

### Giriş

İnsanlar omurgalı canlılardır. Omurgamız merkez olmak üzere, kemikler ve eklemler bedenimizin çatısını oluştururlar. Kemik ve eklemlerin hareketi kaslarımızın oluşturduğu kuvvet sayesinde. Vücudumuzda iskelet, düz ve kalp kası olmak üzere üç tür kas bulunmaktadır. Hangi türden olursa olsun kaslar, elektriksel olarak uyarılabilen dokulardır. Uyarıldıklarında, kasılma yanıtı oluştururlar. Kas hücreleri, ATP (adenozin üç fosfat) molekülünde depolanan enerjiyi, mekanik ise dönüştürme yeteneğine sahiptir. Bu dönüşüm güç oluşumu şeklinde ya da boyda bir değişim şeklinde (kasılma) olabilir. Kaslar, hareketi (iskelet kasları), kanın pompalanmasını (kalp kası) ve besinlerin sindirim sisteminde hareketini (düz kas) sağlar. İskelet kasları, eklemler ve kemiklerin ortak hareketi sonucu yürüme ve koşma gibi hareketler oluşur. Ayrıca yüz ifadeleri, göz hareketi ve solunum gibi daha ince hareketleri de oluşturur. Hareketin yanı sıra postür (duruş), eklem sabitliği ve ısı üretimi gibi diğer önemli konularda görev üstlenir. Oturma, kalkma gibi, postür de kas kasılması sonucunda gerçekleşen bir durumdur. Vücudun hareketsiz olarak kalması da iskelet kaslarının sürekli ayarlamalar yapması ile olur. Oysa kan damarları, sindirim kanalları ve iç organların yapılarında düz kaslar yer alır. Düz kaslar, sindirim, üreme gibi işlemlerde etkin rol oynar. Kasılma süreçleri oldukça uzun olabilmekte ve az enerjiyle uzun süre kasılabilmektedir. Kalp kası (miyokard), kalbimizin duvarlarında bulunur. Kasılıp gevşemeleri sonunda kalp atışlarımızın oluşumunu ve kan dolaşımını sağlar.

### Kemik Dokusu Ve Görevleri

Kemikler yaşam boyu büyüme, yeniden yapılanma (rejenerasyon) ve yıkılma (dejenerasyon) olayları ile sürekli şekillenirler. Kemiklerin şekillenmesi sırasında, üzerinde yer alan kaslar, bağlar ve vücut ağırlığının büyük etkisi vardır. Kemiklerin kırılması durumunda kendilerini tamir yetenekleri çok gelişmiştir. Böylece bozulan bölgede yeni kemik dokusu meydana getirilir. İnsan iskelet sistemi kemikler, kırık ve bağ dokudan oluşur. İskelet, vücut ağırlığının % 20'sini meydana getirir. Bedenimizdeki canlı kemikler, diğer dokularda olduğu gibi oksijen kullanırlar ve metabolizmaları sonucunda artık ürünler üretirler. Kemik, besin maddeleri tüketen, kan desteğine ihtiyaç duyan ve mekanik stres ile şeklini değiştiren aktif dokular içerir. Kemikleri inceleyen bilim dalına osteoloji denir. Kemikler, iskelet olarak isimlendirilen sağlam bir çatı oluşturur. Yeni doğan iskeletinde yaklaşık 270, erişkinde ise 206 kemik bulunmaktadır. İskeletin görevleri, şu şekilde sıralanabilir:

- Vücudu destekler, korur ve kasların oluşturduğu kuvvet aracılığıyla hareketi sağlar. Vücudu yerçekimine karşı destekler.
- Vücudun yumuşak organlarını korur. Kafatasının kaynaşmış kemikleri beyni hasarlara karşı, omurga omuriliği, göğüs kafesi ise kalp ve akciğerleri yaralanmalardan korur.

- Bazı kemiklerin iliği kan hücrelerini üretir.
- Kalsiyum ve fosfor gibi mineralleri depolar.

