



**TFF**

**Türkiye Futbol Federasyonu**

**Turkish Football Federation**



**TFF**

**SAĞLIK EĞİTİM PROGRAMI**

**TAKIM MASÖRLERİ**

**DERS NOTLARI**





Sevgili Sağlık Ekibi Çalışanları,

Bildiğiniz gibi Haziran 2009’da kabul edilen yeni “Sağlık Ekiplerinin Yapılanmaları ve İşleyişleri Talimatı” çerçevesinde Sağlık Ekipleri Eğitimi Programı da yeniden düzenlendi. Bu çerçevede ilki 27-28 Temmuz 2009 ve 3-4 Ağustos 2009 tarihlerinde TFF Sağlık Eğitim Programı 1. Basamak Kursu adı altında yapılan kursların ikincisinin Aralık 2009 tarihinde, üçüncü ve sonuncusunun ise 2010 futbol sezonu bitiminde yapılması planlanmaktadır.

Yine yeni talimat çerçevesinde eğitim programına katılan kişilerin, program sonunda kendi branş programları çerçevesinde sınava tabi tutulmaları öngörülmektedir. Sınavdaki başarı oranını arttırmak ve başarıyı kolaylaştırmak amacıyla, her bir TFF Sağlık Eğitim Kursu sırasında yapılacak olan sınavın bir önceki kursta anlatılanlarla sınırlı olması kararlaştırılmıştır. Elinizdeki bu “TFF Sağlık Eğitim Programı 1. Basamak Kursu Ders Notları” bu amaçla hazırlandı. Bu şekilde kurs sırasında anlatılan güncel bilgilere toplu halde ulaşma imkanı yanında, her an ve her yerde bu bilgileri tekrar tekrar okuma ve gözden geçirme kolaylığı sağlanmış olmaktadır.

Eğitim faaliyetlerinin sporcu sağlığı ve yüksek sportif performans açısından önemi açıktır. Amacımız sağlık ekibi çalışanları olarak hem bireysel gelişimimizi daha ileriye taşımak, hem de Türk futbolunu sağlık alanında bugün olduğu gibi hep en önlere tutmaktır.

Dr. Ömer Taşer  
TFF Sağlık Kurulu Başkanı



# İÇİNDEKİLER

|    |                                                                   |    |
|----|-------------------------------------------------------------------|----|
| 1  | Kemik Anatomisi<br><i>Dr. Selman Demirci</i>                      | 1  |
| 2  | Eklem Anatomisi<br><i>Dr. Ayşin Kale, Dr. Selman Demirci</i>      | 5  |
| 3  | Kas Anatomisi<br><i>Dr. Özcan Gayretli</i>                        | 9  |
| 4  | Genel Fizyoloji<br><i>Dr. Mehmet Ünal</i>                         | 31 |
| 5  | Kan Fizyolojisi<br><i>Dr. Mehmet Ünal</i>                         | 39 |
| 6  | Kalp-Dolaşım Fizyolojisi<br><i>Dr. Gökhan Metin</i>               | 45 |
| 7  | Solunum Fizyolojisi<br><i>Dr. Gökhan Metin</i>                    | 51 |
| 8  | Egzersiz Fizyolojisi<br><i>Dr. Cengiz Dinç</i>                    | 55 |
| 9  | Kas, Kas Kasılması ve Kasılma Tipleri<br><i>Dr. İlker Yücesir</i> | 59 |
| 10 | Enerji Metabolizması<br><i>Dr. İlker Yücesir</i>                  | 67 |
| 11 | Sıvı Elektrolit Dengesi<br><i>Dr. İbrahim Güner</i>               | 75 |



# Kemik Anatomisi

*Selman Demirci*

*İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Anatomi Anabilim Dalı*

Osteoloji: Kemik bilimi

Canlıların kemik yapılarını, fonksiyonlarını ve genel özelliklerini inceleyen anatomi bölümüdür.

## 1- Genel yapı:

Dıştan içe tabakalar:

- Periost (kemik zarı): kemikleri saran zarsı dokudur, ağrıya duyarlı tek tabakadır, kemiklerin enine büyümesinden ve onarımından sorumlu tabakadır.
- Substantia compacta (sert madde): kemiklere şeklini veren inorganik, özellikle kalsiyum ve magnezyumdan zengin doludur.
- Substantia spongiosa (süngerimsi madde): Kemiklerin iç kısmındaki süngerimsi dokudur, içerisinde medulla osseum rubra (kırmızı kemik iliği) veya medulla osseum flava (sarı kemik iliği) yer alır.

Yaşamın başında tüm kemiklerde kırmızı kemik iliği hâkimiyeti vardır ve bu doku kan hücrelerinin yapımından sorumludur, yaş ilerledikçe sadece yassı kemiklerde yaşam boyu kan hücreleri yapımını sürdüren kırmızı kemik iliği kalırken diğer kemiklerde yerini yağ dokusundan zengin olan sarı kemik iliğine bırakır.

## 2- Kemiklerin temel işlevleri:

- Destek: Bedenin şeklini veren sert yapıları sayesinde canlıların kendilerine özgü postürlerini sağlayan elemanlardır.
- Koruma: Bulundukları bölgelere göre organların korunmasında rol alırlar, örneğin kafa kemikleri beyin, göğüs iskeleti kemikleri akciğer ve kalbin korunmasında çok önemlidirler.
- Hareket: oluşturdıkları eklemler ve kendilerine tutunan kaslar sayesinde harekete olanak sağlarlar, hareket sisteminin pasif elemanlarıdır.
- Mineral deposu: Özellikle kalsiyum ve magnezyum tuzlarından zengin depo olarak çalışırlar.
- Kan hücrelerinin üretimi

## 3- Kemik tipleri:

Şekillerine göre kemik tipleri şunlardır:

- Yassı kemikler (ossa planum): kafa kemikleri, göğüs kemiği vb...
- Uzun kemikler (ossa longi): kol, önkol, uyluk ve bacak kemikleri gibi vb...
- Kısa kemikler (ossa breves): el ve ayak bilek kemikleri
- Düzensiz kemikler (ossa irregularia): omurlar, yüz kemikleri vb...
- Havalı kemikler (ossa pneumaticae): içerisinde hava boşluğu olan kemiklerdir, bu boşluklara sinüs adı verilir.

#### 4- İskeletin bölümleri:

İnsan iskeleti temel olarak iki ana bölümde incelenir.

- A- Aksiyal iskelet (gövde iskeleti)
- B- Apendiküler iskelet (üst ve alt taraf veya ekstremiteler kemikleri)

#### A- Aksiyal iskeletin bölümleri:

##### 1- Baş iskeleti (cranium)

A- Neurocranium kemikleri: beyin, beyin sapı ve beyincik için muhafaza oluşturan sağlam yassı kemiklerdir:

- Alın kemiği (frontal kemik): tektir.
- Çeper kemik (parietal kemik): çifttirler
- Şakak kemiği (temporal kemik): çifttirler
- Ard kafa kemiği (occipital kemik): tektir
- Temel kemik (sphenoid kemik)
- Kalbur kemik (ethmoidal kemik)

B- Visserocranium kemikleri (yüz kemikleri):

- Üst çene kemiği (maxilla)
- Alt çene kemiği (mandibula)
- Elmacık kemiği (zygomatic kemik)
- Gözyaşı kemiği (lacrimal kemik)
- Burun kemiği (nasal kemik)
- Damak kemiği (palatin kemik)
- Dil kemiği (hyoid kemik)
- Concha nasalis inferior: Türkçe karşılığı olmayan burnun dış yan duvarında yer alan küçük bir kemiktir.

##### 2- Göğüs kafesi (thorax)

##### 3- Omurga (columna vertebralis)

- Boyun omurları (vertebrae cervicales): ilk 7 omur, kısaca “C” harfi ile ifade edilirler.
- Göğüs omurları (vertebrae thoracicae): “T” harfi ile gösterilirler, 12 adettirler. Örneğin C7 dendiğinde veya yazıldığında 7. boyun omuru anlamına gelir, bu kural diğer bölümler için de geçerlidir.
- Bel omurları (vertebrae lumbales): “L” harfi ile gösterilirler, 5 adettirler.
- Sakrum: çocuklarda 5 ayrı omurken erişkinde tek bir kemik halinde kaynaşmışlardır, “S” harfi ile gösterilirler.
- Kuyruk kemiği (coccyx): çocuklarda 3-4 ayrı omurken erişkinde tek bir kemiktir.

4- Leğen (pelvis iskeleti): sağ ve sol tarafların leğen kemikleri ve sakrum (kuyruk sokumu kemiği) tarafından oluşturulan iskelet bölümüdür.

#### B- Apendiküler iskeletin bölümleri:

##### 1- Üst taraf kemikleri:

- Üst taraf kavşağı kemikleri
- Köprücük kemiği (clavicula)
- Kürek kemiği (scapula)



- Kol kemiği (humerus): Omuz eklemi ile dirsek eklemi arasındaki bölüm kol (brachium) adını alır.
- Önkol kemikleri: Dirsek eklemi ile elbileği eklemi arasında kalan bölüm önkol (antebrachium) adını alır. Bu bölgede iki kemik vardır.
- Döner kemik (radius) önkolun dış yanında yer alır.
- Önkol kemiği (ulna) önkolun iç yanında yer alır.
- El iskeleti
- El bilek kemikleri (ossa carpi)
- El tarak kemikleri (ossa metacarpi)
- El parmak kemikleri (ossa digitorum manus, phalanges)

## 2- Alt taraf kemikleri:

- Alt taraf kavşağı: Leğen kemiği (os coxae)
- Uyluk kemiği (Femur): Kalça eklemi ile diz eklemi arasında bölüm uyluk (femoral bölge) bölgesidir.
- Bacak kemikleri (ossa cruris veya crus kemikleri): Diz eklemi ile ayak bileği eklemi arasına bacak (crus) denir. İki kemik vardır.
- Kaval kemiği (tibia) bacağın dış yanında yer alır.
- Kamış kemiği (fibula) bacağın iç yanında yer alır.
- Diz kapağı kemiği (patella)
- Ayak iskeleti
- Ayak bilek kemikleri (ossa tarsi)
- Ayak tarak kemikleri (ossa metatarsi): Özellikle iki tanesinin Türkçe karşılığı vardır ve klinik önemi fazladır, toplam yedi adet kemikten oluşurlar. Aşık kemiği (talus) ve topuk kemiği (calcaneus).
- Ayak parmak kemikleri (ossa digitorum pedis, phalanges)

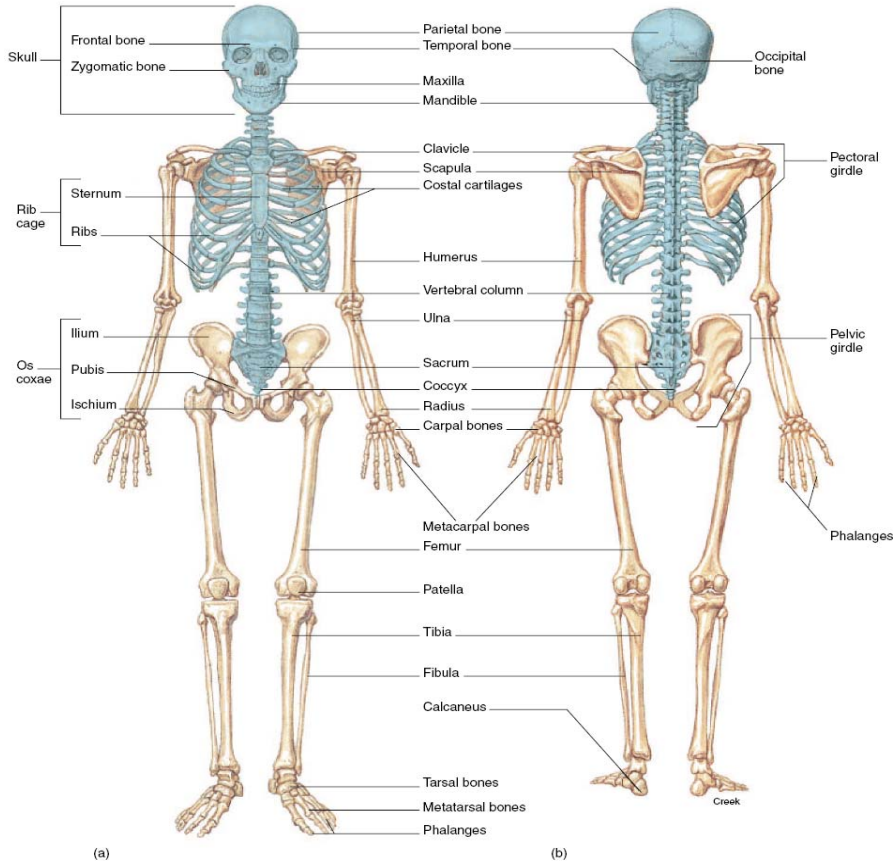


FIGURE 7.1 The human skeleton. (a) An anterior view and (b) a posterior view. The axial portion is colored light blue.



# Eklem Anatomisi

Ayşin Kale

İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Anatomi Anabilim Dalı

Selman Demirci

İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Anatomi Anabilim Dalı

## ANATOMİ

- Normal bedenin şekil ve yapısı ile bedeni oluşturan birçok organ ve bu organların şekil, yapı, işlev ve birbirleriyle olan ilişkilerini, komşuluklarını inceleyen bilim dalı.
- **Nomina Anatomica** adı verilen, uluslararası kullanılan bir terminolojisi vardır.
- Tüm tarifler **positio anatomica normalis** adı verilen bir duruşa göre tanımlanır.
- **Positio anatomica normalis**, ayakta dik duran, yüzü öne dönük, gözleri ile karşıya bakan, kolları yanlarda sarkık, avuç içleri öne bakan, ayakları bitişik bir şekilde duran kişinin pozisyonudur.

## SYSTEMA LOCOMOTORIUM (HAREKET SİSTEMİ)

- 1- *Osteologia* (Kemikbilim)
- 2- *Arthrologia* (Eklembilim)
- 3- *Myologia* (Kasbilim)

## ARTHROLOGIA

- Anatominin eklemleri inceleyen dalı
- Hareketli olsun ya da olmasın kemiklerin herhangi bir şekilde birleştikleri yerlere **EKLEM** (*articulatio*) denir.

## SINIFLANDIRMA (FONKSİYONEL)

1. *Oynamaz eklemler*
2. *Yarı oynar eklemler*
3. *Oynar eklemler*

## SINIFLANDIRMA (MORFOLOJİK)

- 1- *Nonsinoviyal eklemler*
  - a- *Fibröz eklemler* (*Articulationes Fibrosae*)
  - b- *Kartilaginöz eklemler* (*Articulationes Cartilagineae*)
- 2- *Sinoviyal eklemler* (*Articulationes Synoviales*)

### EN GÜNCEL SINIFLANDIRMA BUDUR

## SİNOVİYAL EKLEMLER

Vücuttaki eklemlerin çoğunluğu bu gruptandır. Bu eklemlerde eklem yüzleri ayrı ayrı hiyalin kıkırdak ile kaplanmış. Eklem kapsülü eklem çevresini sarar. Bu eklemlerin tam hareketli olabilmesi için mutlaka bulunması gereken yapılar vardır. Bunlar:

**1- Cavitas articularis (Eklem boşluğu):** Kıkırdak kaplı yüzeyler ve eklem kapsülünün iç yüzü arasındaki boşluktur. İçi sinovyal membrandan salgılanan sinovyal sıvı ile doludur.

**2- Cartilago articularis (Eklem kıkırdağı):** Eklemi oluşturan kemiklerin eklem yüzlerini (facies articularis) kaplayan hiyalin kıkırdaktır. Yüzeyleri cilalı ve kaygandır. Tampon görevi yapar. Darbelerin kemiğe yansımını azaltır. Eklem kıkırdaklarının sinirleri ve kan damarları yoktur. Kemik iliğindeki kan damarlarından beslenirler.

**3- Capsula articularis (Eklem kapsülü):** Kollajen liflerden yapılmıştır. Eklem yüzlerini ve eklem boşluğunu tamamen sarar. Yapı ve görev bakımından iki tabaka halindedir. Dışta fibröz membran, içte sinoviyal membran. Sinoviyal membran tarafından salgılanan **sinovya sıvısı** eklem yüzlerinin kayganlığını artırır, eklem kıkırdağının beslenmesini sağlar ve eklemeye uygulanan basıncı tüm eklem yüzlerine eşit olarak dağıtır.

**4- Ligamenta articularis (Eklem bağları):** Eklemi oluşturan kemikler birbirlerine eklem bağları ile bağlanırlar. Eklem kapsülü de bir eklem bağı sayılabilir. Eklemeye katılan kemikleri birarada tuttukları için, aşırı ve istenmeyen yönlerdeki hareketleri sınırlayarak, eklem yaralanmalarını önlerler.

Diz eklemindeki gibi eklem boşluğu içinde de bağlar olabilir. Bazı bağlar kapsülün dışında ve kapsül ile ilişkisi olmaksızın bulunurlar.

**Bazı sinovyal eklemlerdeki ortak yapı dışındaki özellikler:**

**Eklem diski:** İki kemiği birarada tutma veya eklem yüzeylerini uygunlaştırma gibi görevleri olan fibröz kıkırdak disklerdir. Örnek: Diz eklemindeki menisküsler.

**Labrum articulare:** Eklem yüzeylerini derinleştirmeye yarayan özel fibröz kıkırdak oluşumlarıdır. Örnek: Labrum glenoidale (omuz eklemi).

**Bursa synovialis:** İçi sinovyal sıvı ile dolu keseciklerdir. Su minderi görevi yaparlar. Kirişin kemik, başka bir kiriş veya bağ ile karşı karşıya olduğu yerlerde bulunur. Derinin bir kemik çıkıntısı ile karşı karşıya olduğu yerlerde de bulunabilirler. Sürtünmeyi azaltırlar. Bazıları eklem boşluğu ile ilişkidir.

## **EKLEM HAREKETLERİ**

**1- Kayma hareketi:** En basit harekettir. Eklemlerde bir yüz, diğer bir yüz üzerinde kayarak hareket eder.

**2- Açısız (Angular hareket):** Eklemi oluşturan kemikler arasındaki açının azalıp çoğalması şeklinde olur. İki eksen etrafında olur. Transvers (yatay) ekseninde fleksiyon-ekstensiyon, sagittal ekseninde abduksiyon-adduksiyon hareketleri yapılır.

**Fleksiyon (Bükme hareketi):** Vücudun bölümleri veya eklem kolları (kemikler) arasındaki açının küçülmesini sağlayan harekettir. Dirsek eklemünde ön kolun, kola yaklaşması bir fleksiyondur.

