılmaların başlangıcını izometrik kasılma oluşturur.
- Cismi hareket ettirmeden tartma,
- Kaslar normal konumunda.

#### **2. İzotonik Kasılma (eş-gerimli) (dinamik) Hareket!**

#### **Konsentrik kasılma(orta merkezli)**



- Kasın gerilmesi artarken **boyu kısalır**, kısalarak gerçekleşen bir kasılmadır. Güç üretimi süresince kas kısalır, Konsantrik kasılmaya izotonik kasılma da denir.
  - Fakat eklem hareketi sırasında kas tonusu da değişmek zorunda olduğu için, vücutta meydana gelen kasılmalar izotonik değildir.
  - Dinamik bir kasılma şeklidir. Eğer bir ağırlığı (direnme gücü) yerçekiminden uzağa doğru hareket ettirirsek: Kontraksiyon tipi konsantriktir.
  - Bu kasılım tipinde hareketi kas gücü meydana getirir.
  - Yeterli gerginliğe ulaşıldığında kasın boyu kısalır ve eklemden hareket meydana gelir.
  - Konsantrik kasılmada verim,
    - a- Kas fibrillerinin başlangıç uzunluğuna,
    - b- Kasların kemikler ile yaptığı açığa ,
    - c- Kısalma hızına bağlıdır.
- **Eksantrik kasılma**(dış merkezli)
- Kasın gerilmesi artarken boyu uzar, uzayarak gerçekleşen bir kasılmadır. Kas güç üretir fakat boyu uzar. Gerim yükten küçük olduğu zaman, çapraz köprü döngüleri devam etse bile **kas giderek uzar**. Eğer bir ağırlığı (direnme gücü) yerçekimine doğru hareket ettirirsek: Yani kas taşıdığı nesneyi alçaltırken bu tür kasılma gözlenir.
  - Hareketi ağırlık meydana getirir. Kontraksiyon tipi eksantriktir.
  - Kas grupları eklem hareketine zıt yönde etki gösterirler.
  - Kasılmanın buradaki amacı hareketin yerçekimine bağlı olarak ani bir şekilde gerçekleşmesine engel olmaktır. Kaslar hareketin hızını azaltırlar.  
Ör: Ayakta dururken oturmaya kalkışmak, merdivenden inmek, bir cismi elle aşağı indirme v.b.
  - Kasın uzaması miyofilamanların normal döngünün dışında bir işlem yapması değil, kas üzerindeki yükün etkisiyle oluşur.

Çoğu kas, birbiri arasına dağılmış yavaş ve hızlı lifleri içerir. Kas lifinin tipini tayin eden, motor sinirdir. Bu yüzden bir motor ünitedeki kas lifleri hep aynı tiptir.

Kas lifinin tipine göre motor üniteler, yavaş ve hızlı üniteler olarak ikiye ayrılır.

- Yavaş üniteleri, yavaş ileten küçük motor nöronlar,
- Hızlı üniteleri, hızlı ileten büyük motor nöronlar innerve eder.

Buna **büyüklik prensibi** denir.

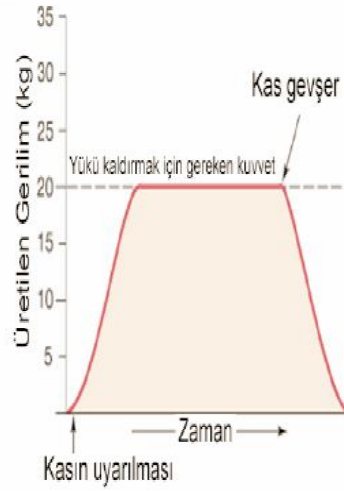
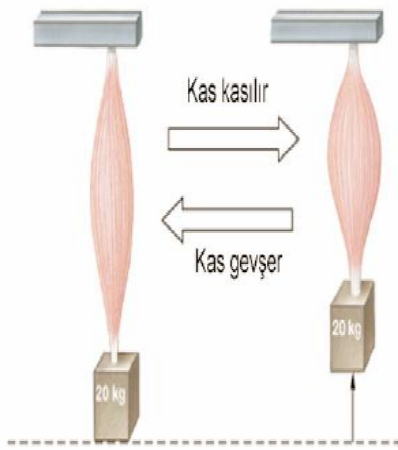
### 3. İzokinetik kasılma

- Sabit hızda, hareket süresince maksimal tonusun devam ettirilmesiyle oluşan bir kasılmadır.

Örneğin serbest stil yüzmede kulaçlarda kolun kasılması, kürek çekmede kolun kasılması gibi.

- Konsantrik kasılmadan farkı, izokinetik kasılmada hareket süresince maksimal tonusun devam ettirilmesidir.
- Eğer bir ağırlığı (direnme gücü) yerçekiminden uzağa doğru hareket ettirirsek: Hareketi kas gücü meydana getirir.
- Kontraksiyon tipi konsantriktir.
- İzokinetik antrenmanlar kas kuvvetini ve dayanıklılığını geliştiren en iyi yöntemdir.

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



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