Tüm kan hücrelerinin oluşumu anlamına gelen hematopoez, kırmızı kemik iliğinde gerçekleşir. Beş yaşına kadar bütün kemiklerde kan hücreleri üretilir. Bebeklerde kırmızı ilik, tüm kemik boşluklarında bulunurken, yaş alma ile birlikte yağ depolamak üzere büyük ölçüde sarı kemik iliğine dönüşür. Yirmi yaşından sonra kırmızı ilik kafatası, kaburga, göğüs kemiği, köprücük kemiği, omurga ve leğen kemiği ile sınırlıdır. Yaş arttıkça bu kemiklerde de üretim düşer. Uzun bir kemiğin eklemlerinin bulunduğu bölgeye epifiz, iki epifiz arası bölgeye ise diyafiz adı verilir. Epifiz bölgesi kemiğin oluşumunda rol oynar. Epifiz kısmının dışı ince sert kemikle örtülü olup, içi süngerimsi kemik dokusundan yapılmıştır. Diyafiz bölümü ise sert kemik dokusundan oluşur. Kemik iliği diyafizin ortasındadır. Diyafizdeki, kemik iliği boşluğu ve süngerimsi kemikteki boşlukların etrafı ince bir bağ dokusuyla çevrilidir. Bu yapı endosteum adını alır ve osteojenik aktiviteye (kemik oluşturabilme) sahiptir. Diyafiz ve epifiz arası kırık yapıya sahip kısım, metafizdir. Burası metabolizmanın en hızlı olduğu kısımdır. Metafiz bölgesindeki hücreler, kemiklerin uzunlaşmasına büyümesinde rol oynar. Kemik çeşitleri

- Uzun kemik: Femur (uyluk kemiği), humerus (kol kemiği) kemiği gibi uzunluğu, genişlik ve kalınlığından fazla olan kemiklerdir.
- Kısa kemik: El bileği kemikleri gibi uzunluk, genişlik ve kalınlığı yaklaşık olarak birbirine eşit olan kemiklerdir.
- Yassı kemik: Sternum (göğüs kemiği) gibi uzunluk ve genişliği kalınlığından fazla olan kemiklerdir.
- Havali kemik: Üst çene (maxilla) ve alın (frontal) kemik gibi içerisinde sinüs adı verilen hava boşlukları bulunan kemiklerdir.
- Düzensiz kemik: Omurlar gibi hiçbir sınıflama içerisinde yer almayan kemiklerdir.
- Sesamoid kemik: Patella (diz kapağı) gibi kas tendon veya liflerinin içinde bulunan kısa kemiklerdir.

Kemik doku, sürekli olarak yapım ve yıkım olayları devam eden dinamik bir dokudur. Yapım ve yıkım sürecinden kemik hücreleri sorumludur. Kemik dokusunda 4 tip hücre belirlenebilir:

- Osteoprogenitör hücre: Periostun iç katında ve Havers kanallarında bulunurlar. Osteoprogenitor hücreleri, olgun kemik hücrelerine farklılaşmaktadır. Bu hücreler, kemikler büyürken, kemiklerde zedelenme veya kırık olduğunda tamir etmek için bölünürler ve osteoblast hücrelerini oluştururlar.
- Osteoblast: Kemik matriksin organik maddesini sentezler. Organik madde, osteoblastı çevreledikçe, yüzeydeki aktif osteoblastlar salgı

işlevini üstlenir. Hapsolan osteoblastlar, osteositlere dönüşür. Organik madde kalsiyum fosfat gibi minerallerin çökmesi ile 8-10 gün içerisinde kireçli bir hâl alır.

- **Osteosit:** Kemikğin esas hücreleridir. Gelişimlerini tamamlamış olduklarından sentez yapamazlar. Uzantıları vardır ve bu uzantılar sayesinde birbirleri ile ilişki kurarlar. Osteositlerin kalsiyumun kemiklerden kana verilmesi ve kalsiyum konsantrasyonunu düzenleme gibi önemli metabolik rolleri de vardır. Paratiroid bezden salgılanan parathormon etkisiyle kalsiyum iyonunun kemikten kana geçişinde aktif rol oynar. Hücrelerin ölmesi hâlinde ise matrikste yıkım meydana gelir.
- **Osteoklast:** Kemikte yıkımı yapan hücrelerdir. 20-100 mikrometre çapında, çok büyük, ve 2-50 arası sayıda çekirdeği olan, çok çekirdekli hücrelerdir. Yıkım işlevleri nedeniyle makrofaj türü olarak da kabul edilirler. Normalde kemik yüzeyinin %1'inden az bir bölümünde etkindirler. Osteoklastlar içerdikleri kollagenaz ve diğer proteolitik enzimlerle kemik eritmektedirler. Eritici enzimlerle yıkılan kemik dokusu, uzantılar aracılığıyla hücre içine alınmaktadır. Parathormon ve kalsitonin yardımı ile kalsiyum metabolizmasında da rol oynar.