**Ekstensiyon (Açma hareketi):** Fleksiyonun tersi harekettir. Açı büyümüş olur. Fleksiyondaki ön kolun koldan uzaklaşması ekstensiyondur. Kuvvet devam ederse hiperekstensiyon söz konusu olur.

Vücudun öne eğilmesi **fleksiyon**, arkaya eğilmesi **ekstensiyondur**. Ayak bileğinin ayak tabanına bükülmesine **plantar fleksiyon**, yukarı bacağı doğru bükülmesine **dorsifleksiyon (ekstensiyon)** denir. Üst ekstremitenin

(kolun, ön kolun ve elin) öne yukarı kaldırılması **fleksiyon**, aşağı ve arkaya hareketi **ekstensiyondur**.

**Abduction (Uzaklaştırma):** Orta plandan uzaklaşması hareketidir.

**Adduction (Yaklaştırma):** Abduksiyonun tersidir. Alt ekstremitenin (uyluğun, bacağın ve ayağın) veya üst ekstremitenin aynı yönde harekete devam ederek karşı tarafa geçmesi hareketine aşırı adduksiyon denir.

**3- Sirkumduksiyon (konik hareket):** Bir nokta etrafında yapılan dairesel dönme hareketidir. Birbirini izleyen fleksiyon, abduksiyon, ekstansiyon ve adduksiyon hareketlerinin bileşimi sonucu ortaya çıkar. En iyi omuz ve kalça ekleminde yapılır.

#### **4- Rotasyon (döndürme hareketleri):**

**Pronation:** Ön kolda radius'un uzun eksen etrafında iç yana doğru döndürülmesidir. Normal anatomik pozisyonndaki kişi bu hareketi yaptığıında avuç içi arkaya bakar.

**Supination:** Ön kolda radius'un uzun eksen etrafında dış yana dönmesidir. Arkaya bakan avuç içi, bu hareket yapılırca (avuç içi) öne bakar duruma gelir.

**Inversiyon:** Ayak tabanının içe döndürülmesine denir.

**Eversiyon:** Ayak tabanının dışa döndürülmesidir.

**5-Opposition:** El başparmağının diğer parmakların ucuna getirilmesidir. Bu sayede kalem tutabiliriz.

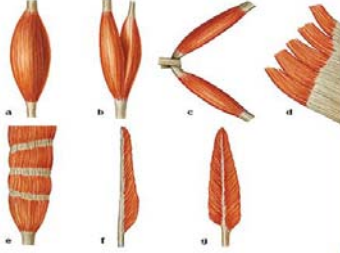
**Reposition:** Opposition yapmış el başparmağının normal anatomik pozisyona getirilmesidir.



# Kas Anatomisi

Dr. Özcan Gayretli

İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Anatomi Anabilim Dalı



## MYOLOGIA

Bir hareket için kinetik kuvvet kaslarda oluşur. Mikroskopik olarak çizgili kas, düz kas ve kalp kası olmak üzere 3 tip kas vardır.

Çizgili kaslar, istemli çalışır.

Sinirlerini serebrospinal sistemden alırlar.

Düz ve kalp kasları, istem dışı çalışırlar.

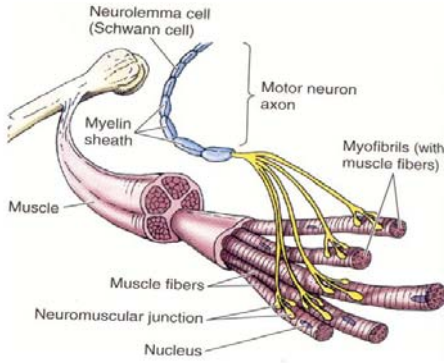
İç organların ve damarların duvarlarında bulunan düz kas lifleri, sinirlerini otonom sinir sistemi den alırlar.

**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



## Çizgili Kaslar



İskelet kası da denilir.

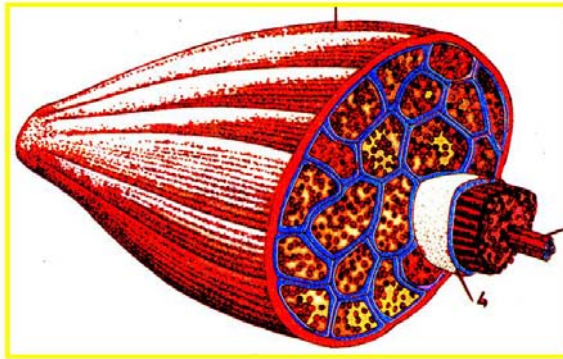
Aktif elemanlar olup hareket için gereken kuvveti sağlarlar.

Lifler bir araya gelerek demetleri (fasciculus);

Demetler de kasın tamamını oluştururlar.

**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



triangular



unipennate



bipennate



multipennate

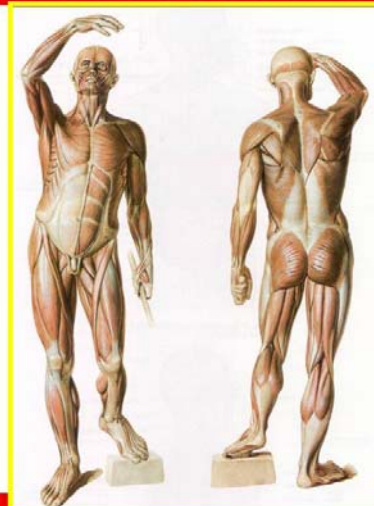
**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



**TFF**

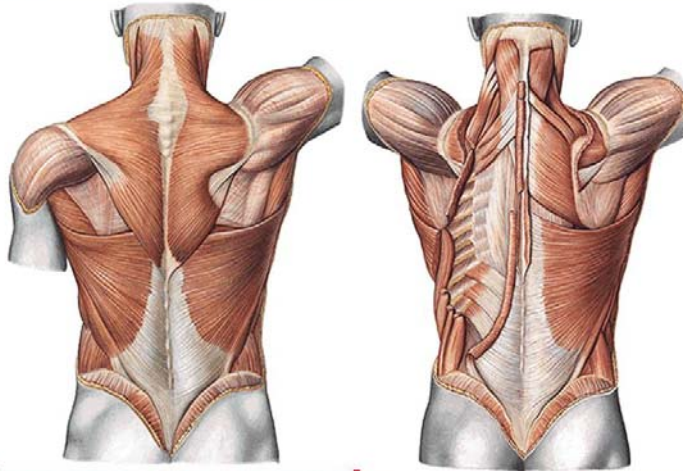
Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



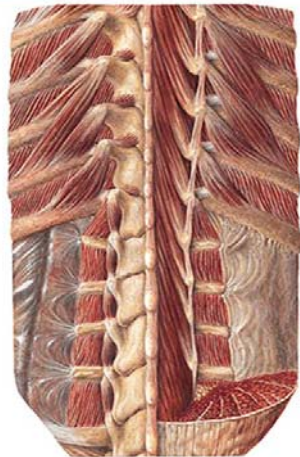
**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation

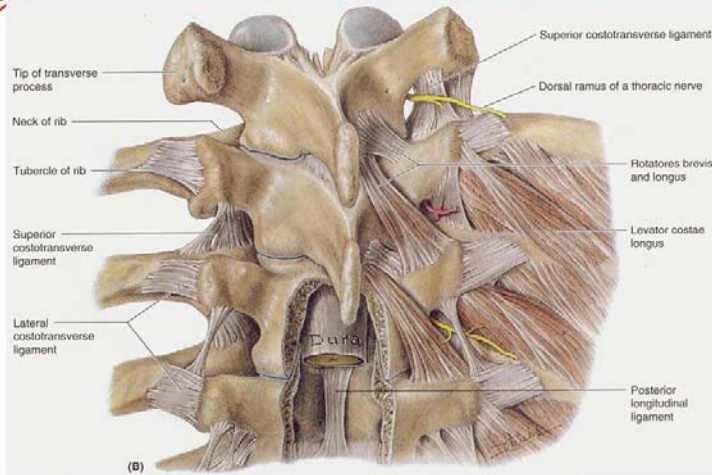




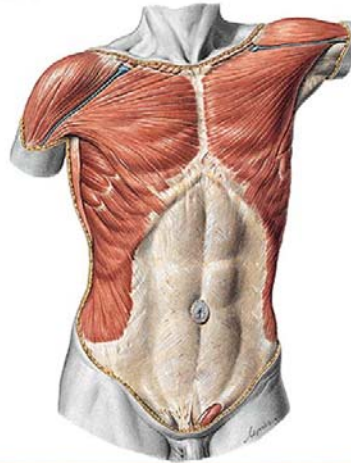
TFF  
Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



**TFF**  
Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation

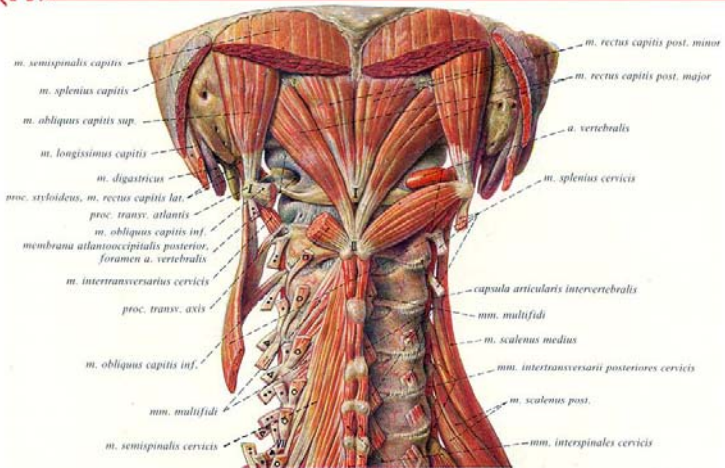


TFF  
Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



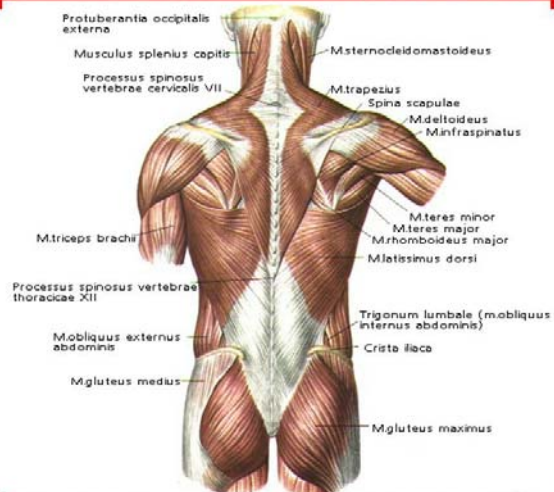
**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



*Ensenin ve sırtın en yüzeysel kasıdır.*

*Linea nuchalis superior,  
protuberantia occipitalis externa,  
lig. nuchae,*

*C7 ve T1-12 spinal çıkıntıları ve  
lig. supraspinalia'dan başlar.  
Clavicula, acromion ve spina scapulae'de  
sonlanır.*

*Siniri; motor n. accessorius.  
Skapula' ya elevasyon, adduksiyon, retraksiyon  
ve depresyon yaptırır.*

**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



*Geniş, yassı, üçgen biçiminde bir kastır.*

*Trapez kasın önünde T7-12 spinal çıkıntıları, son 3-4  
kaburga ve crista iliaca'dan başlar.*

*Crista tuberculi minoris humeri'de sonlanır.*

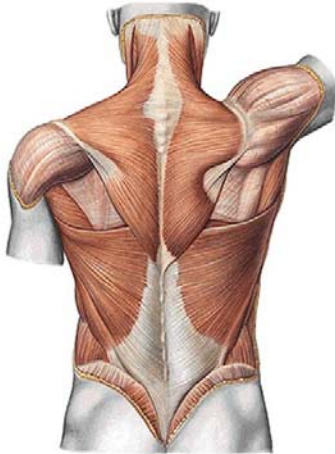
*Görevi; kola içe rot, ekst ve adduk yaptırmaktır.*

*Kolu ve omuzu aşağı arkaya çeker.*

*M. latissimus dorsi:*

**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



*M. rhomboideus minor:*

*M. rhomboideus minor:*

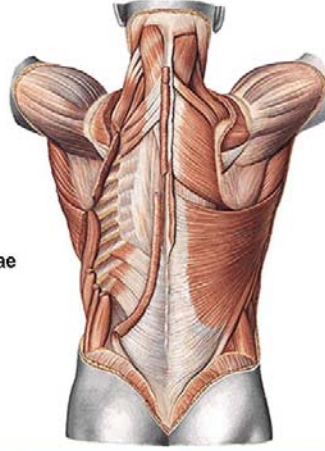
**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



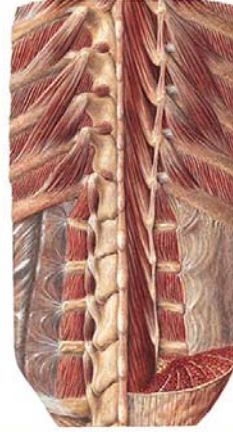


Mm. erector spinae



**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation

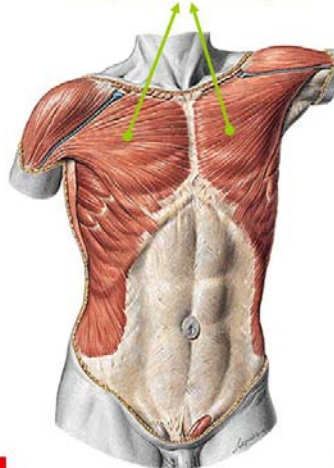


**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



**m. pectoralis major:**



Pars clavicularis:

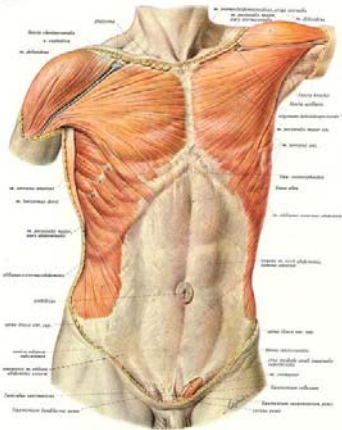
Klavikula'nın sternal yarısının ön yüzünden,

Pars sternocostalis:

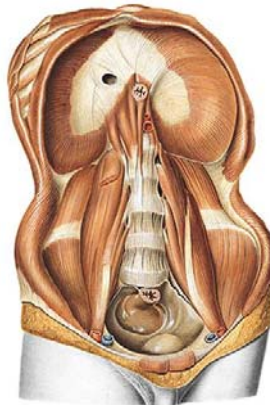
Manubrium ve corpus sterni'nin ön yüzünden,  
2-6 arası kıkırdak kaburgalardan,

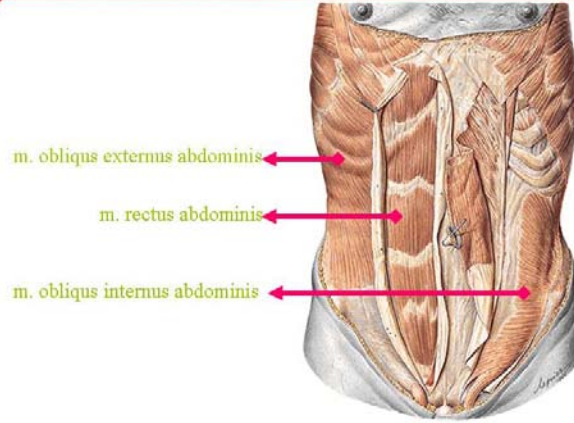
**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



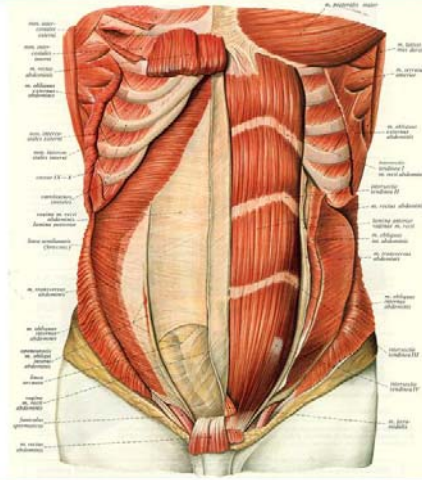
**kılıfından başlar.**

[illegible]



**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



### *M. deltoideus*

**Kalın, üçgen  
şeklindedir.**

**Klavikula,  
acromion, spina  
scapulae'den  
başlar.**

**Tuberositas  
deltoidea'da  
sonlanır.**

**Omuzun kendine  
özü şekline ve  
kabarıklığını  
yapar.**

**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation





TFF  
Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



**Ön lifleri;** kolu öne, içe çeker (fleksiyon) ve kola iç rotasyon,

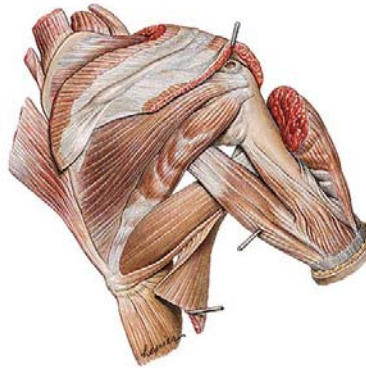
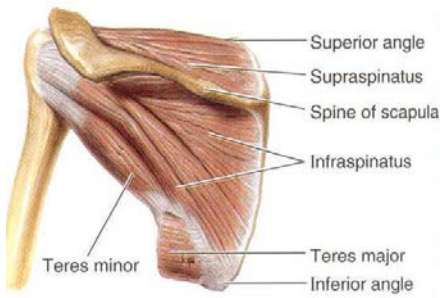
**Arka lifleri;** kolu arkaya çeker (ekstansiyon), dış rotasyon

**Orta lifleri;** en kuvvetli bölüm. Kola horizontale yakın abd (90°),

**Ön ve arka lifler** birlikte çalışarak kola adduksiyon yaptırabilirler.

**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation

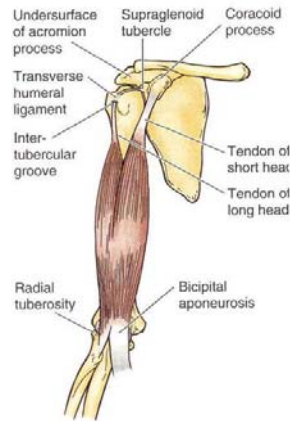


## Ön Kol Kasları



**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



***M. biceps brachii*: İki başlıdır:**

*Caput longum*: Omuz eklemi kapsülü içinde tuberculum supraglenoidale'den

*Caput breve*: M. coracobrachialis ile birlikte processus coronoideus'un ucundan başlar.

Kirişi tuberositas radii'ye yapışır.

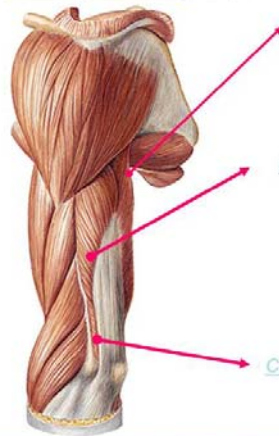


Türkiye Futbol Federasyonu



## Arka Kol Kasları

***M. triceps brachii*: 3 başlı:**



*Caput longum*:

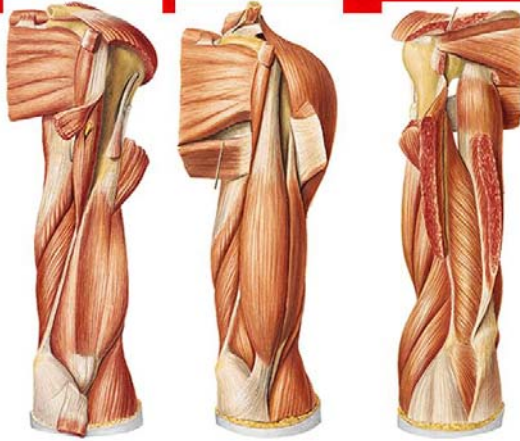
*Caput laterale*:

*Caput mediale*:

**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation





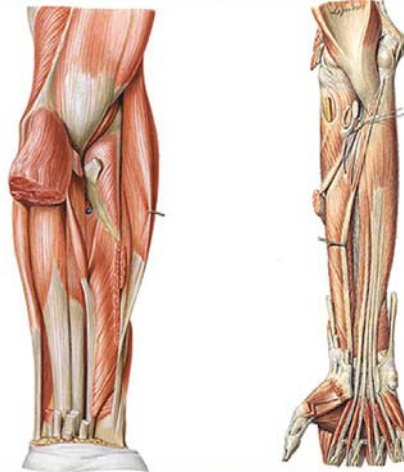
**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



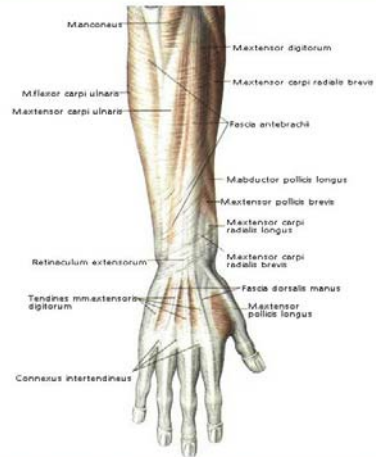
**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



## MUSCULI MEMBRI INFERIORIS

Pelvis,  
uyluk,  
bacak ve  
ayak kasları  
olmak üzere  
4 gruba ayrılırlar:

**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



## Kalçanın Arka Tarafındaki Kaslar



### M. gluteus maximus:

Geniş ve kalın bir kastır.  
Os ilium'un linea glutea  
posterior'undan,  
sakrum arka yüzünden,  
fascia thoracolumbalis,  
lig. sacrotuberale'den başlar.  
Liflerin çoğu tractus  
iliotibialis'e,  
birazı da tuberositas  
glutea'ya yapışır.

**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



### M. gluteus medius:

Linea glutea posterior  
ile anterior arasından  
trochanter major'un  
dış yüzüne uzanır.  
Siniri; n. gluteus  
superior'dur.



**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



**M. gluteus minimus:**

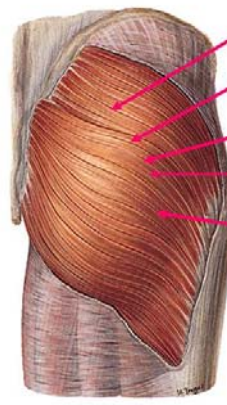
Linea glutea anterior ile inferior arasından büyük trokanterin ön kenarına uzanır.

Siniri; n. gluteus superior'dur.

Görevi; gluteus med'un fonk çok benzer. Uyluğa abd ve iç rot yapar.

**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



**M. piriformis**

**M. gemellus superior**

**M. obturator internus**

**M. gemellus inferior**

**M. quadratus femoris**

**M. obturator externus**

**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



**Uyluğun Ön Yüz Kasları**



**M. sartorius:**

Şerit şeklinde uzun bir kıştır.

Vücudun en uzun kasıdır.

Terzilerin oturduğundan isim almıştır.

Spina iliaca anterior superior'dan başlar.

Tibia iç kondiline m. semitendinosus ve m. gracilis kışları ile birleşerek tutunur.

**TFF**

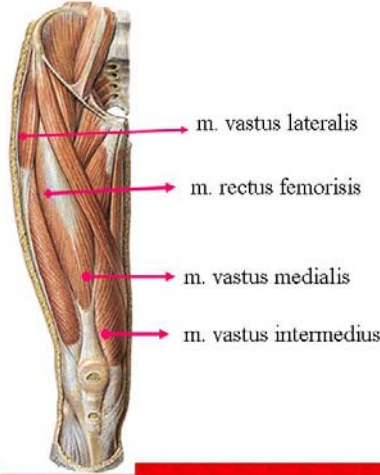
Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation





### *M. quadriceps femoris:*

Femurun ön ve yan tarafını örter. 4 parçadan oluşur:



**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



Dizin üstünde bu 4 kasın tendonları patella'yı içlerine alacak şekilde birleşirler.

Patellanın altında, lig. patella'yı oluştururlar.

Vücudun en kalın tendonudur.

Tuberositas tibiae'ye yapışır.

Vastus kaslarının lifleri ayrıca iç ve dış retinaculum patellare'lere karışırlar.

**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



**Görevi;**

**bacağa ekst yaptırır**

**Rektus femoris kalça**

**eklemine fleksiyon**

**yaptırır.**

**Topa tekme vurulurken**

**alt ekstremitenin tipik**

**hareketidir.**

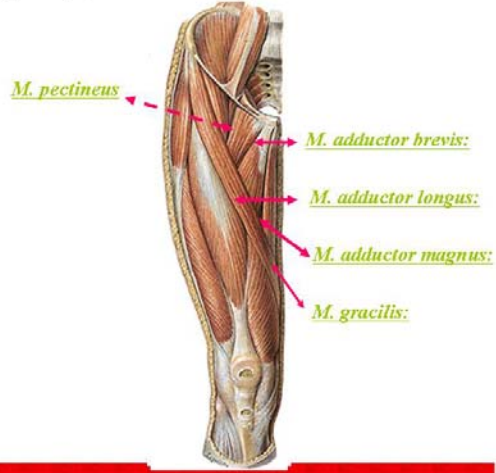
**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



### Uyluğun İç Yan Kasları

Uyluğa add yaptırdıklarından topluca adduktor kaslar denir.



**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



### Uyluğun Arka Yüz Kasları



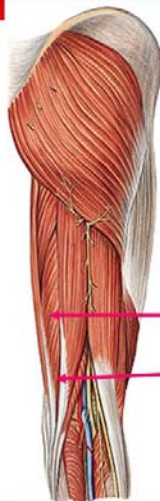
Bu bölgedeki kaslara topluca  
hamstring grubu denir.

Aynı yerden başlayıp, aynı sinir  
ile innerve olurlar.

Kaslar, önce kalça eklemini; sonra  
diz eklemini olmak üzere 2 eklemini  
birden çaprazlarlar.

**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation





### M. biceps femoris:

Uyluğun arka-dış kısmındadır.

İki başlıdır:

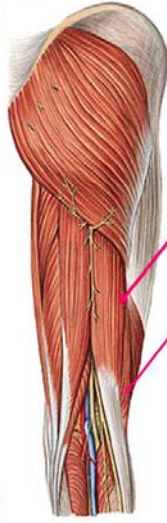
Caput longum:

Tuber ischiadicum'dan

Caput breve:

Linea aspera'nın dış dudağından başlar.

Caput fibula, lig. collateralis fibularis ve tibia dış kondiline yapışır.



**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Türkish Football Federation



### Bacığın Ön Yüz Kasları



m. tibialis anterior

m. flexor hallucis longus

m. flexor digitorum longus

**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Türkish Football Federation



m. fibularis (peroneus) longus

m. fibularis (peroneus) brevis

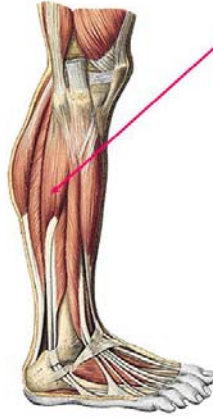


**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Türkish Football Federation



## Bacak Dış Yan Kasları



### M. peroneus (fibularis) longus:

Bacığın dış yanında yüzeyel bir kastır.

Fibula başından ve fibula'nın 2/3 üst-dış yüzünden başlar.

Görevi; ayağa plantar fleksiyon ve eversiyon yaptırmaktır.

**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



### M. peroneus (fibularis) brevis:



Önceki kasın derinindedir.

Fibula'nın dış yüzünün 2/3 alt kısmından başlar.

5. metatarsdaki tuberositas ossis metatarsalis'e yapışır.

Görevi; ayağa eversiyon ve plantar fleksiyon yaptırmaktır.

Uzun ve kısa fibular kaslar, n. peroneus (fibularis) superficialis ile innerve olurlar.

**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



### Yüzeyel Grup

2 kas vardır:

### M. triceps surae:

Bu kas bacağın arka üst tarafında arkaya ve yanlara doğru kabarıklık yapar.

2 kasın birleşmesinden oluşmuştur:

**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



#### M. gastrocnemius:

Bacağın arka yüzünde baldır kabarıklığını yapan yüzeyel kastır.

2 başlıdır:

*Caput laterale:*

Femur dış kondili,

*Caput mediale:*

Femur iç kondili ve facies poplitea'dan başlar.

Kirişi m. soles'un kirişi ile birleşerek tendo calcaneus'u (Achillis) oluşturur.

Bu tendon tuber calcanei'ye yapışır.

**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



#### M. soleus:

M. gastrocnemius'un derinindedir.

Fibula başı ve arka yüzünden, linea musculi solei'den ve tibia'nın iç kenarından başlar.

Bu kasın fibula ve tibia'ya tutunan kısımları arasında oluşan kiriş kemere, arcus tendineus musculi solei denir.

Kirişi, tendo calcaneus'un yapısına katılır.

**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



#### Görevi: ayağa plantar

fleksiyon yaptırmaktır.

Ayakta dik duruşta ayak bileği eklemine ayağı tespit eder.

Vücudun öne düşmesini engeller.

M. triceps surae'nin siniri; n. tibialis'tir.

**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



#### M. plantaris:

İnce ve Zayıf bir kıştır.

Linea supracondylaris lateralis ve  
facies poplitea'dan başlar.

M. gastrocnemius ve m. soleus  
arasında seyrederek tendo  
calcaneus'un iç kenarına yapışır.

Görevi; m. gastrocnemius'a  
yardım etmektedir.

bir kıştır.

**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



#### Derin Grup: 4 kas vardır:

##### M. popliteus:

Fossa poplitea'nın derinindeki  
küçük bir kas.

Femur dış kondilinin ve dış  
meniskusdan,

Diz eklemine arkadan dış içe eğik  
çaprazlar,

Tibia arka yüzüne uzanır.

Görevi; diz eklemine fleksiyon  
yaptırmaktır.

Femur tespit edilirse tibia'ya iç  
rotasyon,

Tibia tespit edilirse femur'a dış  
rotasyon yap.

**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



#### M. tibialis posterior:

Ortada ve en derinde yer alır.

Tibia'nın üst-dış yüzü, membrana  
interossea ve fibula'nın üst-iç  
yüzünden başlar.

Kirişi, iç malleolusun arkasından  
geçer.

Tuberositas naviculare, kuneiform ve  
kuboid alt yüzleri ile 2., 3. ve 4.  
metatars tabanlarına yapışır.

Görevi; ayağa plantar fleksiyon ve  
inversiyon yaptırmaktır.

**TFF**

Türkiye Futbol Federasyonu  
Turkish Football Federation



*M. flexor  
digitorum  
longus:*

**Derin grubun  
en iç  
tarafındaki  
kadır.**

**Tibia arka  
yüzünden  
başlar.**

**TFF**

Türkçe Futbol Federasyonu  
Türkish Football Federation





# Genel Fizyoloji

*Dr. Mehmet ÜNAL*

*Gençlik Spor İl Müdürlüğü, Sporcu Eğitim, Sağlık ve Araştırma Merkezi*

Fizyoloji; canlılığı sağlayan çok özel fonksiyonlar ve bunların mekanizmaları ile ilgilenen bilim dalıdır. Fizyolojinin amacı, yaşamın başlangıcı, gelişimi ve ilerlemesini sağlayan fiziksel ve kimyasal etkenleri açıklamaktır. Yaşayan her canlının yaşamını devam ettirebilmesi için gerekli bir takım mekanizmaları mevcuttur. Bu nedenle her canlı tipinin fizyolojisi ayrıca incelenebilir. Viral Fizyoloji, Bakteriyel Fizyoloji, Hücre Fizyolojisi, Bitki Fizyolojisi ve İnsan Fizyolojisi gibi. Burada bizim konumuz daha çok en küçük canlı birim olan hücre ve birçok hücrenin özelleşmesi sonucu ortaya çıkan mükemmel yapı, İnsan Fizyolojisi olacak.

İnsan Fizyolojisi; insan vücudunun canlılığını sağlayan çok özel fonksiyonlar ve mekanizmalarla ilgilenir. Her ne kadar birçok işlevimizi, isteklerimiz ve bilgimiz dâhilinde sürdürüyormuşuz gibi görünse de aslında Kendi kontrolümüzden tamamen bağımsız olarak canlılığımızı sürdürürüz. Kalbimiz çarpar, nefes alırız, acırız, tuvaletimizi yaparız, soğuk ortamda üşürüz, sıcak ortamda terleriz ve neslimizi devam ettirmek için çoğalırız. Bu gün canım istedi kalp atışlarımı biraz durdurayım, kalbim biraz dinlensin deme gibi bir durum söz konusu değildir. Kalp atışlarımız tamamen bizim isteğimiz dışında kontrol edilir. Durduğu zamanda yaşamımız sonlanır. Bugün nefes almayayım, solunumum biraz dursun diyemeyiz. İsteğimiz dahilinde en uzun 2,5-3 dakika kadar nefesimizi tutabiliriz. 3 dakikadan sonra zorunlu olarak istem dışı nefes alırız.

Vücudumuzun temel canlı birimi hücredir. Hücre bir zar (hücre zarı-membran) vasıtasıyla çevresinden ayrılmıştır. İçerisinde hücre çekirdeği (nükleus), hücre içi sıvısı (sitoplazma) ve bu sıvı içinde çeşitli hücre içi organelleri (ribozomlar, mitokondriler, endoplazmik retikulum, golgi organeli, çeşitli veziküller vs) bulunur. Her organ birçok farklı hücrenin, hücrelerarası destek dokusuyla bir arada toplanmasından oluşmuştur. Vücutta toplam 100 trilyon hücre bulunmaktadır. Her hücre tipi bir ya da birkaç özel işlevi gerçekleştirmek üzere uzmanlaşmıştır. Benzer hücre yapıları bir araya gelerek dokuları, dokular organları, benzer işleri yapan organlar bir araya gelerek sistemleri oluşturur. Organizma bu sistemlerin bir arada ahenk içinde çalışması ile oluşur.

Birçok farklı hücre olmasına rağmen, tüm hücreler belli temel nitelikler açısından birbirlerine benzerler. Örneğin tüm hücreler, hücre işlevlerinin gerektirdiği enerjiyi sağlamak için karbonhidrat, yağ ya da proteinlerin metabolizma ürünlerinden enerji elde edebilirler. Üstelik besinleri enerjiye dönüştüren genel mekanizmalar, tüm hücrelerde temel

olarak aynıdır. Ve tüm hücreler kimyasal reaksiyonlarının son ürünlerini, kendilerini çevreleyen sıvıya verirler. Bütün hücrelerin çoğalma yeteneği vardır, belli bir tip hücre herhangi bir nedenle tahrip olduğunda, bu tip hücrenin geri kalanları, gereksinim karşılanıncaya kadar çoğalırlar ve tahrip olan hücrenin yerine yenisini koyarlar. Tüm hücreler ekstrasellüler sıvı dediğimiz bir iç deniz içinde yerleşmişlerdir. İlk kez 19. yüzyılda bir Fransız bilim adamı olan Claude Bernard bu ortamı tanımlamış ve Milieu Interieur olarak adlandırmıştır. Hücreler bu iç ortamda yeterli yoğunlukta oksijen, glikoz, gerekli iyonlar, aminoasitler, yağlar ve diğer gerekli maddeler bulunduğu sürece yaşar, büyür ve özel işlevlerini yapabilirler.

İnsan vücudunun %56-60'ı sıvıdır. Bu sıvı hücre içi (intraseellüler) ve hücre dışı (ekstrasellüler) sıvı olarak iki şekilde ele alınır. Bu sıvının hücre içi bölümü vücut ağırlığının yaklaşık %40'ından, hücre dışı bölümü yaklaşık % 20'sinden sorumludur. Hücre dışı sıvının da yaklaşık %25'i damar sisteminde, %75'i kan damarlarının dışında yer alır. Total kan hacmi vücut ağırlığının % 8'i kadardır.

- Ekstrasellüler sıvı (%20); daha çok sodyum (Na), klor (Cl), bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ), oksijen ( $\text{O}_2$ ), glikoz, yağ asitleri, karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) ve diğer metabolik atıkları içerir.
- İntrasellüler sıvı (%40); daha çok potasyum (K), magnezyum (Mg) ve klor (Cl) iyonları ile protenleri içerir.

Bu hücre içi ve hücre dışı sıvıların oluşturduğu bir ortamda hücreler canlılığını devam ettirirler. İç ortamın sabit ya da statik koşullarda korunmasını, bir İngiliz Bilim Adamı olan Walter Cannon (1871-1945) **Homeostasis** olarak adlandırmıştır. Vücuttaki tüm organ ve dokular bu basit koşulları korumaya yardım etmek üzere bir görev üstlenmiştir. İç ortamın statik koşullarda korunmasını sağlayan Homeostatik Mekanizmaları kısaca gözden geçirelim.