### Eklemler

Kemikler iskeleti oluştururken eklem adı verilen özel bağlantılar ile bağlanırlar. Eklemler şekil ve görev açısından farklılıklar göstermektedir. Eklemlerin yapı ve işlevi ile ilgilenen bilim dalı artrolojidir. Kemiklerin hareketi, eklemler aracılığıyla sağlanmaktadır. Kemikğin eklem yapan yüzünü kıkırdak doku tabakası örtmektedir. Kıkırdak dokusu kondrosit hücrelerinden oluşur. Perikondrium denen sıkı bağ dokusu ile çevrilidir. Sinir ve kan damarları bulunmaz. Eklemlerin sınıflandırmasında;

1. Oynamaz Eklemler
2. Yarı Oynar Eklemler
3. Oynar Eklemler

### Hücre Zarının Elektriksel Özellikleri

Bütün canlı hücrelerde, hücrenin içi ve dışı arasında, iyon dağılımı farklılıklarından ötürü bir elektriksel yük farkı bulunur. Hücre zarındaki çift sıralı fosfolipid tabakası, üzerinde elektriksel yük toplama özelliğine sahiptir. Bunun dışında kalan hücre içi ve dışı sıvılar elektriksel olarak nötr iken, fazla eksi yükler zarın hemen iç tarafında, fazla artı yükler ise zarın hemen dış tarafında toplanır. Bu hücre içi ve dışı arasında potansiyel farkı oluşturur ve dinlenim zar potansiyeli adını alır. Uyarılabilir dokular; Vücudumuzda bulunan tüm hücreler bir elektriksel potansiyele sahiptir. Ancak sadece sinir ve kas hücreleri uyarılabilir. Yani, gelen uyarıyı algılayıp, zarındaki elektriksel özelliğini değiştirerek uyarıyı iletebilirler. Bu iletim, aksiyon potansiyeli ile olur. Aksiyon potansiyellerinin yayılması ile sinir sisteminde

haberleşme yani sinir hücreleri arasındaki iletişim gerçekleşir. Kas hücrelerinde ise kasılmayı başlatır. Uyarılabilen hücrelerin aktif oldukları dönemde bazı iyonların hücre içine ve dışına hareketleri sonucu zar potansiyeli değişimine aksiyon potansiyeli denir.

Dinlenim zar potansiyelindeki bir hücrenin negatif olan iç kısmının gelen uyarı ile birlikte hızla pozitif değerlere doğru kaymasına depolarizasyon denir. Ancak zar potansiyeli sürekli bu durumda kalmaz ve hızla, tekrar dinlenim zar potansiyeline dönmeye repolarizasyon denir. Repolarizasyon sonrası zar potansiyelinin dinlenimdeki durumundan daha da negatif değerlere inmesine hiperpolarizasyon denir.

**Esik değeri:** Uyarılabilen hücreye gelen bir uyarı dinlenim zar potansiyelinde +15 mili voltluk bir değişim yaratırsa ilk depolarizasyon dalgasından sonra depolarizasyon hızı artar yani aksiyon potansiyeli oluşturabilir. Aksiyon potansiyelini başlatabilen bu noktaya esik değeri denir. Hep yada hiç ilkesi: Uyarılabilen hücrelerde ancak esik ve esik üstü uyarılar tek tip aksiyon potansiyeli oluşturabilir. Esik altı uyarı ise aksiyon potansiyeli oluşturamaz. Buna hep yada hiç yasası denir.

**Duyarsız dönem:** Bir sinir sinyali ile aksiyon potansiyeli oluştuktan hemen sonra, esik değerini aşan bir başka uyarı aksiyon potansiyeli oluşturamaz. Buna duyarsız dönem denir. İki bölüme ayrılır:

**Mutlak duyarsız dönem:** Uyarı şiddeti ne kadar yüksek olursa olsun bir kez aksiyon potansiyeli oluştuktan sonra ikinci bir aksiyon potansiyelinin asla oluşmadığı dönemdir.

**Bağıl duyarsız dönem:** Ancak çok şiddetli uyarıların aksiyon potansiyeli oluşturabildiği dönemdir.

### Kas Fizyolojisi

Kaslar, kas lifleri olarak isimlendirilen özelleşmiş hücrelerden oluşmaktadır. Ana görevi kasılmadır. Kemiklere, iç organlara ya da kan damarlarına bağlanan kaslar, hareketten sorumludurlar. Neredeyse vücudun tüm hareketi, kas kasılmasının bir sonucudur. Ancak, hücrede sillerin (kirpiklerin), sperm hücrelerindeki kamçı ve bazı beyaz kan hücrelerinin amip benzeri hareketi istisnai durumları oluşturmaktadır.