#### **Homeostatik Mekanizmalar:**

- Ekstrasellüler sıvı taşıma sistemi- Dolaşım sistemi
- Ekstrasellüler sıvıdaki maddelerin kaynağı
  - \* Solunum Sistemi (oksijen),
  - \* Sindirim Sistemi,
  - \* Metabolik işlev üstlenen karaciğer ve diğer organlar,
  - \* Kas-iskelet sistemi,
- Metabolizma atıklarının uzaklaştırılması
  - \* Solunum Sistemi (Karbondioksit)

- \* Böbrekler,
- Vücut işlevinin düzenlenmesi
  - \* Sinir Sistemi,
  - \* Hormonal Sistem,
- Üreme,

### **Kalp-Dolaşım Sistemi;**

Homeostatik mekanizmalardan kalp-dolaşım sisteminin görevi; Aktif dokulara gerekli kanı temin etmektir. Bu sayede dokular ihtiyaçları olan oksijen ve diğer besin maddelerini kandan alırlar ve metabolizma sonucu oluşan atıkları da kana verirler. Kapalı bir sistemde kalp ve damarlar, kan yolu ile sindirim sisteminden emilen maddelerle, akciğerlerden alınan oksijeni dokulara, dokularda metabolizma sonucu oluşan atıkları akciğerlere ve böbreklere iletir. Ayrıca dolaşım sistemi vücut ısısının düzenlenmesinde de önemli rol oynar. Hücre fonksiyonlarının düzenlenmesinde rol alan bazı maddelerin taşınması işinide dolaşım sistemi üstlenir. Dolaşım yollarındaki tüm kan, dinlenme durumundaki bir insanda dolaşım döngüsünü 1 dakikada tamamlar. Yoğun egzersiz esnasında bu sürede kan 6 kez dolaşır. Kan kapillerlerden geçerken kanın plazma bölümüyle hücrelerarası boşluğu dolduran intrasellüler sıvı arasında sürekli bir alışveriş gerçekleşir. Hücrelerin kapiller damara uzaklığı 50  $\mu$ 'dan daha fazla değildir. Bu sayede hücre kendi ihtiyacı için gerekli besinleri kapiller dolaşımdan alabilir. Ve metabolizması sonucu oluşan atıkları kapiller dolaşıma verebilir.

### **Solunum Sistemi;**

Homeostatik mekanizmalardan solunum sisteminin görevi; dokulara ihtiyacı olan oksijeni sağlamak ve metabolizma sonucu oluşan karbondioksidi organizmadan uzaklaştırmaktır. Vücudumuz solunum sistemi aracılığı ile nefes alma (inspirasyon) esnasında atmosfer havasındaki oksijenin akciğerlere ulaşmasını sağlar (Atmosfer havası %79 azot, %21 oksijenden oluşmaktadır. Atmosfer havasındaki CO<sub>2</sub> oranı %0.04, su buharı basıncı %0.5 civarındadır). Akciğer alveollerinde dışarıdan alınan oksijen, akciğerlerdeki alveollerin duvarlarında bulunan kapillerlere geçer ve dolaşım sistemi sayesinde tüm vücuda dağılır. Hücrelerde metabolizma sonucu oluşan CO<sub>2</sub> dolaşım sistemi aracılığıyla akciğer alveollerine taşınır ve nefes verme (ekspirasyon) vasıtasıyla vücuttan atılır. Akciğerlerdeki alveollerin membran kalınlığı 0.4-2  $\mu$  kadardır. Bu vesile ile alveolar membrandan O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> geçişi kolay olmaktadır.

Solunum, dört büyük fonksiyonel olaylar dizisi halinde bölümlenebilir.

- 1- Akciğer ventilasyonu (havanın akciğerlere giriş-çıkışı),
- 2- Oksijen ve karbondioksitin difüzyonu (O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>'in akciğer alveollerinin membranı ile kapiller membran arasında geçişi),

- 3- Kanda ve vücut sıvılarında oksijenin taşınması,
- 4- Solunumun düzenlenmesi.

### **Sindirim Sistemi;**

Homeostatik mekanizmalardan sindirim sisteminin görevi; ağız yoluyla alınan besin maddelerinin parçalanması, taşınması, sindirilmesi, kana emilmesi ve sindirilemeyen bölümlerin anüs yolu ile atılmasından sorumludur. Vücuda alınan bütün gıdalar sindirim sisteminde parçalanarak, kendilerini oluşturan yapıtaşlarına indirgenir ve sindirim sisteminin bazı özel bölümleri tarafından emilerek vücuda alınır. Karbonhidratlar, kendilerini oluşturan glikoza, yağlar trigliseridler ve serbest yağ asitlerine, proteinlerde aminoasitlere kadar parçalanırlar ve besinlerin içinde yer alan mineraller, vitaminler ve su ile birlikte sindirim kanalından emilirler. Alınan bu besin maddeleri de çeşitli işlemlerden geçirilerek dolaşım sistemi aracılığı ile gerekli yerlere taşınırlar. Vücudumuza alınan gıdaların sindirim işlemi ağızda başlar ve mide-barsak kanalı boyunca devam eder.

### **Kas İskelet Sistemi;**

Kas-iskelet sisteminin homeostasisdeki rolü, vücudun ihtiyaç duyduğu besin maddelerine ulaşabilmek için doğru zamanda, doğru yerde bulunabilmemizi sağlar. Ayrıca olumsuz çevre şartlarından korunabilmemiz için gerekli hareketliliği sağlar. Vücudumuzu bir kafes gibi sararak koruyuculuk görevi görür.

**Böbrekler ve Boşaltım Sistemi;** metabolizma sonucu oluşan atık maddelerin (CO<sub>2</sub> dışında) vücuttan atılmasını sağlar (üre, ürikasit, fazla su ve iyonlar). Ayrıca tansiyonun kontrolü, asit baz tamponlama işlevi ve endokrin fonksiyonu bulunmaktadır.

### **Vücut İşlevinin Düzenlenmesi;**

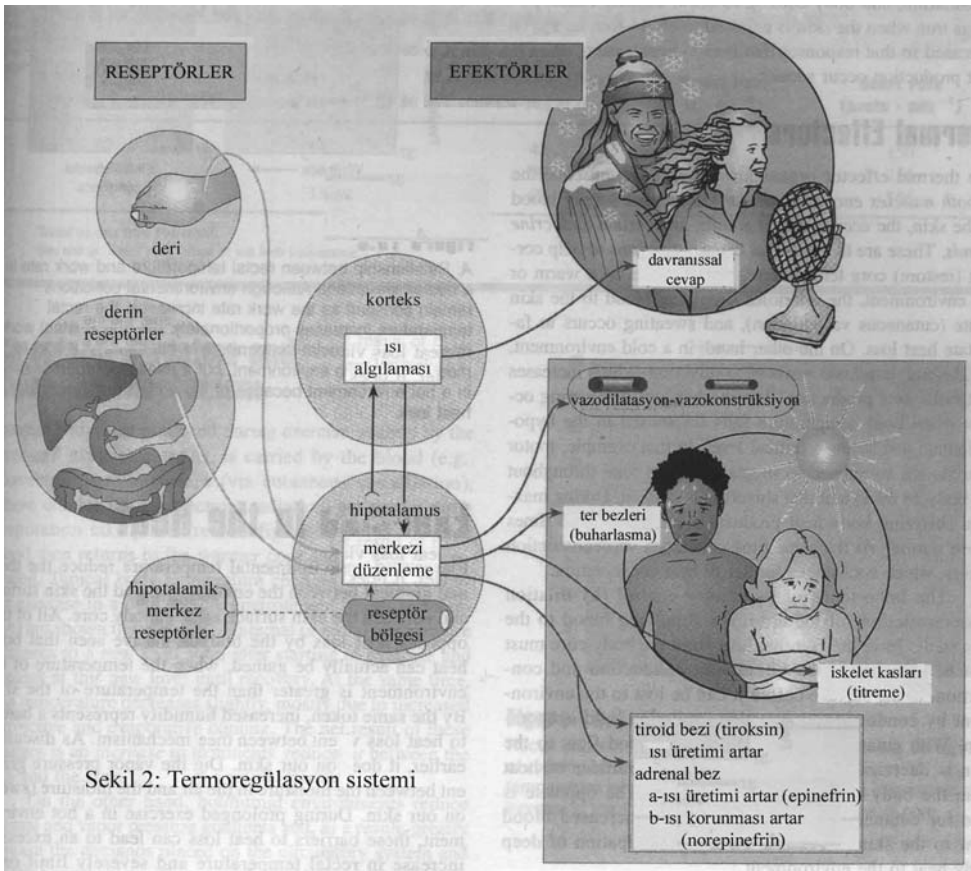
Vücudumuzdaki bu homeostatik mekanizmaların bir ahenk içinde çalışmaları bir takım düzenleme mekanizmalarının devreye girmesi ile mümkün olmaktadır (Şema 1). Başlıca düzenleme mekanizmalarını sinir sistemi ve hormonal sistem olarak ayırabiliriz. Sinir sistemi ve hormonal sistemlerde genetik kodlamanın getirdiği bir kontrole tabidir.

#### **Vücut İşlevinin Düzenlenmesi**

- \* Sinir Sistemi;
  - duysal girdi,
  - merkezi sinir sistemi,
  - motor çıktı,
- \* Hormonal Sistem;
- \* Genetik Kontrol Sistemi ;



Sinir Sistemi, çevredeki değişiklikleri duyu organları (görme, işitme, koku alma, tat alma ve dokunma) aracılığı ile algılayarak duysal girdi olarak merkezi sinir sistemine getirir. Merkezi sinir sistemi gelen duysal uyarıyı yorumlayarak uygun bir davranış biçimi belirler. Merkezi sinir sisteminin belirlediği davranış biçimi de motor çıktı olarak hayata geçirilir. Örneğin, soğuk bir havada dışarıda bulunduğumuzu düşünelim. Havanın soğukluğu, deride, iç organların çevresinde ve beynin bazı bölümlerinde (hipotalamusta) bulunan soğuk reseptörleri aracılığı ile algılanarak duysal girdi olarak merkezi sinir sistemine ulaştırılır. Merkezi sinir sistemine ulaşan uyarılar, beyindeki ilgili merkezler tarafında yorumlanarak bir davranış biçimi belirlenir ve motor çıktı olarak gönderilir. Vücudumuz da belirlenen davranış biçimine uygun olarak davranır. Isı oluşumunu artırmaya ve ısı kaybını azaltmaya yönelik davranışlar sergilenir. Kalın, koyu renkli giysiler giyer. Vücudumuz büzülerek yüzey alanını küçültür ve ısı kaybını azaltmaya çalışır. İstem dışı titreyerek ve istemli olarak hareket ederek ısı oluşumunu artırmaya çalışır. Deri altındaki damarlar kasılarak deriden ısı kaybını azaltmaya çalışır. Böylece dış ortam havasının soğuk olmasına rağmen vücut ısısı sabit tutulmaya çalışılır.



Sinir Sistemi;

•Düysal Reseptörler,

-dokunma,

-işitme,

-görme,

-tad alma,

-koku,

•Merkezi Sinir Sistemi,

-beyin

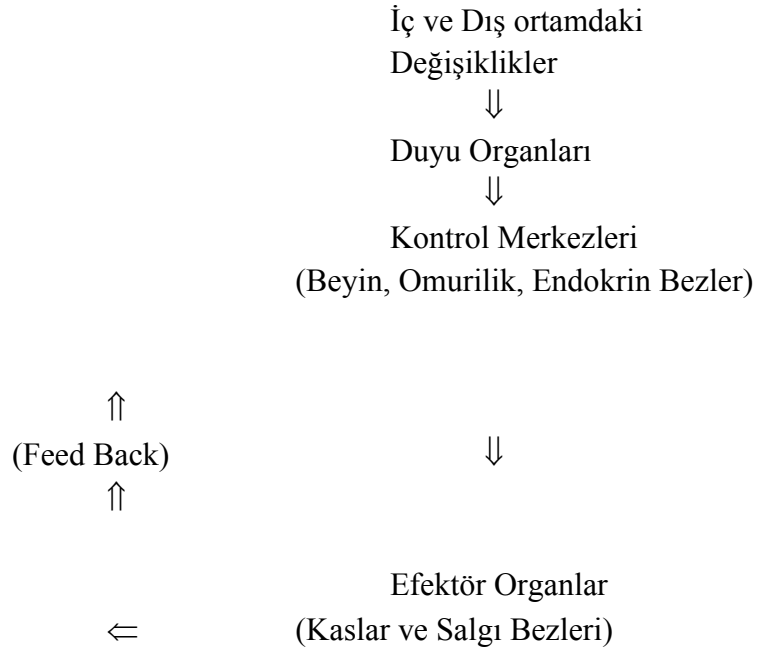
-omurilik

•Motor çıktı,

**Hormonal Sistemle Düzenleme;** vücutta bulunan 8 ana endokrin bez, hormon adı verilen kimyasal maddeler sentezler ve salgılar. Hormonlar ekstrasellüler sıvı içinde tüm vücuda dağılır ve hücrel işlevlerin düzenlenmesine yardımcı olurlar.

Homeostatik mekanizmaların düzenlenmesinde sinir sistemi ve hormonal sistem birçok alanda koordinasyon içinde çalışırlar.

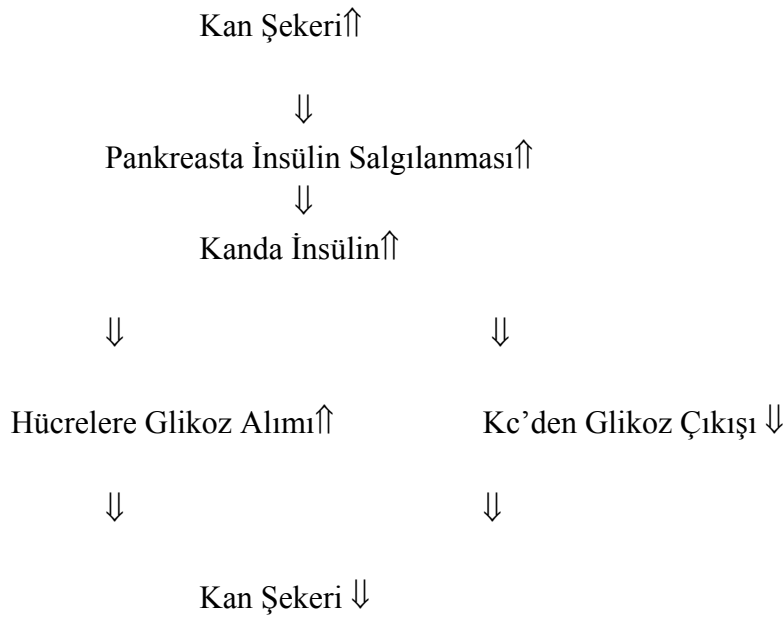
Şema 1: Vücut Kontrol Sistemlerinin İşleme Biçimi;



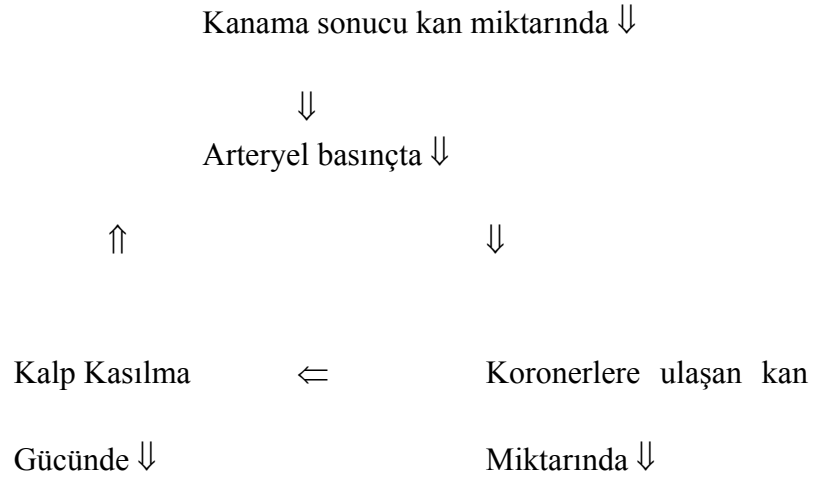
Vücut Kontrol Sistemlerinin çalışmaları, **Negatif Feedback** ve ya **Pozitif Feedback** dediğimiz iki ayrı kontrol mekanizması ile denetlenir. Negatif Feedback (Şema 2) mekanizma kendisini ortaya çıkaran olaya zıt yönde aktivite göstererek olayın ortadan kaldırılmasına yönelik faaliyetlerde bulunurken, Pozitif Feedback (Şema 3) mekanizmalar, kendisinin

oluşmasını sağlayan olay ile aynı yönde aktive göstererek, sistemin aktive olmasına neden olan olayı daha da aktive eder. Kan pıhtılaşması, doğum sancılarının başlaması ve doğum olayı, sinir sinyallerinin oluşumu pozitif feedback mekanizmalara örnek olarak gösterilebilir. Fakat vücut kontrol sistemlerinin çoğu negatif feedback yol ile kontrol edilmektedir. Örneğin; yoğun karbonhidrat içeren bir yemekten sonra kan şekeri yükseldiğinde pankreastan insülin sekresyonu artar. Kanda insülin seviyesinin artışına paralel olarak bir taraftan hücrelere glikoz girişi artarken, diğer taraftan karaciğerden kana glikoz çıkışı azalır. Böylece kanda yükselmiş olan şeker düzeyi istenilen seviyeye indirilmiş olur. Burada görüldüğü gibi negatif feedback kontrol sistemi kendisinin aktive olmasına neden olan sisteme zıt yönde aktivite göstermiş ve homeostasisin korunmasına yardımcı olmuştur. Vücudumuzda homeostazisi korumaya yönelik yüzbinlerce kontrol mekanizması bulunmaktadır. Ve bütün bu mekanizmalar bir ahenk içinde çalışarak organizmanın düzenli bir şekilde aktivite göstermesine olanak sağlarlar. Aşağıda Negatif ve Pozitif Feedback mekanizmaların çalışma şemaları görülmektedir.

Şema 2: Negatif Feedback Kontrol Mekanizmasının İşleyiş Şeması:



Şema 3: Pozitif Feedback Kontrol Mekanizmasının İşleyiş Şeması:



Sonuç olarak; vücuttaki hücreler farklı işlevsel yapılar halinde organize olmuşlardır. İç ortamdaki normal koşullar korunduğu sürece vücuttaki hücreler yaşamaya ve işlevlerini yapmaya devam ederler. Böylece her hücre homeostasisten yarar sağladığı gibi homeostasisine katkıda bulunur.

**KAYNAKLAR:**

- 1- Tıbbi Fizyoloji, William F. Ganong, Çev: Türk Fizyolojik Bilimler Derneği-2002
- 2- Textbook of Medical Physiology, Arthur C. Guyton and John E. Hall. 2004
- 3- Genel Fizyoloji, Ed: Refik Yiğit, 2001
- 4- Renkli Fizyoloji Atlası, Ed: Hayrinüa Çavuşoğlu, 1997

# Kan Fizyolojisi

Dr. Mehmet ÜNAL

Gençlik Spor İl Müdürlüğü, Sporcu Eğitim, Sağlık ve Araştırma Merkezi

Plazma adı verilen sıvıda, süspansiyon halinde hücresel elemanları içeren dokuya kan dokusu denir. Erişkin bir insanda kan hacmi, vücut ağırlığının %6-8'i kadardır (70 kg ağırlığında bir erişkinde yaklaşık 5 lt kadar kan bulunur). Kan hücresel elemanlar ve bu hücrelerin içinde bulunduğu sıvı (plazma) bir ortamdan oluşur. Kanın içinde bulunan hücresel elemanlar, alyuvarlar, akyuvarlar ve trombositlerden oluşur. Kanın sıvı kısmını ise su, proteinler ve inorganik maddeler oluşturur.

## Kanın Bileşenleri:

### •Hücresel Elemanlar;

- 1- Alyuvarlar (Eritrositler) (4,5 milyon/mm<sup>3</sup>),
- 2- Akyuvarlar (Lökositler) (4-9 bin/mm<sup>3</sup>),
- 3- Trombositler (150-300 bin/ mm<sup>3</sup>),

### •Sıvı Kısmı (Plazma);

- % 91 su,
- % 7 protein,
- % 2 inorganik madde

Kan yapımı Embriyonik yaşamın ilk birkaç haftasında Vitellüs Kesesinde başlar. Gebeliğin 2. trimesterinde dalak, karaciğer ve lenf düğümlerinde, gebeliğin son aylarında ve doğumdan sonra Kemik İliğinde devam eder.

| KEMİK               | İLİĞİNDE | KAN               | YAPIMI                |
|---------------------|----------|-------------------|-----------------------|
| <b>PHSC</b> ⇒ CFU-S | ⇒ CFU-E  | ⇒                 | <b>Eritrositler</b>   |
|                     | ⇒ CFU-GM | ⇒                 | <b>Granülositler</b>  |
|                     | ⇒        |                   | <b>Monositler</b>     |
|                     | ⇒ CFU-M  | ⇒ Megakaryositler | ⇒ <b>Trombositler</b> |
| ⇒ LSC               | ⇒        | <b>T</b>          | <b>Lenfositler</b>    |
|                     | ⇒        | <b>B</b>          | <b>Lenfositler</b>    |
| ⇒ <b>PHSC</b>       |          |                   |                       |

PHSC: çok yönlü kök hücre, CFU-E: Eritroid seri, CFU-GM: granülosit ve monositer seri, CFU-M: Megakaryositer seri, LSC: Lenfoid seri

Yaşamın ilk döneminde, 5 yaşına kadar tüm kemiklerin kemik iliğinde kan yapımı olabilirken, giderek uzun kemiklerde kemik iliği yağlanması ile bu fonksiyonları azalır. 20 yaşından sonra vertebralar, kostalar, sternum ve iliak kemikler gibi yassı kemiklerin kemik iliklerinde kan yapımı devam eder. Kanın hücresel elemanları **çok yönlü kök hücre** dediğimiz bir ana hücreden köken alarak, çeşitli yönlendirme faktörleri sonucu Alyuvarlar, Akyuvarlar ve Trombositlere dönüşürler. Yani vücudumuzda çok farklı aktivitelerde bulunan kanın hücresel elemanları aynı kök hücreden kökenlerini almaktadırlar.

Şimdi bu aynı kök hücreden kökenini alan, fakat çok farklı işlevleri olan kanın hücresel elemanlarını sırası ile kısaca gözden geçirelim.

### **ALYUVARLAR (ERİTROSİTLER)**

Vücudun tüm hücreleri arasında en fazla sayıda bulunur. Yaklaşık 25 trilyon civarındadır (4,5-5 milyon/mm<sup>3</sup>). Esas fonksiyonları akciğerlerden dokulara O<sub>2</sub> taşıyan Hemoglobini (Hb) taşımaktır. Alyuvarlar dolaşım sistemi ile vücudun her yerine yayılırlar. Küçük damarlardan (kapillerlerden) geçerken şekil değiştirebilirler. Böylece kapillerlerden geçişleri esnasında parçalanmazlar. Alyuvarlar kemik iliğinde üretilirler. Üretimlerini Eritropoetin Hormonu tetikler. Oksijenin az olduğu ortamlarda üretim miktarları artar. Dolaşım kanında 120 gün yaşarlar. Dalağın kırmızı pulpasında parçalanırlar.

**Hemoglobin**, eritrositlerin içinde bulunur. 100 ml kanda kadında 14 gr, erkekte 16 gr düzeyindedir. Hemoglobin akciğerlerden kana geçen oksijeni dokulara ve metabolizma sonucu dokularda oluşan karbondioksidi akciğerlere taşır. 1 gr Hb, 1,39 ml O<sub>2</sub> bağlama yeteneğindedir. Hemoglobin ayrıca vücudun asit-baz dengesinin düzenlenmesinde katkıda bulunurlar.

Kanın şekilli elemanlarının sıvı kısmına oranına **Hematokrit** denir. Normal değerleri % 40-45'dir.

Alyuvarların sayısal eksikliklerinde görülen klinik tabloya **Anemi** (kansızlık) denir. Hemoglobin (10-11 gr/dl ve altı) ve Hematokrit (%35 ve altı) düzeylerinde azalma görülür. Çeşitli nedenlere bağlı anemiler görülebilir. Kısaca başlıklar halinde aşağıdaki gibi gruplara ayrılabilir.

- Demir eksikliği anemisi; demir alımının ya da demir emiliminin eksikliğine bağlı olarak görülen anemi çeşididir.
- Aplastik anemi; Kemik iliğinde meydana gelen bir rahatsızlık nedeniyle kemik iliğinde alyuvar üretiminde azalma meydana gelmiştir.
- Megaloblastik anemi; alyuvarların üretiminde etkili olan B12 vitamini ve Folik asit eksikliğine bağlı gelişir.
- Hemolitik anemi; kan kaybına bağlı olarak görülen anemi çeşididir.



**Sporcu anemisi;** uzun süredir spor yapan bireylerde, erken yorulma, halsizlik şikâyetleri ile ortaya çıkan tabloya sporcu anemisi denir. Aşağıda belirtilen nedenlere bağlı görülebilir.

- Hemoliz; alyuvarların parçalanması,
- Hematüri; idrarda alyuvarların görülmesi,
- Miyoglobini; idrarda miyoglobin görülmesi,
- Gastrointestinal sistem kanaması,
- Demir eksikliği,
- Beslenme yetersizliği,

**Polistemi;** Eritrosit fazlalığında görülür. Hb miktarında (16-17 gr/dl) ve hematokrit miktarında (%60-70) artış görülür. Kanın damarlardaki akışkanlığı azalır (kanın viskozitesi artar).

### **AKYUVARLAR (LÖKOSİTLER):**

Vücudumuzun savunma sisteminin hareketli birimleridir. Sayıları  $\text{mm}^3$ 'de 4-9 bin civarındadır. Akut ve kronik infeksiyonlarda vücudumuzu mikroorganizmalara karşı koruyuculuk görevini üstlenirler. Kemik iliğinde ve lenfoid organlarda dönüşüme uğrarlar. Çeşitli alt grupları vardır. Kanın periferik yayması ile akyuvarların alt grupları tespit edilebilir.

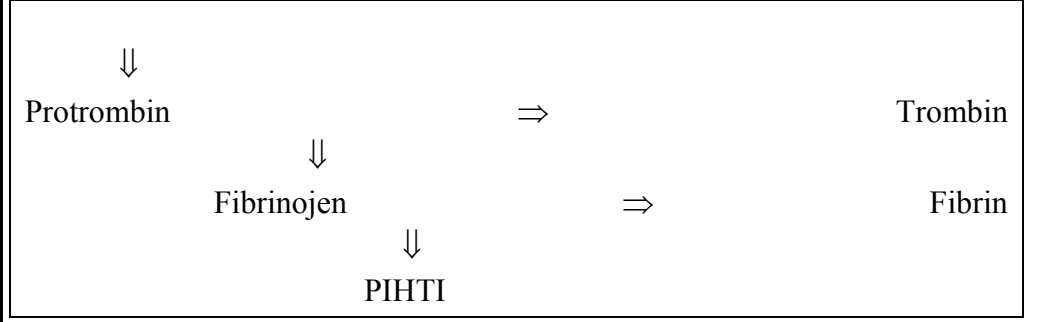
#### **Akyuvarların Alt Grupları (Lökosit Formül):**

- Lenfositler %30,
- Nötrofiller %62,
- Monositler %5,
- Bazofiller %0.5,
- Eozinofiller %2-3,

Granülositler (nötrofiller, eozinofiller ve bazofiller) ve monositler kemik iliğinde, lenfositler ve plazma hücreleri lenfoid dokularda üretilirler. Kemik iliğinden salındıktan sonra granülositlerin ömürleri dolaşımda 4-8 saat, dokularda 4-5 gündür. Monositler dolaşımda 10-20 saat, dokuda aylarca, hatta yıllarca yaşayabilirler.

### **TROMBOSİTLER:**

Kanın pıhtılaşmasında rol alırlar.  $\text{mm}^3$ 'de 150-300 bin civarındadır. Eksikliklerinde kanama-pıhtılaşma problemleri görülür. Kan pıhtılaşması gecikir. Kanamanın durdurulması plazma ve doku faktörlerinin kandaki trombositler ve damarlarla etkileşmesi sonucu ortaya çıkar. Kanama ya da doku zedelenmesi sonucu pıhtılaşmada etkili olan protrombin, trombine dönüşür. Trombinde plazma proteinlerinden olan fibrinojeni, fibrine çevirerek pıhtının oluşmasını sağlar. Bu olaya **Hemostaz** denir.



### PLAZMA:

Kanın sıvı kısmına Plazma denir. % 91 su, % 7 protein ve % 2 inorganik maddeden oluşur. Osmoloritesi 290 mOsmol/kg H<sub>2</sub>O'dur. Litresinde 65-80 gr kadar protein bulundurur. Plazma Proteinleri; %57 Albumin, %40 Globulin ve %3 Fibrinojenden oluşur. Kan pıhtılaştığı zaman fibrinojen çöker ve kalan sıvıya Serum denir. Serum ve Plazma Fibrinojen içeriği dışında aynıdır.

### KANIN GÖREVLERİ:

- 1- Kanın solunum görevi (Eritrositler),
- 2- Besin maddelerinin taşınması,
- 3- Metabolik atıkların taşınması,
- 4- Vücut ısısının düzenlenmesi,
- 5- Vücutta tuz ve su dengesinin korunması,
- 6- Asit-baz dengesi,
- 7- Pıhtılaşma faktörlerinin taşınması,
- 8- Vücudun mikroorganizmalara karşı korunması (Lökositler ve plazma proteinleri),
- 9- Hormon ve nörohormonların taşınması

### İNFLAMASYON;

İnflamasyon; mikroorganizmalar, travma, sıcaklık ve kimyasal maddelerle dokunun teması gibi bir takım olaylar sonucunda dokuda meydana gelen ikincil reaksiyonlar dizisine denir. Dokuda aşağıdaki reaksiyonlar dizisi gelişir.

- Lokal kan damarlarında genişleme,
- Lokal kan akımında artış,
- Kapiller geçirgenliğinde artış,
- Hücrelerarası aralığa sıvı sızması,
- İntertisyel aralıkdaki sıvının pıhtılaşması,
- Granülosit ve monositlerin dokuya göçü,
- Doku Hücrelerinde şişme,

İnflamasyon kendini, ağrı, ısı artışı, kızarıklık, şişlik ve fonksiyon kaybı şeklinde gösterir.

**BAĞIŞIKLIK:**

İnsan vücudu kendine zarar verebilecek her türde organizma ve toksine karşı direnç gösterebilme özelliğine sahiptir. Bu özellik bağışıklık adını alır. Bağışıklık bir hastalık geçirme sonucu gelişebildiği (Edinsel Bağışıklık) gibi bir bölüm bağışıklık ise hastalık oluşturan organizmalara yönelik özgül bir süreçten çok organizmanın genel özelliklerinin sonunda gelişebilir (Doğal Bağışıklık).

Bağışıklığı aktif bağışıklık ve pasif bağışıklık olarak ayırabiliriz. Aktif bağışıklıkta kişinin vücudu, direkt yabancı bir istilacıya karşı yanıt olarak antikor ya da aktif T lenfositleri geliştirmektedir. Bu gelişen antikorların ve T lenfositlerinin başka bir kişiye verilmesi ile pasif bağışıklık (Aşılama) sağlanır.

Hem Nonspesifik Doğumsal bağışıklıkta, hem de Spesifik Edinsel bağışıklıkta hücrel (B lenfositleri) ve humoral (T lenfositleri) faktörler rol oynamaktadır.

**KAN GRUPLARI:**

İnsan kan hücrelerinde antijen-antikor etkileşmelerine yol açan çeşitli antijenler bulunmuştur. Bunlar kan transfüzyonlarında ve akrabalık tayininde önemlidir. İki grup antijen diğerlerine göre daha fazla kan transfüzyonu reaksiyonlarına yol açar. Bunlar ABO Sistemi ve Rh sistemi antijenleridir. Bu nedenle insanların kanları bu antijenik yapıların bulunmasına ya da bulunmamasına göre çeşitli isimler alır. Bir bireyden diğerine kan nakli için bu antijenik yapılar dikkate alınmalıdır. Aşağıda ABO ve Rh Sistemine göre kan gruplarının ayrımları verilmiştir.

- ABO Sistemi;
  - A grubu,
  - B grubu,
  - AB grubu,
  - O grubu,
- Rh Grupları;
  - \* Rh pozitif,
  - \* Rh negatif,

**KAYNAKLAR:**

- 1- Tıbbi Fizyoloji, William F. Ganong, Çev: Türk Fizyolojik Bilimler Derneği-2002
- 2- Textbook of Medical Physiology, Arthur C. Gayton and John E. Hall. 2004
- 3- Renkli Fizyoloji Atlası, Ed: Hayrinüa Çavuşoğlu, 1997
- 4- Genel Fizyoloji, Ed: Refik Yiğit, 2001



# Kalp-Dolaşım Fizyolojisi

*Dr. Gökhan Metin*

*İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa TıpFakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı*

Kalp anatomik olarak göğüs kafesinde iki akciğer arasına (mediastinum'a) yerleşik durumdadır. 2 atrium (kulakçık) ve 2 ventrikül (karıncık) olmak üzere 4 bölümden oluşur. Kalp 3 tabakalı oluşan bir duvarı (içten dışa doğru; endokardiyum, myokardiyum ve perikardiyum) olan, oksijeni (O<sub>2</sub>) azalmış olan kanı venler (toplardamar) aracılığıyla dokulardan damarlar yolu ile alıp O<sub>2</sub>'den zengin hale gelmesi için akciğerlere gönderen ve daha sonra tüm vücudumuza taşınması için arterlere (atardamarlara) pompalayan harika bir pompadır.

Kalp aktivitesinin kontrolü otonom sinirler ve otoregölasyon mekanizması aracılığıyla olur. Otonom sinirler içinde sempatik sinirler hızlandırıcı etki yaparken, parasempatik sinirler yavaşlatıcı etki yapar. Otoregölasyonda Frank Starling kanunu önemlidir. Bu prensibe göre kasılma başlamadan önce kasın boyu ne kadar uzamışsa kasılma o derece kuvvetlidir. Yani ventriküllere gelen kan ne kadar fazlaysa, ventriküllerin gerilmesi ve uzaması o derece fazladır. Böylece kalp kası daha kuvvetli kasılarak daha fazla kan pompalamaktadır

Kan dolaşımı 2 çeşittir. Sağ ventrikülden başlayarak sol atriumda biten dolaşıma akciğer dolaşımı denir. Sol ventrikülden başlayarak sağ atriumda biten dolaşıma sistemik (periferik) dolaşım denir. Ayrıca kalp kasının etrafındaki damarlar onun beslemesi için koroner dolaşımı oluşturur.

Nabız her kalp kasılmasında damar içinde hareket eden kan hacminin yüzeysel arterler içinde fark edilmesidir. Elle muayene edilerek tespit edilir. Sağlıklı kişilerde her kasılmadaki kan akışı nabza yansır. Yani kalp atışı sayısı nabız sayısına eşittir. Damar duvarındaki, atım gücündeki, kalp ritmindeki bozukluklar nabzın muayenesinde zorluklara yol açar. Radyal, karotis, femoral arterler en sık nabız muayenesi yapılan yerlerdir.

Kan basıncı (tansiyon) kanın arter duvarına yaptığı basıncı ifade eder. Sistolik (büyük) ve diyastolik (küçük) tansiyon olarak adlandırılan iki bileşeni vardır. 120 mmHg sistolik, 80 mmHg diyastolik tansiyonun fizyolojik değerleridir. Gençlerde sistolik basıncın 130 mmHg ve/veya üzerinde, diyastolik basıncın 80 mmHg üzerinde olması hipertansiyon sayılır. Ciddi bir sağlık problemidir. Yaş ilerledikçe daha yüksek değerler normal kabul edilir. Ancak yine de fizyolojik sınırın üzerindeki değerler tıbbi takip gerektirir.

Kalp-dolaşım sistemi istirahat sırasında olduğu gibi egzersiz sırasında da aktif olan dokulara gerekli kanı getirmekle görevlidir. Ayrıca diğer bir görevi de egzersizin uzun süreli olması ile birlikte çalışan sistemlerin ürettiği ısı sonucunda artış eğilimi gösteren vücut iç sıcaklığını normal sınırlar içinde tutmaya çalışmaktır. Herhangi bir egzersiz sırasında dolaşım sisteminin o sıradaki yanıtı akut bir uyumdur. Yani sıra, belli bir süreyle

düzenli egzersiz yapıp antrene olunursa, kalp dolaşım sisteminin yanıtları ve kazandığı özellikleri kronik uyum olarak kabul edilmektedir.

### **Kalp-Dolaşım sisteminin egzersiz sırasındaki akut adaptasyonu**

Dinlenik koşullarda organizmaya kalp tarafından dakikada 5-6 litre kadar kan pompalanmaktadır. Aktivitenin başlayıp ilerlemesi ile birlikte kalbin dakika hacmi (kalp debisi) daha fazla çalışan dokuların ihtiyacına yanıt verecek şekilde artar. Bu arada gereksinimi az olan bölgelerde (karaciğer, böbrek) dolaşım sınırlandırılır. İskelet kaslarına giden kan, dinlenim sırasında kalp debisi % 15-20'si civarında olduğu halde, egzersiz koşullarında bu oran % 80-85'lere kadar erişebilir. Isı düzenlenmesindeki aktif rolü gereği deri dolaşımının da belirli bir oranda olması ve hatta ısı kaybetme amacıyla artması söz konusudur. Bu arada dolaşımın koroner damarlardaki orantısız miktarları bu organın özellikleri gereği değişmez.