### İskelet Kasları

Hareket sistemi, iskeleti oluşturan kemikler, eklemler ve gücü sağlayan kaslardan meydana gelir. İskelet kasları, genellikle sıkı bağ dokusundan oluşan tendon ile kemiklere tutunurlar. Birçok kasın tendonu eklemlere uzanır ve bu yolla eklem sabitliğini sağlar. Bu durum özellikle eklem sabitlenmesinde kas tendonlarının görev aldığı diz ve omuz eklemlerinde önemlidir. Vücut sıcaklığını sürdürebilmek için ısı üretimi, kas metabolizması sonucu açığa çıkan bir üründür. Vücutta üretilen ısıнын %85'i kas kasılmasının sonucudur. Kasları inceleyen bilim dalına miyoloji denir. Latince Muskulus,

kas anlamına gelmektedir. Kaslar hareket sisteminin aktif unsurlarıdır. İnsan vücudu 600'den fazla iskelet kası içermekte ve tüm vücut ağırlığının %40'ını oluşturmaktadır. Mikroskop altında incelendiğinde enine çizgilenme gösterir. Bu nedenle çizgili kas, kemiklere bağlı oldukları için de iskelet kası şeklinde isimlendirilirler. Hücreleri silindirik, uzun ve çok çekirdekli. Erişkin bireylerde boyları 20 cm'ye kadar olabilir. Özel bir isimle kas lifleri olarak ifade edilir.

İskelet kas hücreleri ileri derecede farklılaşmış, çoğalmayan hücreler olduklarından kasta herhangi bir hasar olduğunda uydu (satellit) hücreler denilen farklılaşmamış kök hücreler devreye girer. Uydu hücreler her şey yolunda iken ortamda sadece bulunurken, bir hasar durumunda etkinleşerek çoğalırlar. Yerleşim yerleri kas lifinin uzunluğu boyunca plazma zarı ile bazal membran arasındadır.

Her kas lifi, birkaç yüz ile birkaç bin miyofibril içerir. Bir miyofibrilde yan yana uzanan 3000 aktin ve 1500 miyozin filamentleri (iplikçisi) bulunur. Kalın filamentler, sadece miyozin moleküllerinden oluşur. Miyozin filamentleri, her birinin ağırlığı 480.000 olan 200 veya daha fazla miyozin molekülünden oluşmuştur. İskelet kasında kasılmayı sağlayan proteinlerden başka, yapısal proteinler de vardır.

Titin molekülleri, aktin ve miyozin filamentlerini yerlerinde tutan bir iskelet görevi yapar.

Sarkomerdeki Z çizgisini M çizgisine bağlar. Aktinin proteini, aktinleri Z çizgisine bağlar. Desmin ise Z çizgilerini hücre zarına bağlayan proteindir. Normalde hücre zarı altında bulunan distrofin proteini, aktin filamentini zarın dış yüzündeki glikoproteinlere (distroglikan) bağlar. Distrofin-glikoprotein kompleksi kasa esneklik ve güç verir. Tüm yapısal proteinler, filamentleri düzgün bir sıralanma içinde tutarak, her bir sarkomerdeki kasılmanın, tüm kasın oluşturduğu kuvvete katılmasını sağlar.

**Motor birim:** İskelet kasları omurilik ön boynuzunda veya beyin sapında bulunan motor sinirler tarafından doğrudan uyarılırlar. Bu motor nöronlar, üst merkezlerden

gelen uyarıları değerlendirirler ve bir uyarı oluşturup kasın kasılmasına neden olurlar ya da uyarı oluşturmazlar. Motor sinirlerin aksonları miyelinlidir ve vücudumuzdaki en geniş çapa sahip olan sinirlerdir. Her bir iskelet kas lifinin kasılabilmesi için motor sinirinden uyarı alması gerekir. Motor sinir beyin veya omurilikten gelen uyarıları kaslarımıza taşır. Sinir hücresi ile iskelet kas lifi arasında kurulan bağlantıya sinir-kas kavşağı denir. Bu kavşak (sinaps) kas lifinin orta bölgesindedir. Sinir kas kavşağında bulunan yapılar:

**Motor sinir:** Motor sinirin aksonu kasa ulaştığında dallara ayrılır ve her bir dal ayrı bir kas lifinde sonlanır. Sinaps bölgesindeki akson, akson yumrusu oluşturmuştur. Burada bolca mitokondri ve vesikül içinde depolanmış asetilkolin bulunur.

**Sinaptik aralık:** Sinir ucu ile kas lifi zarı arasındaki 20-30 nanometrelik boşluğa denir. 3. Kas lifi: Sinaps bölgesinde kas zarı hücre içine doğru kıvrımlar yaparak motor sinirin akson yumrusunu hafifçe çevrelemiştir. Sinir hücrelerinin taşıdığı aksiyon potansiyeli şeklindeki uyarılar, ilgili kas lifinde kasılmaya neden olur. Bu olaylar sırası ile şöyle meydana gelmektedir:

1. Aksiyon potansiyeli motor sinir boyunca yayılarak sinaps bölgesine kadar ulaşır.
2. Gelen uyarı ile sinaptik yumrulara bulunan voltaj kapılı kalsiyum kanalları açılır. Sinir lifine giren kalsiyum iyonları asetilkolin vesiküllerinin içeriğini boşaltmasını sağlar.
3. Sinir ucundan sinaptik aralığa asetilkolin salınır.
4. Asetilkolin, kas lifi tarafında bulunan, özel reseptörlerine bağlanır. Asetilkolinin bağlandığı reseptörler, iyon kanalı hâline dönüşürler. Kas lifi içine giren iyon ağırlıklı olarak sodyumdur.
5. Bu durum kas lifinde son plak potansiyeli denen dereceli potansiyeli başlatır. Bu potansiyel eşiğe ulaşırsa aksiyon potansiyelini başlatır.
6. Kas zarı boyunca yayılan aksiyon potansiyeli, T tubülleri aracılığıyla, kas lifinin merkezine doğru ulaşır. T tubülleri üzerinde bulunan ve voltaj kapılı kalsiyum kanallarını oluşturan dihidropiridin reseptörleri, elektriksel olarak uyarılır. Dihidropiridin reseptörleri, sarkoplazmik retikulum üzerinde bulunan ve ligand kapılı kalsiyum kanalı olan, ryanodin reseptörleri üzerinde bulunan yalancı ayaklarını çekerek açar.
7. Ryanodin reseptörlerinin açılması ile sarkoplazmik retikulumdan hücre içine kalsiyum dolar.
8. Salınan kalsiyum troponin C'ye bağlanır. Aktinin etkin noktaları açılır. Kasılma olayının temelini oluşturan aktin ve miyozin etkileşir. Güç darbesi oluşturularak miyozin başları 90°'den 45°'ye eğilir. Bu arada miyozin başına bağlanmış olan ATP de yıkılır. Kasılma gerçekleşir.

Gevşeme ise şu şekilde gerçekleşmektedir:

İskelet kasında kasılma için enerjiye ihtiyaç olduğu gibi gevşeme için de enerjiye gerek vardır.

1. Sinaptik aralığa salınan asetilkolin, asetilkolinesteraz enzimi ile yıkılır.
2. Miyozin başına bir ATP bağlanır ve aktin ile miyozinin bağlantısı kesilir.
3. Kalsiyum, troponin C' den ayrılır.
4. Fazla kalsiyum, sarkoplazmik retikuluma özel kalsiyum pompaları ile geri pompalanır ve burada depo edilir.
5. Gevşeme olayı gerçekleşmiş olur.

**Enerji:** İskelet kasları hem uyarılmaları sırasında hem kasılma hem de gevşeme sırasında enerji kullanır. Başka hiçbir hücre tipinde, ATP'nin yıkılma hızı dinlenme durumundan, aktif kasılmaya geçmiş bir kas lifinde olduğu gibi bir anda, bu kadar çok yükselmez. Kasılmanın



başlangıcında kas lifi içinde bulunan çok küçük miktardaki depolanmış ATP, sadece birkaç kasılma için yeterli olur. Bu nedenle kas lifi kasılmaya devam edecekse, ATP molekülleri ini kasılma sırasındaki yıkılma hızına uygun bir şekilde metabolizma ile üretmelidir. Kas lifi üç şekilde ATP üretebilir:

1. Kreatin fosfat depolarından: Kreatinfosfat (CP), kreatin ve fosfata parçalanarak, fosfatını ADP'ye verir. Bu şekilde ATP üretimi çabuk olmasına rağmen kasılmayı ancak saniyelerle sürdürebilir.  $CP + ADP \leftrightarrow C + ATP$
2. Mitokondride oksijenli solunum: Orta şiddetteki kas aktivitesinde kas kasılması için kullanılan ATP'nin çoğu oksijenli solunumdan sağlanır. Glukoz, hücre içinde önce piruvata, ortamda yeterli oksijen varlığında, mitokondride su ve karbondioksit kadar indirgenir ve net 38 ATP elde edilir.
3. Sitoplazmada oksijensiz solunum: Halter kaldırma, 100 m koşu, atletizm gibi hızlı kas aktivitesi gerektiren durumlarda enerji, oksijensiz solunum ile sağlanır. Ancak bu sayede en fazla 1 dk. kas kasılması sürdürülebilir. Bu yolla hücre içinde oluşan piruvat mitokondriye gitmez ve laktik asite indirgenir ve net 2 ATP kazanılır. Reaksiyon çok hızlıdır.

**Hızlı ve yavaş kas lifleri:** Vücudumuzda bulunan kaslar hızlı ve yavaş kasların bir karışımından oluşur. Yavaş kaslarda, yavaş kas lifleri çoğunlukta iken hızlı kaslarda ise hızlı lifler fazladır. Bir kas lifinin hızlı veya yavaş olmasını belirleyen faktör, miyozin basının ATPaz enziminin çalışma hızıdır. Bu özelliğe göre iskelet kasları kabaca iki gruba ayrılır:

**Yavaş lifler (tip I):** Metabolizmaları için oksijenli solunum önemli olduğu için gelişmiş damar sistemi vardır ve kanlanma fazladır. Oksijenli solunum mitokondride gerçekleştiği için mitokondri sayısı fazladır. Kasta oksijen bağlayan miyoglobin miktarı fazladır. Bu nedenlerle kırmızı renkli görülürler. Sarkoplazmik retikulumun kalsiyum pompalama hızı yavaştır.

**Hızlı lifler (tip II):** Sarkoplazmik retikulum gelişmiştir, çünkü kasılma için gerekli kalsiyumu sağlar. Hızlı lifler, hızlı enerji sağlamak için oksijensiz solunumu kullandığı için glikolitik enzim miktarı fazladır. Daha az mitokondri ve kan akımı içerir. Miyoglobinin miktarı da az olduğu için beyaz renkli görülürler.

İskelet kaslarında kasılma çeşitleri:

İskelet kaslarımız boylarını kısaltarak, boyunu değiştirmeden sadece gerimini artırarak hatta boyunu uzatarak kasılabilir. Vücudumuzda karmaşık hareketlerimiz sırasında sürekli farklı kasılma tipleri oluşmaktadır. Kasılma sırasında, kas boyunda bir kısalma meydana geliyorsa, yani bir yük belirli mesafeye taşınıyorsa, bu tür kasılmaya izotonik kasılma denir. Yerde duran bir çantayı kaldırmak. Bir kas boyunu değiştirmeden, sadece gerimini artırıyor ise bu kasılmaya

izometrik kasılma denir. Çok ağır bir cismi kaldırmaya çalışıp kaldıramadığımızda yaptığımız kasılma izometrik kasılmaya örnek olarak verilebilir. Kasın boyunu uzatarak kasılmasına ise eksentrik kasılma denir. Bir ağırlığı yere koyarken kol kaslarımız uzayarak kasılır. Merdiven inerken yine bacak kaslarımız uzayarak kasılır. Sağlıklı iskelet kaslarına sahip olabilmek için düzenli egzersiz son derece önemlidir. Kaslar uzun süre kullanılmadıklarında güç kaybına uğrar. Buna atrofi denir. Bu durumda kastaki kasılabilir proteinlerin yıkılma hızı, yapım hızından fazladır. Oysa 6-10 hafta boyunca her gün, sadece birkaç dakika güçlü kasılma yaptırdığımız kas kitlesi hipertrofiye uğrar. Hipertrofi, kas kitlesinin büyümesi demektir. Hipertrofide, kasın aktin ve miyozin filamentleri artar. Buna bağlı olarak lif çapı artar. Yaşam boyu sağlıklı kalabilmek için düzenli egzersiz yapmak gereklidir. Egzersiz, ağırlık kaldırma veya belirli kaslara karşı direnç oluşumunu sağlayan aletler ile kuvvet antrenmanı şeklinde olabilir. Kuvvet antrenmanları vücudumuzdaki kas kitlesini artırarak, eklemler üzerindeki yükü azaltırlar. Yürüme, koşu, yüzme gibi aerobik egzersizler ise kaslar tarafından oksijen kullanımını güçlendirirken, sağlıklı bir kalp ve solunum sistemi için de gereklidir. Sağlıklı bir vücut için hem kuvvet hem de aerobik egzersiz yapmak gereklidir.

### Düz Kaslar

Düz kaslar, iskelet kasına göre çok daha küçük, mekik şeklinde hücrelerden oluşur. Düz kas hücreleri tek çekirdekli ve tüm yaşamları boyunca bölünebilme yeteneğine sahiptirler. Özellikle doku hasarı gerçekleştiğinde salınan bazı faktörler, bu hücrelerin bölünmesini uyarabilir. Düz kaslar, kasılma için gerekli olan, çok miktarda aktin ve biraz da miyozin filamentlerini içerirler. Ancak, iskelet kasındaki gibi yerleşmediklerinden mikroskop altında enine çizgilenme göstermezler. Aktin filamentleri, yoğun cisimler denilen yapılara ısınasal olarak bağlanır. Yoğun cisimler, iskelet kasındaki Z çizgilerine özdestir. Aktin, yoğun cisimlere alfa aktinin ile bağlanır.

Düz kasların uyarılması motor sinirlerce değil, otonom sinir sistemi ile olur. Yani uyarılmaları istemsizdir. Düz kas hücrelerinde sarkoplazmik retikulum az gelişmiştir. Bu nedenle iskelet kasından farklı olarak kasılmanın temelini oluşturan kalsiyumun iki kaynağı vardır:

1. Sarkoplazmik retikulum
2. Hücre dışı kalsiyum: Hücre zarındaki kalsiyum kanalları ile hücreye girer.

**Düz kas tipleri:** Düz kaslar, çok çeşitli organlarda bulunduğu ve kasılma işlevleri çok farklı faktörlerle etkilenebildiği için gruplamak oldukça zordur. Bu nedenle düz kasları çok genel olarak 2 grup altında toplamak mümkündür. Bunlar:

1. Çok birimli düz kaslar: (iris kasları, piloerektör kaslar vb.)