Egzersiz sırasında aktif dokuların artan  $O_2$  gereksinimlerinin karşılanması kalp debisinin artışı ve dokulara bırakılan  $O_2$  miktarının (a-v  $O_2$  farkı ) artması ile olur. a-v  $O_2$  farkı dinlenme sırasında % 4- 5 kadardır. Kas dokusunun arteriyel kanında  $20 \text{ ml}/100\text{cm}^3$   $O_2$  bulunurken venöz kanın  $O_2$  içeriği  $15-16 \text{ ml}/100\text{cm}^3$  kadardır. Bu koşullardaki kas  $4-5 \text{ ml } O_2$  kullanmaktadır. Aktivite sırasında ise yoğunluğa bağlı olarak a-v  $O_2$  farkı % 15-17'ye kadar çıkarak  $100 \text{ cm}^3$  kanda bırakılan  $O_2$   $15-17 \text{ ml}$  olmaktadır. Fakat egzersiz sırasında asıl belirgin olan artış atım hacminde görülmekte olup, özellikle dayanıklılık sporcularındaki yüksek maksimum  $O_2$  kullanımını belirleyici esas unsur kalbin maksimum debisi olmaktadır. Bunu da kalp atım sayısından daha çok kalbin atım hacminin yüksekliği belirler. Bu bağlamda, miyokard kasının pompalama kuvvetinin yüksek olması kalbin bir atımda pompalayabileceği kanın yüksek oluşu anlamına gelir ve  $O_2$  kullanımını (aerobik kapasiteyi) yükseltir. Kalbin pompa işlevi zayıf ise organizmanın aerobik kapasitesi düşer.

### **Kalbin debisine etki eden faktörler**

Bilindiği gibi kalbin debisini bir defada pompalanan atım hacmi ile dakikadaki kalp atım sayısının çarpımı oluşturmaktadır. Dolayısıyla bu parametrelerdeki değişiklikler debinin de değişmesine sebep olmaktadır. Egzersiz sırasındaki kalp-dolaşım sisteminin akut ve kronik adaptasyonları bu iki faktördeki değişikliklere bağlı olarak ortaya çıkmaktadır.

### **Kalbin atım sayısı:**

Normal hızı dakikada 60-80 arasında olan kalp atımı egzersiz başlangıcında veya başlamadan hemen önce hızlanmaya başlar. Bu durum sempatik sinir sisteminin aktivite artışıyla olur. Efor düşüncesiyle birlikte beyindeki merkezlerden çıkan uyarıların beyin sapındaki kalp-dolaşım merkezlerine uğraması neticesinde meydana gelir. Bu sebeple istirahat koşullarındaki kalp atımının doğru tespiti için, kişinin düşünce ve vücut olarak tam anlamıyla bir dinlenme halinin olması şarttır. Egzersizden hemen önce veya egzersizin başlamasıyla görülen kalp atımındaki artış kısa sürede yavaşlar. Ancak bu aşamadan sonraki kalp atım sayısındaki artma egzersize bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Düşük düzeylerdeki sabit bir iş yükünde yapılan eforlar sırasında ilk birkaç dakika içerisinde belirli bir düzeye erişerek aynı seviyede devam eden kalp atımı egzersiz şiddeti arttıkça ona

bağlı olarak doğrusal bir şekilde yükselmeye başlar. Daha ağır yüklenmelerde ise kalp atımının sabit bir düzeye erişmesi ve orada kalması gittikçe daha uzun zaman gerektirir. Ancak kondüsyonlu bir kişinin aynı yoğunlukta bir efor sırasındaki kalp atım sayısının sabit seviyesi sedanter bir şahısa oranla daha düşük olmaktadır. Sonuç olarak efor yoğunluğunun artmasıyla şahsın tam bir bitkinlik hissettiği düzeye gelinir. Artık kalp atımı o kişi için maksimum seviyede olup daha fazla artması mümkün değildir. Bu maksimum değer birey özelliklerine göre farklılık gösterir. Kişinin maksimum nabzını yaklaşık olarak tayin etmede kullanılan farklı formüller vardır. Genellikle hesaplamada kullanılan;  $220 - \text{yaş (yıl)}$  veya  $210 - (0,65 \times \text{yaş})$  gibi formüller faydalı olmaktadır.

Egzersiz sırasındaki kalp atım sayısını belirleyici diğer bir unsur da egzersizin tipidir. Kalp atımındaki en fazla artış sürat koşularında olurken, halter ve fırlatma gibi spor tiplerinde atım sayısı çok yükselmez. Uzun mesafe koşuları gibi dayanıklılık gerektiren sporlardaki atım sayısının artması ise yarışma veya antrenman stratejisine bağlı olarak az ya da çok olabilir.

Efor bitirildikten sonraki toparlanma döneminde kalp atımı hemen normale dönmez. Egzersizden sonra kalp atımının normale dönme süreci efor sırasındaki iş yükü ve şahsın kondüsyon derecesiyle ilişkilidir. Kondüsyonu yüksek olan kimselerde egzersizden sonraki toparlanma süreci kalp atımı açısından daha çabuk gerçekleşir. Bu nedenle antrenman programı uygulanırken toparlanma kalp atım sayısının izlenmesi, antrenman ile oluşan kondüsyon hakkında bilgi vermektedir. Ancak çok yorucu ve ağır eforlar sonrasında normale dönüş bazen 1-2 saati bulabilmektedir.

#### **Egzersiz sırasında atım hacminin düzenlenmesi;**

Kalbin her kasılda damarlara pompaladığı kan miktarı bazı fizyolojik faktörler tarafından belirlenir. Efor sırasında organlardan kalbe geri dönüşü sağlayan venöz damarlardaki kanın daha fazla olması, yani gevşeme sonu hacmin artması (Frank-Starling kanunu) ve ventriküllerin daha kuvvetli kasılarak daha fazla boşalmasına sebep olması -yani kasılma sonu hacmini daha fazla küçültmesi- ile kalbin atım hacminin artışına neden olur. Ayrıca egzersiz sırasında hem kandaki adrenalin miktarının artması hem de sempatik sinir sistemi aktivitesindeki artış, birlik olarak miyokardın kasılma gücünü artırır. Böylece ventriküler hacmin her kasılda daha fazla küçülmesine neden olurlar.

Kalbin atım hacmi yatar durumdayken dik duruma oranla daha fazladır. Bu sebeple yatar halde yapılan egzersiz sırasındaki atım hacmi artışı daha az olmaktadır. Maksimum değer açısından ise yatar ya da dik durumda yapılan egzersizlerde atım hacmi farklılık göstermez. Antrenman düzeyi az olan kişilerde istirahat halindeyken yatar pozisyonda 100 ml olan atım hacmi dik durumda 60-70 ml'dir. Yatar ve dik durumda yapılan maksimum egzersizlerde ise 125 ml'ye kadar çıkar. Düzenli dayanıklılık antrenmanları yapan ve aerobik kapasitesi çok yüksek olan sporcularda özellikle kalbin kasılma gücünün artması sonucu maksimum atım hacmi 150 ml'ye hatta 200-210 ml'ye kadar çıkabilir.



### **Egzersiz sırasında arteriyel kan basıncı**

Normal koşullarda sistolik, diyastolik ve de ortalama arteriyel kan basınçları egzersiz şiddetinin yükselmesine paralel olarak artmak zorundadır. Ancak sistolikte belirgin olan ve eforla birlikte doğrusal olarak artan basınç diyastolikte daha az görülür. Arteriyel damar basıncını belirleyici olan unsurlarda egzersizle birlikte meydana gelen değişiklikler ise şu şekilde ortaya çıkmaktadır.

Egzersiz sırasında kalbin debisinin yani bir dakikada vücut damarlarına gönderdiği kanın bir taraftan atım hacmi, diğer taraftan atım sayısının artırılmasıyla belirlendiğini daha önce de belirtmiştik. Aerobik kondüsyonu daha iyi bir şahısla sedanter hayat yaşayan bir kişide bu iki unsurun kalbin dakika hacmindeki artışa katkılarının farklı olacağı kesindir. Kalbin dakika hacmindeki artışlar esas olarak sistolik basıncı etkilemektedir. Vücudun damarlarının direncini etkileyen temel unsur ise damar çapında meydana gelen değişikliklerdir. Egzersiz sırasında aktif olan kasların damarları genişleyip, inaktif durumdaki dokuların, özellikle iç organlara ait damarlar daralmaktadır. Böylece kan inaktif dokulardan aktif haldeki kaslara doğru yönelmektedir. Aktivite başlangıcında deri damarlarında görülen daralma ise egzersiz devam edecek olursa da daha sonra ısı düzenlenmesi gereği genişlemektedir. Eğer egzersize katılan kas kitlesi fazla ise (yürüme, yüzme, bisiklet vb gibi), bu takdirde genişleyen damarların periferik dirence olan etkisi, daralan kısımdaki damarların etkisine karşı denge oluşturur. Sonuçta damarların direncindeki değişiklik çok az olur. Bu sebeple diyastolik basınçta genelde değişiklik olmazsa da bazen çok az artma veya düşme görülebilir.

Anlaşılabileceği üzere büyük kas kitlelerinin dâhil olduğu egzersiz tiplerinde sistolik basınçtaki artma diyastoliğe oranla daha fazladır. Eğer efor sırasında devreye giren aktif kas kitlesi küçük ise (eşya itme, gülle atma vb gibi) vucuttaki genişleyen damarların sayısı daralmış durumda olanlardan daha az olacağından damarların direncindeki artma daha fazladır.

Efor sırasında sistolik basınçta artış olmaması veya basıncın düşmesi anormal bir reaksiyondur. Kalp kasının (miyokardın) egzersize karşı adapte olamadığının göstergesidir. Yani sıra diyastolik basınçta 10 mmHg'dan daha fazla artış olması da anormal bir reaksiyon olarak kabul edilir. Akciğer dolaşımında ise sistolik basınç egzersizle 25-40 mmHg kadar yükselirken, diyastolikte değişiklik olmaz. Bilindiği gibi akciğer dolaşımı düşük dirençli bir dolaşım olup basınç artışı olmadan, fazla miktarda genişleyebilen esnek damarlardan meydana gelmektedir. Bu sebeple kalbin akciğer dolaşımına pompaladığı kanın 4-5 misline kadar artışı dahi akciğerlerin arter basıncında belirgin bir artış meydana getirmez.

### **Antrenmanın kalp üzerine etkileri**

**1- Kalp atım hızı:** antrenman düzeyi ve süresi uzadıkça aynı egzersiz şiddetindeki kalp atım hızı düşmektedir. Ayrıca aynı yoğunluktaki bir egzersizde antrenmanlı sporcuların kalp hızı spor yapmayanlara göre daha düşüktür.

**2- Kalp atım hacmi:** sporcuların maksimum atım hacmine bağlı olarak kalp debisinin de daha çok arttığı bilinmektedir. Özellikle

dayanıklılık sporcularında istirahat sırasında görülen düşük kalp atım hızı (40-50/dakika) kalp atım hacminin artışı nedeniyledir.

**3- Kalp hipertrofisi:** düzenli egzersizlerle kalbin hacmi ve boyutlarında da olumlu artışlar meydana gelmektedir. Hücresel proteinlerin sentezinin artışı kas liflerini kalınlaştırır. Sonuçta dayanıklılık antrenmanlarının sol ventrikül hacmini güç ve kuvvet antrenmanlarının kalp kasında hipertrofiyi belirgin olarak geliştirdiği bilinmektedir.

**Kalp ve dolaşım sisteminin egzersize uyumu özeti;**

Kalp atım sayısı, atım hacmi ve kalp debisi artar. Sistolik basınç artar, diyastolik aynı kalır veya düşer. Çalışan kaslar daha çok kan alır. Dokulara bırakılan O<sub>2</sub> artar. Aktif kaslarda CO<sub>2</sub>, laktik asit ve sıcaklık artar. Damarlar genişler. Bölgesel dolaşım artar. Sonra sistemik dolaşım artar ve kalbe gelen kan artar.



# Solunum Fizyolojisi

Dr. Gökhan Metin

*İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı*

Solunum canlı bir varlık ile onun dış ortamı arasındaki gaz alış verişidir. Dış solunum, akciğerlerdeki alveollerin içindeki atmosfer havası ile kan arasında olurken iç solunum, doku düzeyinde hücre ile kan arasında olur. Solunum sisteminin görevleri; gaz değişimi ( $O_2$ 'in alınması,  $CO_2$ 'in verilmesi), vücut pH (asit) ve ısısının düzenlenmesidir. **Solunum sisteminin fizyolojik anatomisi;** burun, ağız, yutak (farinks), gırtlak (larinks), soluk borusu (trakea), bronşlar, bronşiyoller, alveollerden oluşur. Solunum havasının bir kısmı  $O_2$ - $CO_2$  gaz değişiminin yapıldığı bölgelere ulaşamaz. Burun, farinks, trakea, bronş ve bronşiyeller gibi bölgelerde kalan hava “fizyolojik ölü boşluk havası” olup, her bir solukla alınan yaklaşık 500 ml havanın 150 ml'si bu bölgelerde kalmaktadır. Gaz değişimi alveolar solunum sırasında alveolo-kapiller zar düzeyinde olmaktadır. Alveoller ince hava kesecikleridir.  $O_2$ - $CO_2$  değişimi sadece burada olur. Alveollerde vücudun tüm organlarının hepsinden daha fazla kılcıl damar vardır. Alveollerin sayısı 300 milyondan fazla olup toplam yüzeyi  $70-100m^2$  dir. İstirahat sırasında dakikada “yaklaşık” 250 ml  $O_2$  alveollerden kana geçerken, 200 ml  $CO_2$  kandan alveolere geçer. Akciğerler ve kan arasındaki  $O_2$  ve  $CO_2$  değişimi ventilasyon ve difüzyon sonucu oluşur. Ventilasyon; havanın akciğerlere mekanik olarak girip çıkması işlemi olup, Difüzyon; moleküllerin yüksek yoğunluktan düşük yoğunluğa doğru yaptıkları rastgele hareketlerdir (gaz geçişi).

## AKCİĞER HACİMLERİ

- 1)Soluk hacmi; her soluk alış verişte akciğerlere giren çıkan havadır. 500 ml kadardır.
- 2)İnspirasyon (nefes alma) yedek hacmi; normal soluk hacminin üzerine alınabilen fazladan soluk hacmidir. 3000 ml civarındadır.
- 3)Ekspirasyon (nefes verme) yedek hacmi; normal bir ekspirasyon hareketinden sonra, zorlu bir ekspirasyonla fazladan çıkarılan hava miktarıdır. Yaklaşık 1100 ml civarındadır.
- 4)Artık (rezerv) hacim; Zorlu bir ekspirasyondan sonra bile akciğerlerde kalan hava hacmidir. Yaklaşık 1200 ml kadardır.

## AKCİĞER KAPASİTELERİ

- 1)İnspirasyon kapasitesi; Soluk hacmi ile inspirasyon yedek hacminin toplamına eşittir. Yaklaşık  $3000+500=3500$  ml.'dir.
- 2)Fonksiyonel artık kapasite; Ekspirasyon yedek hacmi ile artık hacmin toplamına eşittir. Bu normal bir ekspirasyondan sonra akciğerlerde kalan hava miktarıdır. Yaklaşık  $1100+1200=2300$  ml.'dir.
- 3)Vital kapasite; İnspirasyon yedek hacmi, soluk hacmi ve ekspirasyon yedek hacimlerinin toplamına eşittir. Akciğerlere bir defada alınabilen maksimum hava miktarının göstergesidir. Değeri  $3000+500+1100=4600$  ml.'dir.
- 4)Total akciğer kapasitesi; Akciğerlerin mümkün olan en büyük inspirasyon hareketi sonrasında akciğerlerde bulunan maksimum hava

miktardır. Vital kapasiteye artık hacmin ilavesiyle bulunur. Değeri  $4600+1200=5800$  ml.'dir.

Bazı sporcular daha büyük akciğer kapasitesine sahiptir. Ancak genelde genetik özellikler vücut boyutu için belirleyici olup, aynı boyutlardaki maratoncu ve normal birey benzer vital kapasiteye sahiptir. Fakat su sporlarında vital kapasite daha fazladır. Bunun sebebinin yapılan spor sırasında göğüs kafesine suyun basınç etkisi olduğu düşünülmektedir. Tüm akciğer hacim ve kapasiteleri, kadınlarda erkeklerinkinden % 20-25 daha düşüktür. Sonuç olarak akciğer kapasite ve hacimlerdeki farklılıklar daha çok vücut yapısıyla ilgilidir.

### **AKCİĞER VANTİLYASYONU (SOLUK ALIŞ VERİŞİ)**

Akciğerlerdeki ventilasyon olayında pulmoner ve alveolar ventilasyon olmak üzere iki kavramdan bahsedilmektedir. Pulmoner ventilasyon akciğer havası ile atmosfer havası arasında gerçekleşirken, alveolar ventilasyonda alveolokapiller zar düzeyinde gaz değişimi olmaktadır. Ventilasyon iki safhadan oluşmaktadır. Havanın akciğerlere alınması işlemi inspirasyon, havanın akciğerlerden dışarı çıkartılması ekspirasyon olarak tanımlanır. Dakika ventilasyonu (soluk sıklığı x soluk hacmi) ise bir dakikada akciğerlere alıp verilen hava hacmidir. Bir dakikada çıkarılan havanın toplanması ile hesaplanır.

#### **Egzersizde ventilasyon**

Sportif aktivite esnasında dokuların  $O_2$  ihtiyacının artmasına paralel olarak solunum sisteminden vücuda daha fazla miktarlarda  $O_2$  girmesi gerekir. Egzersiz sırasında aktif dokuların  $O_2$ - $CO_2$  gaz değişimi ve ısının uzaklaştırılabilmesi için dolaşım ve solunum mekanizmaların birbiriyle uyumlu biçimde çalışması zorunludur.

Egzersizde akciğerlerden kana giriş yapan  $O_2$  miktarının arttığı belirtilmiştir. Çünkü dakika ventilasyonuna ek olarak akciğerlerin damarlarındaki kan dakika hacmi de artmaktadır. Bu bağlamda alveollerden kana  $O_2$  difüzyonunun artışı ile birlikte daha çok  $O_2$  alımı söz konusu olmaktadır. Normal dinlenme şartlarında genç bir şahısta kondüsyon koşullarına bağlı olarak kana alınan  $O_2$  miktarı 250 ml/dak iken egzersizde 3-5 L/dak'ya kadar çıkabilir. Buna bağlı olarak  $CO_2$ 'in atmosfere verilmesi 200 ml/dak dan 8 L/dak ya kadar yükselebilir. Egzersizle birlikte yükselen solunum dakika ventilasyonundaki artış aktif kaslardaki  $O_2$  tüketimi ve  $CO_2$  üretiminin artışı ile ilgili olmakla birlikte daha çok  $CO_2$  üretiminde meydana gelen artışa bağlı olmaktadır.