2. Tek birimli düz kaslar (Viseral kaslar): (mide, bağırsak, üreter, damarlar gibi)

Çok birimli düz kaslar: Birbirinden ayrı kas liflerinden yapılmıştır. Her hücre bağımsız yanıt verebilme özelliğine sahiptir. Aynı iskelet kasında olduğu gibi, bu liflerin dış yüzleri, lifleri birbirinden ayırmaya yarayan bazal zar ile kaplanmıştır.

**Tek birimli (viseral) düz kaslar:** Toplu şekilde, birlikte kasılan yüzlerce veya milyonlarca kas hücresinden oluşur. Hücreler, genellikle katlar hâlinde, örtü oluştururlar. Hücre zarlarını birleştiren, birçok yarık kavsak (gap junction) içerirler. Bu sayede bir kas lifinde oluşturulan güç, yanındakine kolaylıkla geçer. Bir hücredeki uyarı diğerine çok çabuk iletilir ve hep birlikte kasılırlar. Tüm içi boşluklu organlarda bulunurlar. Organın hacmini korur ve kasılmasını sağlarlar. Bu kaslar, gerilme ile de uyarılabilirler. Otonom sinir sisteminin nörotransmitterleri, sinirin viskozite adı verilen şişkin kısımlarından düz kas hücrelerinin çok yakınına salınır ve difüzyonla etki eder. İskelet kasından farklı olarak, bazı nörotransmitterler kasılma gücünü artırırken bazıları azaltabilir. İskelet kasında gelen uyarılar, hep uyarıcı yöndedir. İskelet kaslarındaki gibi düz kasların kasılması da hücre içinde ani kalsiyum yükselmesi ile başlar. Kalsiyum, kasılmanın başlangıç aşamasında sarkoplazmik retikulumdan salınırken, devamlı kas kasılmalarını sürdürebilmek için hücre dışı sıvıdan voltaj kapılı kalsiyum kanalları aracılığıyla gelir. Hücre içinde artan kalsiyum iyonu daha güçlü kasılmalara neden olabilir. Düz kaslarda troponin olmadığı için tropomiyozin, aktinin etkin noktalarını kapatamaz. Bu yüzden kasılma ve gevşeme olayları düz kaslarda enzimatik olarak düzenlenmektedir. Düz kas hücresindeki sitoplazmik kalsiyum konsantrasyonu arttıktan sonra olaylar şu şekilde gelişir:

1. Kalsiyum, kalmoduline bağlanır ve bir kompleks oluşturur.
2. Kalsiyum-kalmodulin kompleksi miyozin hafif zincir kinaz denilen enzimi aktive eder.
3. Miyozin hafif zincir kinaz enzimi, miyozinin baş kısmındaki hafif zincirleri fosfor ile eder. Miyozinin ATPaz etkinliği artar. Ortamdaki ATP harcanır.
4. Miyozin fosforile olunca aktin ile bağlanır.
5. Miyozin hafif zincirleri fosforile olduğu süreçte çapraz köprüler sürekli kuvvet oluşturmaya devam eder.

Düz kasın gevşeyebilmesi için bağlanan fosfatın uzaklaştırılması gerekir. Gevşeme sırasında oluşan olaylar; Kalsiyum iyon konsantrasyonu esik değerin altına düştüğünde, sürekli aktif olan miyozin fosfataz enzimi, miyozinin hafif zincirlerine bağlanmış olan fosfatı koparır (defosforilasyon). Böylece düşük miyozin ATPaz özelliği kazanır. Defosforile miyozin bası, aktinden ayrılarak döngü ve dolayısıyla kasılma durur.

Düz kas hücrelerinde sabit bir dinlenme zar potansiyeli yoktur. Dinlenme zar potansiyeli -50 ila -60 milivolt civarındadır. Tek birimli düz kaslarda, iskelet kasındaki gibi aksiyon potansiyeli oluşurken, çok birimli olanlarda normalde aksiyon potansiyeli olmadığı düşünülmektedir. Tek birimli düz kaslarda hem sivri hem de platolu aksiyon potansiyelleri görülmektedir.

### Kalp Kası Yapısı Ve Kalbin Kasılması

Kalp kası mikroskop altında enine çizgilenme göstermesiyle iskelet kasına, istemsiz çalışması ile düz kasa benzer. Hücreler daha küçüktür ve dallanmalar yaparlar. Hücreler arasında, Z çizgilerine yakın, interkalar diskler bulunur. İnterkalar diskler, hücre zarlarının çok sayıda katlanmasından oluşur. İnterkalar diskler, yarık kavşakları bulundurur ve kas hücreleri arasında aksiyon potansiyelinin hızla yayılmasını sağlar. Böylece gelen uyarı ile tüm kalp kası toplu olarak kasılır.

**Kalp yetmezliği:** Kalp kaslarının zayıflamasıdır. Kalp çalışmaya devam eder, ama yeterli miktarda kanı dokulara ulaştırılmaz. Mutlaka tedavi edilmelidir kalbe dönen kan miktarı azaldığı için kalp yeterince kasılamaz ve kanı pompalayamaz. Kalp yetmezliği tedavisinde, dijital glikozit grubu ilaçlar kullanılmaktadır. Bu ilaçlar, hücre zarında bulunan  $Na^+/K^+$  ATPaz pompasını baskılar. Bu baskılamaya, hücre içinde  $Na$  birikimine neden olarak,  $Na^+$ 'un hücre içine girişine engel olurken karşılığında aynı taşıyıcı proteine tutunan kalsiyum da hücre dışına atılamayacaktır. Hücre içinde biriken kalsiyum, kalbin kasılma gücünü arttıracaktır.

Kalp kası dinlenme zar potansiyeli -90 milivolt kadardır. Hızlı depolarizasyon, voltaj kapılı  $Na^+$  kanallarının açılması ve hızla hücre içine  $Na^+$  girişi ile meydana gelir.  $Na^+$  kanallarının kapanması ile küçük bir repolarizasyonun ardından, plato dönemi ortaya çıkar. Platonun oluşmasında yavaş  $Na^+/Ca^{2+}$  kanalları rol oynar. Hücre içine bu kanallardan  $Ca^{2+}$  ve biraz da  $Na^+$  girişi ile depolarizasyon devam ettirilir. Daha sonra voltaj kapılı  $K^+$  kanallarından  $K^+$  çıkışı ile repolarizasyon oluşur. Aksiyon potansiyeli süresi atriyumda 200 milisaniye, ventrikülde 300 milisaniyedir. Aksiyon potansiyeli süresinin uzun olması kalbin normal işlevi için önemlidir. Çünkü bu uzun süre kalbin yeterince kan ile dolmasını ve etkin bir pompa olarak çalışmasını sağlar. Kalpte uyarılma-kasılma bağıntısı şöyledir: Sinoatriyal düğüm (SA), tüm kalp için ana uyarı oluşturan bir orkestra şefi gibidir. SA düğümün oluşturduğu uyarılar, tüm kalp kası hücrelerinin uyarılmasına neden olur ve kalp kası hücrelerinde aksiyon potansiyeli oluşturur. Aksiyon potansiyeli, elektriksel değişim yaratarak hücre zarı boyunca yayılır ve T tubüllerine ulaşır. T tubüllerinde bulunan voltaja duyarlı kalsiyum kanalı şeklinde olan dihidropiridin reseptörlerini uyarır ve hücre dışından, hücre içine kalsiyum girişine neden olur. Hücre içine giren kalsiyum, sarkoplazmik retikulum zarında bulunan ryanodin reseptörlerine bağlanır. Bu bağlanma ile, ryanod in reseptörleri açılarak hücre içine kalsiyum salgılar.



# SAĞ210U-İNSAN BEDEN YAPISI VE FİZYOLOJİSİ

## Ünite 2: Hareket Sistemi

Hücre içinde kalsiyum yükselmesi, kasılma anlamına gelmektedir. Kalsiyum, troponin C'ye bağlanır ve aktin ile miyozin etkileşerek kasılma gerçekleşir.

Gevşemede ise; Kalsiyum iyonlarının bir kısmı,  $Ca^{+2}$ -ATPaz pompaları ile enerji harcanarak, sarkoplazmik retikuluma geri gönderilir. Bir kısım kalsiyum da hücre zarında bulunan  $Na^{+}/Ca^{+2}$  değişimi ile hücre dışına atılır. İkincil aktif taşıma dediğimiz olay ile  $Na^{+}$  iyonları hücre içine alınırken aynı taşıyıcıya tutunmuş olan  $Ca^{+2}$  hücre dışına verilmektedir. Burada sodyum iyonlarını aktif olarak dışarı gönderen  $Na^{+}/K^{+}$  ATPaz pompası, hücre içinde sodyumu düşük seviyede tutarak  $Na^{+}/Ca^{+2}$  değişiminin çalışmasını sağlar. Hücre içinde  $Ca^{+2}$  iyonlarının Troponin C'den ayrılması, gevşemeyi sağlamaktadır.