Egzersizde hem solunum frekansı hem de soluk hacminde artış olsa da sporculardaki dakika ventilasyon artışı daha çok solunum hacminde artış ile sağlanır. İhtiyacın soluk hacminde meydana gelen artış ile yerine konamadığı düzeyde yapılan egzersizlerde ise solunum frekansında artış söz konusu olmaktadır.

Sedanter şahıslara göre sporcular efor sırasında daha düşük ventilasyon yaparlar. Bu durum özellikle dayanıklılık sporcularında daha belirgindir. Egzersizin maksimum aşamasında solunum sıklığı dakikada 35-52

40'a hatta 60-70'e kadar ulaşabilir. Soluk hacmi yaklaşık 2 L'yi bulabilir. Böylece istirahat halinde 6 L/dak olan solunum dakika hacmi erkeklerde 180 L/dak, bayanlarda 130 L/dak değerlere yaklaşır. 25-30 katlık bir artış gösterir. Ventilasyon artışı egzersiz sırasında olduğu gibi egzersizden önce ve sonra da olmaktadır. Egzersize başlamadan hemen önce ventilasyonda görülen artışın sebebi beyinden kaynaklanan uyarılar olmaktadır.

Egzersizin hemen başında saniyeler içinde meydana gelen hızlı artışın sebebi ise kas, tendon ve eklemlerdeki duyargalardan kaynaklanan uyarılar ve psikolojik dürtüler olmaktadır. Bu artışı takiben ventilasyonda meydana gelen artış ise kademeli bir artış şeklindedir ve egzersizin şiddeti ile paralel olarak devam eder.

Maksimumun altındaki seviyede yapılan bir egzersiz sırasında görülen ventilasyon artışı genelde solunum hacmindeki artış ile olmaktadır. Ventilasyondaki artış  $O_2$  tüketimi ile paralel olup  $O_2$  tüketiminin ventilasyonla eşitlendiği noktada sabit bir denge oluşturur. Maksimum egzersiz aşamasında ise solunum hacmindeki artışa solunum frekansında meydana gelen artışlar da ilave olur. Maksimum egzersizlerde sabit bir denge oluşmadığı gibi laktik asit ve  $CO_2$  üretimindeki artış fazlasına bağlı olarak ventilasyon daha çok artar. Bu sıradaki ventilasyon artışından sorumlu olan  $CO_2$  üretiminin artışı ve asit uyarılardır.

Egzersizin bitişi ile birlikte ventilasyondaki düşüş çok hızlı olur. Çünkü kas, tendon ve eklemlerdeki duyargalardan kaynaklanan duysal uyarılar kesilmiştir. Daha sonraki düşüş yavaş ve kademeli olarak sürer. Egzersizin yoğunluğu ne denli şiddetli ise ventilasyonun dinlenim düzeyine dönüşü de o kadar geç olmaktadır. Solunum frekansı egzersiz sonrasındaki  $O_2$  borcu dönemi süresince kadar bazal düzeye inmez. Egzersiz sonrası ventilasyonu düzenleyen  $O_2$  ve  $CO_2$  değil, esas olarak laktik asit birikiminden dolayı artan  $H^+$  iyonu yoğunluğudur. Laktik asit ve dolayısıyla  $H^+$  iyonlarının vücuttan uzaklaştırılması sonrasında ventilasyon bazal şartlara dönmektedir.

### **Egzersizde akciğer hacimleri**

Egzersiz esnasında inspiratuar yedek hacim azalırken (IRV), ekspiratuar yedek hacim (ERV) çok az değişir. Rezerv hacim artarken total akciğer kapasitesi (TLC) çok az bir azalma gösterir. İnspirasyon kapasitesi (IC) ve fonksiyonel rezidüel hacim (FRC) artış gösterir.

### **EGZERSİZİN SOLUNUMA ETKİLERİ**

Egzersizle birlikte artan metabolizma için gerekli  $O_2$ 'i sağlayabilmek amacıyla solunum hacmi ve sıklığında artış meydana gelir. Maksimum egzersizlerde ventilasyon 200 L/dak lık gibi bir seviyeye erişebilmektedir. Bu değer daha çok antrenmanlı kişilerde görülüp antrenmanın solunum kaslarını kuvvetlendirmesine bağlıdır. Yapılan bir çalışmada 20 haftalık bir antrenmanın ile solunum kaslarının dayanıklılık kapasitesini % 16 daha arttırdığı bulunmuştur. Ayrıca sporcular ventilasyonu daha çok karın solunumu ile yaparken sedanterler göğüs solunumunu kullanırlar. Teknik olarak göğüs solunumu karın solunumuna göre daha fazla iş gerektirir ve yorucudur.

Antrenmanlarla elde edilen temel kazanım  $VO_2\text{max}$ , yani dokulardaki maksimum aerobik metabolizmadaki oksijen tüketim hızı artışıdır. 7-13 haftalık düzenli bir antrenman programı ile  $VO_2\text{max}$  da % 10'un üzerinde bir artış olduğu saptanmıştır. Şahıslar antrenman düzeyleri ne olursa olsun herhangi bir patolojik durumları yoksa her zaman vücudun ihtiyacından çok daha fazla  $O_2$  alabilme yeteneğindedirler. Bu nedenle antrenman programları ile  $O_2$  kullanılabilirliğinin fazlalığı, yani  $VO_2\text{max}$ 'ın artırılması önemlidir. Ayrıca antrenmanın önemli bir etkisi de  $O_2$  difüzyon kapasitesini arttırmasıdır.  $O_2$ 'in difüzyon kapasitesi alveollerden kana geçiş yapan oksijenin difüzyon hızının bir göstergesidir.  $O_2$  difüzyon kapasitesinin üst limitleri egzersizde sedanterlerde 48 ml/dak iken yüzücülerde 71 ml/dak, kürekçilerde ise 80 ml/dk olarak bulunmuştur.

### **SOLUNUMUN DÜZENLENMESİ VE EGZERSİZ**

Solunum merkezi beyin sapında yerleşmiş sinir hücrelerinin aktiviteleri ile düzenlenmektedir. Bu merkez direk veya indirek olarak kimyasal veya sinirsel yollarla uyarılmakta olup aşağıdaki etkenlerle düzenlenmektedir.

Akciğerlerin gerilmesinden kaynaklanan uyarılar,  
Eklem, kas ve tendonlardaki duyarılardan gelen duysal uyarılar,  
Arteryel kanda ortaya çıkan hidrojen iyonu artışı,  
Aort kavsinde ve karotid arterde bulunan ve kandaki  $PCO_2$ ,  $PO_2$  ve PH da meydana gelen değişikliklere duyarlı kimyasal duyarılardan kaynaklanan duysal uyarılar,  
Deri ve vücut ısısında meydana gelen değişimler,  
Hormonal (örneğin adrenalin) ve sinirsel etkiler ile solunum düzenlenmektedir.

### **EGZERSİZ SIRASINDA KAN UYUMU**

#### **Kanda Oksijenin Taşınması**

Akciğerden kana geçen oksijenin % 97'si kırmızı kan hücrelerinde bulunan hemoglobine bağlı olarak taşınır. %'3 ise kanda erimiş durumda taşınır. Egzersiz sırasında doku düzeyindeki oksijenin hemoglobinden ayrılmasını sağlayan unsurlar;  $CO_2$  artışı, ortamın asitleşmesi ve ısı artışıdır. Sonuçta dokuya daha fazla oksijen bırakılır.

#### **Kanda Karbondioksitin Taşınması**

1-100 ml kanda ortalama 4 ml karbondioksit ( $CO_2$ ) dokulardan akciğerlere taşınır.

2-Bunun % 70'i bikarbonat iyonu; % 5-7'lik bölümü ise kanda çözünmüş olarak taşınır.

3- $CO_2$  de hemoglobine bağlanabilir (oksijenden 250 kat daha hızlı)

4-Ancak  $CO_2$ 'nin basıncının düşük olması nedeniyle hemoglobine bağlı  $CO_2$  miktarı çok sınırlıdır.



# Egzersiz Fizyolojisi

*Dr. Cengiz Dinç*

*70. Yıl Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Hastanesi*

Egzersiz fizyolojisi, organizmanın akut ve kronik egzersize maruz kaldığında fonksiyonlarının nasıl etkilendiğini inceleyen ve son yıllarda özellikle sportif performansın artırılmasında çok önemli bir bilim alanı haline gelmiştir.

Egzersiz fizyolojisinin ana doğum yeri spor ve oyunlarla ilişkili olarak eski uygarlıklar olan Yunanistan ve Asya'dır. Tarihte Hipokrat, Celcus ve Galen gibi düşünürler egzersizin insan organizması üzerinde ki etkilerine dair bilgiler vermektedirler. Yakın tarihimizde ise A.B.D ve Avrupa da Sargent, Braynt, Krogh, Meyerhof, Bruce, Krebs ve Lipmann gibi bilim adamları egzersiz fizyolojisi alanında çok önemli araştırmalar ve buluşlara imza atmışlardır.

Egzersizle ilgili araştırma ve yayınlarda özellikle 1966'lerden sonra her geçen yıl katlanarak artan sayıda bilimsel makale ve yayın yayınlanmıştır.

Egzersiz fizyolojisi başlıca enerji ve fiziksel aktivite, beslenme, enerjinin taşınımı ve kullanımındaki sistemler ile ilgilenirken uygulamalı egzersiz fizyolojisi ise enerji kapasitesinin ve gücünün artırılması, çevresel faktörler ve egzersiz performansı, vücut kompozisyonu enerji dengesi ve kilo kontrolü, yaşlanma ve hastalıklara karşı korunma gibi konularla ilgilenmektedir.

## ENERJİ VE FİZİKSEL AKTİVİTE

Enerji iş yapabilme veya ortaya koyabilme yeteneği olarak tanımlanır. Doğada mevcut altı (6) enerji şekli vardır ve bunlar birbirine dönüşebilir.

- Isı
- Radyasyon
- Işık
- Elektrik
- Kimyasal-potansiyel
- Mekanik-kinetik

Egzersiz fizyolojisinde; enerji ise gözle görülebilen **mekanik iş** ve **vücut ısı** olarak açığa çıkan **potansiyel enerji** miktarını tanımlamak için kullanılır. Potansiyel ve kinetik enerji insan hareketinin ortaya konmasında önemli olan enerji şekilleridir. Hareket ile potansiyel enerji mekanik kinetik enerjiye dönüştürülür. Enerji birimi olarak **joule** veya **kalori** kullanılmaktadır. Bütün potansiyel enerjiler eninde sonunda

kinetik veya ısı enerjisine dönüşürler. Yaşayan organizmalarda enerjinin bu şekli daha sonra kullanılan yeni bileşiklerin yapısında saklanır.

Organizmada iş yapılabilmesi için gerekli enerji besinlerle alınmış ve depolanmış olan maddelerdeki **potansiyel enerjinin** kimyasal reaksiyonlarla **mekanik enerjiye**, dolayısıyla **kinetik enerjiye** dönüşmesiyle mümkün olmaktadır.

### **İnsanlarda potansiyel enerji genellikle 3 ana amaç için kullanılır...**

Kimyasal (hücrel moleküllerin biyosentezi), mekanik (kas hareketi), transport (maddelerin hücreler arasında taşınması)

İhtiyaç duyulan günlük enerji miktarı yaşa cinsiyete ve kişinin fiziksel aktivite düzeyine göre değişmektedir (1200-7000kcal). Bu ihtiyaç duyulan enerji miktarının yaklaşık % 60-75 i çeşitli hayati hücrel aktiviteler için harcanmaktadır ve bu sayede organizma canlılığını sürdürebilmektedir. Canlılığın sürdürülebilmesini sağlayan gerekli enerji miktarına bazal metabolizma denilmektedir. Geri kalan enerjinin %15-30'u fiziksel aktivite için % 10'luk kısmı da besinlerin sindirimleri esnasında harcanmaktadır.

### **ENERJİ DEPOLARI (HÜCRE İÇİ)**

- ATP
- CP
- Trigliserit
- Glikojen
- Amino asitler

### **Dolaşım yoluyla gelenler;**

- Glukoz ve amino asitler (karaciğer kaynaklı)
- Serbest yağ asitleri (karaciğer ve yağ dokusu kaynaklı)

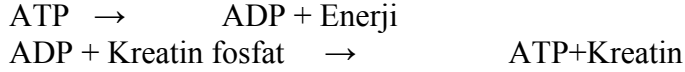
Hücre içi enerji deposu olarak hücrede bulunan depolarda ATP ve CP (kreatin fosfat) depoları saniyelerle ifade edilecek kadar bir süre için enerji ihtiyacını karşılayabilirken bu süre glikojen depoları için dakikalarla ifade edilmektedir. Bu yüzden bu enerji sistemleri ancak ani patlayıcı güç gerektiren sportif aktiviteler (gülle atma, çekiç atma, yüksek atlama 100-200 m koşuları) gibi sportif dallarda kullanılmaktadır.

Trigliserit (yağ) depoları (hücre içi ve serbest yağ asitleri) özellikle cilt altı yağ dokusu olarak çok geniş bir depo alanıdır ve bu depolardaki yağların aerobik süreçlerle parçalanması sonucunda çok uzun sürelerle organizmaya enerji sağlanabilir.

## **Enerji sistemleri**

### **Anaerobik Sistem Oksijensiz Sistem**

- ATP-Kreatin fosfat sistemi=Fosfojen sistem



- Glikolitik sistem=Laktik asit sistem



### **Aerobik Sistem Oksijenli sistem**

- Aerobik glikoliz
- Glikoz(karbonhidrat)+Yağ+Protein+O<sub>2</sub> → ATP

Bu sistemlerin aslında hepsi yapılan işin veya egzersizin şiddet ve süresi, kişinin performans düzeyine bağlı olarak belirli oranlarda enerji verici olarak kullanılmaktadır. Yaklaşık olarak iki (2) dakikayı geçmeyen egzersizlerde yukarıdaki Anaerobik sistemle enerji elde edilirken iki (2) dakikayı geçen egzersizlerde süre uzadıkça enerji elde edilmesin de aerobik süreçlerin hâkimiyeti giderek artmaktadır örneğin bir (1) saatlik bir egzersizde enerjinin yaklaşık %98'i aerobik yolla elde edilmektedir.

## **ENERJİ KAPASİTESİNİN ARTIRILMASI**

Sportif bir başarı için yapılması gereken ilk şey Anaerobik ve Aerobik enerji kapasitesinin artırılması gelir. Bu sistemlerin kapasitelerinin artırılabilmesi için Uygun Antrenman, Kas gücünün artırılması, uygun ve yeterli beslenme ve ergojenik destek gerekir.

### **Aerobik güç gelişimi**

- Aerobik antrenmanların amacı aerobik dayanıklılığın (yorgunluğun geciktirilmesi) artırılmasıdır.
- Kaslara giden ve kullanılan oksijen miktarının artırılması amaçlanır.
- Uzun süreli ve yaygın interval çalışmalar ile gerçekleştirilir.

Aerobik güç saha ve laboratuvar şartlarında özel birtakım testlerle ölçülebilir. Aerobik güç maksimum oksijen kullanımı ile gösterilir. Maksimal O<sub>2</sub> kullanımı yaş, cinsiyet, yapılan egzersiz ya da sporun tipi ve antrenman süresi ile değişebilmektedir.

### **Anaerobik güç gelişimi**

- Anaerobik antrenmanların amacı anaerobik gücü ve dayanıklılığın artırılmasıdır.
- Kasların oksijensiz ortamda ve yüksek laktik asit seviyelerinde performansının artırılması amaçlanır.
- Kısa süreli yüksek şiddetli çalışmalar ve yoğun interval çalışmalar ile artırılır

Anaerobik güç saha ve laboratuvar şartlarında özel birtakım testlerle ölçülebilir.

### **KUVVET ANTRENMANI**

Kas kuvvetinin en uygun şartlarda ve kısa zamanda geliştirilebilmesi için öncelikle uygun bir antrenman modellemesi gerekir. Bunun içinde kişide var olan çeşitli kas gruplarına ait kas kuvvetlerinin objektif olarak ölçülmesi gerekir. Bu ölçümler için geliştirilmiş kas dinometrelerinin yanında çok daha karışık ve pahalı bilgisayar destekli izokinetik kas gücü ölçüm sistemleri geliştirilmiştir.

Egzersiz fizyolojisinin iyi anlaşılması sportif performansın gelişiminin sağlanmasında çok önemlidir. Egzersiz fizyolojisi bilgisine sahip olmadan yapılacak performans geliştirici grup ve bireysel antrenman modellemeleri sporcuda gerekli olan performans gelişimini sağlamaktan uzak olacaktır.

### **Egzersiz fizyolojisinin yeni ufukları**

- Moleküler biyoloji
- İnsan genomu üzerine çalışmalar
- İnsan performansını artırmaya yönelik çalışmalar

Bu konulardaki çalışmalardan elde edilecek yeni bilimsel gerçekler insanın performansında fizyolojik sınırları değiştirebilecektir

# Kas, Kas Kasılması ve Kasılma Tipleri

*Dr. İlker YÜCESİR*

*İstanbul Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksek Okulu*

İskelet kasının yapısı, fonksiyon, kasılma mekanizması, motor ünite, kas hareketinin sinirsel kontrolü, istemli hareket, kas lifi tipleri, kasılma tipleri konuları bu dersin konularıdır. Ders sırasında sözlü olarak daha geniş bilgi verilmiş olmakla birlikte; bu özetin içeriği konu hakkında genel bilgilenme açısından yeterli olacaktır. Ancak konunun önemini bilen ve mesleki açıdan faydalanmak üzere konuya eğilen kişiler için bu metnin içeriği ancak bir başlangıç ve yol göstericilik yapabilir. Masör arkadaşlara yardımcı olabilmek amacıyla hazırlanan bu metin hiçbir şekilde akademik kaynak olarak kabul edilemez.

## Kas Yapısı, Kasılma

### Üç çeşit kas vardır

Kalp kası

Düz kas

İskelet kası

Yapı ve fonksiyon açısından kimi benzerlikler göstermekle birlikte her kas türünün kendine has özellikleri vardır. Konuya birbirlerine benzerlikleri açısından yaklaşıldığında kalp kası düz kas ve iskelet kası arasında bir form olarak değerlendirilebilir. Üç çeşit kas içinde istemli olarak kontrol edilebilenler iskelet kaslarıdır. Düz kaslar ve kalp kası otonomik olarak çalışırlar. Bu konulardan ilgili derslerde bahsedilecektir.

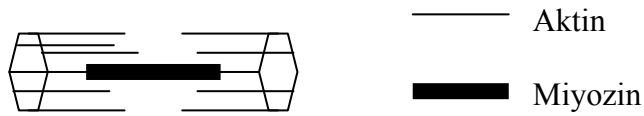
İnsan vücudunda 430'dan fazla istemli kas bulunur. Her kas; lif tabir edilen binlerce kas hücresinden oluşur, silindirik yapıdaki bu hücreler çok çekirdekli. Kas boyunca uzunlamasına ve birbirlerine paralel olarak uzanan bu hücreler (lifler) birlikte hareket ederek sinerjik etki gösterirler. Hücrelerin gelişimi embriyonel hayatın (hamileliğin) ikinci trimestirinde tamamlanarak sayıları sabitleşir.

Anatomik olarak dıştan içe doğru incelendiğinde; epimisyum denen bir zar fibröz bağ dokusundan oluşan fasya ile kası sarar. Bunun altında kas boyunca uzanan fasiküller bulunur ve her fasikül birkaç ile birkaç yüz arasında değişen sayıda kas lifi içerir. Fasiküller perimisyum denen bir zarla kaplıdır. Bu zarın altında fasikülü oluşturan kas lifleri bulunur ve bu lifler de endomisyum denen bir zarla sarılıdır ancak bu doku hücre membranı değildir. Endomisyumun altında Sarkolemma adı verilen ve hücre elemanlarını saran, ince, elastik bir membran bulunur: Sarkolemma gerçek hücre zarıdır. Bunun altındaki, yani hücrenin içindeki sıvı kompartmana sarkoplazma denir. Sarkoplazma içinde özelleşmiş, tübüler bir ağ sistemi bulunur sarkoplazmik retinakulum denen bu yapı hücre içi madde taşınmasına ve yapısal bütünlüğe hizmet eder.

En dışta kası saran epimisyum uçlara doğru gittikçe incelir ve sıkı tendon dokusuyla birbirine karışır. Bir başka açıklama tendonu farklı bir yapı olarak kabul etmez ve epimisyumun tendona karıştığını değil, gittikçe incelen ve iç içe geçen bağ dokusu yapısındaki tüm kılıfların (epimisyum, perimisyum, endomisyum) birleşerek tendonu oluşturduklarını söyler.

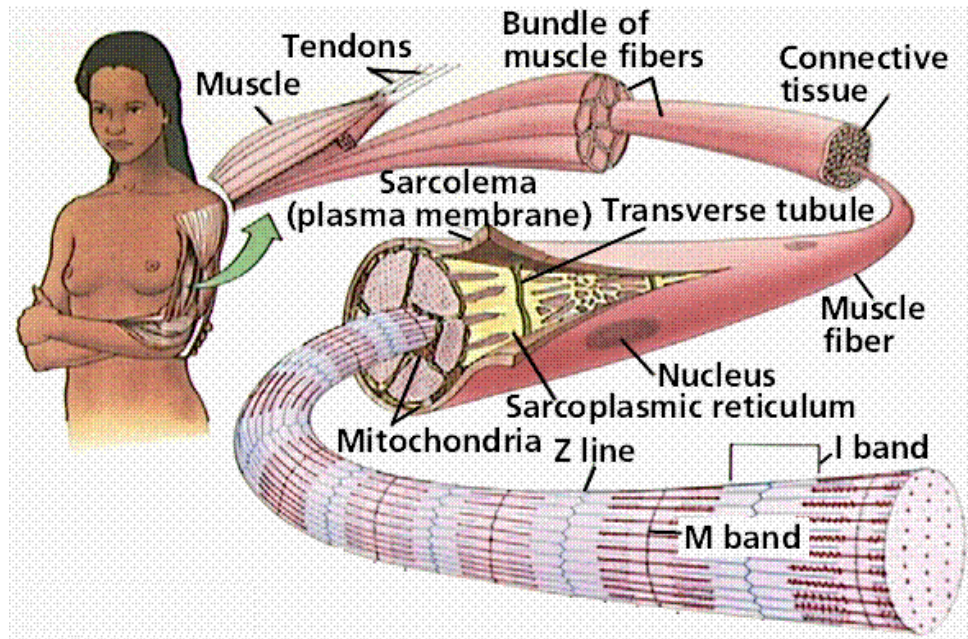
Tendonlar kasları kemiklere bağlayan bağdokusu kaynaklı elemanlardır. Bağlantı noktalarında tendon yapısı da değişikliğe uğrayarak kemik dokusu içine karışır.

İskelet kası binlerce küçük, kasılabilir elemanın bir arada bulunması ile oluşur. Her eleman kasılabilir daha küçük elemanlardan oluşur. En küçük işlevsel birim sarkomerdir. Sarkomer içinde bulunan yapıların en önemlileri kasılmanın baş aktörleri olan aktin ve miyozin flamanlarıdır. Protein yapısındaki bu flamanlardan miyozin kalın aktin ince yapılıdır. Kabaca tarif etmek gerekirse; ortadaki miyozin filamanının etrafında üç boyutlu düşünüldüğünde altıgen bir silindir gibi miyozini saran aktin flamanları mevcuttur. Kasılma olduğunda bu aktin flamanları miyozin üzerinde kayarak birbirlerine yaklaşır, böylece kasın boyunu kısaltırlar.



**Şekil 1.** Basit sarkomer yapısı.

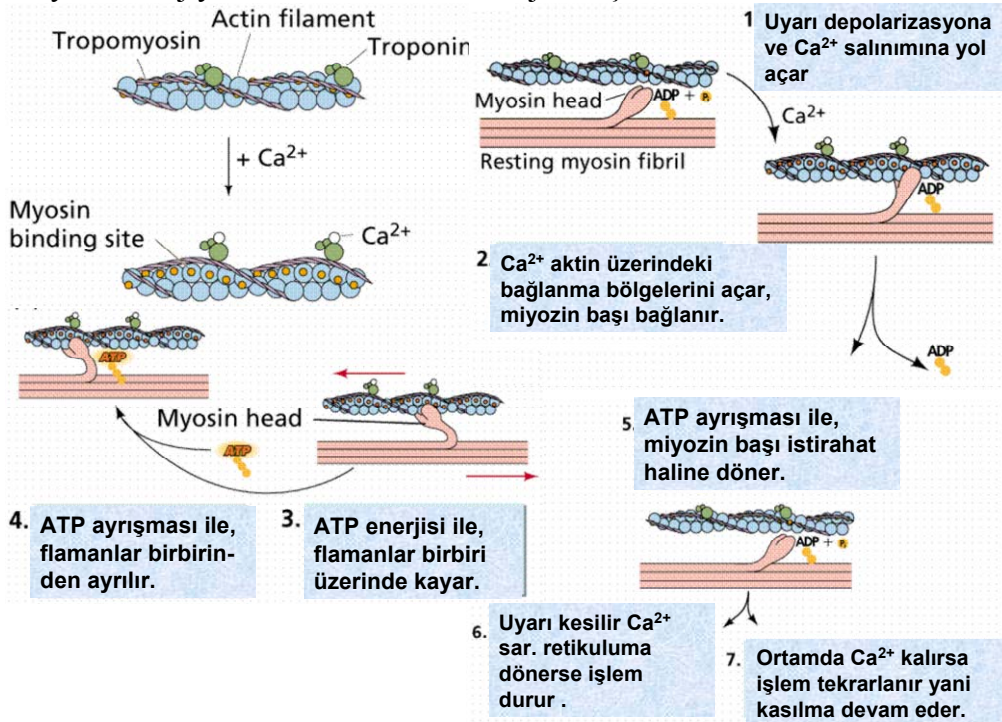
Tüm lif sistemi sarkomer boyutuna kadar inen (incelen) kan damarları (kapiller damarlar) ve tübüler bir sistemle (sarkoplazmik retikulum) sarılıdır. Tübüler sistemde  $Ca^{++}$  depoludur.



**Şekil 2.** Kasın demet ve lifli yapısı, kas lifinin (Muscle fiber) içyapısı, sarkomer.

Kas lifleri motor sinirlerle innerve edilirler. Motor sinirler beyinden gönderilen uyarıyı kasa taşırlar. Sinir ucundan Asetilkolin (Ach) salınır. Sinir ucundan motor plakta salgılanan asetilkolin nöromusküler plakta kas membranındaki reseptörle-re tutunur ve membran geçirgenliğini değiştirir. Bu olay kas membranının uyarılmasıdır. Sinir uçlarından (akson terminal uçlarından) salınan, sinaptik aralıktaki Ach salınmasının hemen ardından Ach-esteraz tarafından yıkılır. Eğer uyarı yeterli miktarda Ach salınımı

sağlarsa reseptörler aracılığıyla değişen membran geçirgenliği yeterli düzeyde değişir ve depolarizasyon oluşur. Depolarizasyon bir kez oluştuğunda, depolarizasyon kas lifi (kas hücresi) boyunca yayılarak tüm hücrenin aynı anda kasılmasını sağlar ve hücre harekete katılır. Depolarizasyonla birlikte sarkoplazmik retikulumdan sarkomere  $Ca^{++}$  salınır,  $Ca^{++}$  aktin filamenti üzerinde belli bölgelere tutunarak aktinin şeklini değiştirir ve aktin üzerindeki bağlanma bölgelerini yapısal olarak bağlanmaya hazır hale getirir (açığa çıkarır). Aktin ve miyozin molekülleri elektrostatik yükleri sebebiyle birleşip bağlanmaya eğilimlidir. Ayrıca miyozin kollarına bağlanan ATP miyozin köprülerini aktine yaklaştırır. Ancak sadece  $Ca^{++}$  bağlanmasıyla aktinde oluşan şekil değişikliği bağlanma bölgelerinin açığa çıkmasına yol açarak bağlanmayı mümkün kılabilir.  $Ca^{++}$  olmazsa ATP ile aktif hale gelen miyozin başları bağlanmayı yapamaz. Böylece miyozin üzerindeki çapraz köprüler aktinle bağlanırlar. ATP'nin hidrolize olarak ayrışması ile çapraz köprüler eğilerek sarkomer boyunu kısaltacak şekilde aktini içe doğru çekerler. Böylece aktinler sarkomerin merkezine doğru kaymış yani hareket etmiş olurlar. Bu eğilme tamamlandığında bir an için ayrılan köprüler ortamdaki ATP ile aktive olarak karşılıklarına gelen bağlanma bölgesini tutar ve aynı işlemi tekrarlarlar. Uyarı sürdükçe  $Ca^{++}$  ortamda kalır ve böylece aktin üzerindeki bağlanma bölgeleri de açık, bağlanmaya hazır kalır. Tüm aktif bağlanma bölgelerinin miyozin başları ile eş zamanlı bağlanıp ayrılmaması, bir başka deyişle zamansal olarak bazıları bağlanırken bazılarının ayrılması ve olayın üç boyutlu olması (bkz: sarkomer yapısı) sürekli, akıcı ve kuvvetli bir kayma hareketini meydana getirir. Bu bağlanma ve ayrılmalar sırasında miyozin başlarını aktive eden ATP enerjisidir. Tüm diğer dokular gibi kas dokusu da enerji olarak ATP'yi (adenozintrifosfat) kullanır. İskelet kası ATP'deki kimyasal enerjiyi hareketin mekanik enerjisine çevirir.



Şekil 3. Kasılma sırasında: 1) uyarı ile sarkoplazmik retikulumdan  $Ca^{2+}$  salınımı; 2) aktin üzerindeki bağlanma bölgelerinin (myosin binding site) açığa çıkması; 3, 4) miyozin başını aktif tutan ATP'nin hidrolizi (ayrışması)

ile açığa çıkan enerjinin flamanları kaydırması; 5) miyozin başının eski haline dönmesi; 6, 7) uyarının devam etmesi halinde ortamda kalan  $Ca^{2+}$  aktin üzerindeki bağlanma bölgelerini açık tutar ve ATP ile aktiflenen miyozin başı buraya tutunarak kasılma devam eder, uyarı kesilirse  $Ca^{2+}$  sarkoplazmik retikulumına döner ve bağlanma bölgeleri kapanır.

Kasılma için; uyarı,  $Ca^{++}$  ve enerji (ATP) gerekir! Uyarı,  $Ca^{++}$  ve ATP bulunduğu sürece işlem devam eder, herhangi birinin yokluğunda kasılma olmaz! Elektriksel uyarı ve sinirsel uyarı kas kasılmasını sağlayabilir.

Uyarılma eşiği, Hep-Hiç Yasası:

Uyarılabilen her hücrenin bir eşik potansiyeli vardır. Motor sinirle kasa iletilen uyarının şiddeti büyük veya küçük olabilir (çok veya az Ach salınır). Salınan Ach miktarı kas membranındaki depolarizasyonun şiddetini belirler. Oluşan depolarizasyonun şiddeti eşiği geçerse depolarizasyon kas lifi boyunca yayılarak tüm lifi uyarır ve kasılma gerçekleşir. Eşik altında kalırsa uyarı söner ve hiçbir şey olmaz.

Relaksasyon (gevşeme):

Uyarı durur, ACH salgısı durur. Membran potansiyeli sükûn potansiyeli denen uyarı öncesi durumuna döner. Kalsiyum sarkoplazmik retinakulumuna geri taşınır ortamdan uzaklaşan  $Ca^{++}$  bağlanma bölgelerinin inaktif dönemdeki şekillerine dönmesine yani aktinin tekrar normal şeklini almasına sebep olur. Böylece Miyozin ve Aktin ayrılırlar.

**Duyusal-Motor Tümleşme:**

Duyusal bir uyarı varlığında bu uyarının MSS'ye duyu sinirleri ile taşınmasını, MSS'nin bu uyarıyı işleyerek oluşan yanıtı motor sinirler aracılığıyla kasa göndermesini, motor uyarının kasa ulaşması ile yanıtın oluşumunu ifade eder.

Duyusal uyarı arka boynuzdan omuriliğin ilgili segmentine ulaşır. Burada bulunan pek çok nöron bu bilgiyi işler. Bu nöronların bir kısmı bilgiyi üst merkezlere taşıyacak olan nöronlardır (çıkıcı duysal yol), bir kısmı doğrudan yanıt oluşturan motor nöronlardır (refleks yanıt), bir kısmı bilgiyi lokal işleyen ve refleks yanıtı etkileyen ara nöronlardır, bir kısmı yakın segmentlere bilgi taşıyan segmenter nöronlardır.

İstemli Hareket:

Üst merkezlerde (beynin motor korteksi) planlanan bir hareketin gerçekleşmesidir.

Beyin→Omurilik→Motor nöron→Kas→Kasılma

İstemli hareketin oluşu hemen daima duysal motor tümleşmeyi gerektirir. Bu tümleşme sırasında görsel, işitsel ve derin duyu algıları başta olmak üzere hareketin gerektirdiği tüm bilgiler kullanılır. Egzersizde görsel, işitsel, derin duyu algıları ve daha önceden öğrenilmiş hareket kalıplarının kullanımı bu işlemde önceliklidir. Herhangi bir dış uyarı olmaksızın gerçekleştirilen istemli hareketlerde de yine bu duyular aracılığıyla daha önceden öğrenilmiş ve hafızada tutulan bilgiler, soyut ve somut kavramlar beyindeki planlamada kullanılır. Bu durumda söz konusu olan güncel (o



andaki duysal uyaranlarla) bir duysal-motor tümleşme olmasa da beyinde bir çeşit tümleştirmenin varlığı kesindir.

## Motor Ünite – Kas Lifi Tipleri

### Motor Ünite:

Bir motor sinir ve onun innerve ettiği kas liflerine motor ünite denir. Her motor nöron dallanan akson uçlarıyla birkaç tane ile birkaç bin arasında değişen sayıda kas lifini innerve eder. Motor nöron uyarıldığında motor üniteyi oluşturan tüm kas liflerini eş zamanlı uyarır.

Motor nöronlar ve innerve ettikleri kas lifleri fonksiyonel olarak benzerlik gösterirler. Bir başka deyişle farklı motor nöronların ve onların innerve ettikleri kas lifleri ile oluşturdıkları motor ünitelerin kendilerine has özellikleri vardır ve kas lifi tiplmesi ile motor ünite tiplmeleri örtüşür. Temel olarak üç farklı tip motor ünite⇒kas lifi mevcuttur.

Hızlı Kasılan (fast twitch) Motor Üniteler

Yavaş Kasılan (slow twitch) Motor Üniteler

### Ara Tipler

Motor üniteler şu özelliklere göre farklılaşırlar: kasılma (twitch) hızı; kasılma frekansı; kuvvet büyüklüğü; dayanıklılık; innerve ettikleri lif sayısı; uyarılma eşiği.

Temel olarak motor ünite ve kas lifleri iki tiptir: Yavaş-aerobik ünite/lifler ve hızlı-glikolitik ünite/lifler. Bu iki temel tipin farklı özelliklerini taşıyan ara tipler mevcuttur.

Motor üniteler elektriksel- ve biyokimyasal özellikleri açısından önemli farklar gösterir.

### Slow Twitch (tip I) Lifler:

Kasılma frekansları düşüktür (yavaş kasılırlar)

Az kuvvet üretirler

Aerobik kapasiteleri yüksektir (çok geç yorulurlar)

Dayanıklılık türü iş yapan kaslarda daha yoğundurlar (soleus, erektor spinae)

### Fast Twitch (tipII) Lifler:

Kasılma frekansları yüksektir

Kuvvet üretimleri fazladır

Glikolitik kapasiteleri yüksektir (anaerobik)

Çabuk yorulurlar

Uyarı eşikleri yüksektir

Kuvvet üreten kaslarda yoğundurlar

### Ara Tip Lifler:

Özellikleri hızlı liflere daha yakındır

Hızlı kasılırlar

Hızlı liflerden az kuvvet üretirler

Hızlı liflerden daha dayanıklıdırlar

| <i>Motor Ünite Özelliği</i>    | <i>Kuvvet Üretimi</i> | <i>Kasılma Hızı</i> | <i>Yorgunluk Direnci</i> | <i>Motor Ünite Kas Lifi Tipi</i> |
|--------------------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Hızlı çabuk yorulan (FF)       | Yüksek                | Hızlı               | Düşük                    | Hızlı glikolitik (FG)            |
| Hızlı yorgunluğa dirençli (FR) | Orta                  | Hızlı               | Yüksek                   | Hızlı oksidatif glikolitik (FOG) |
| Yavaş (S)                      | Düşük                 | Yavaş               | Yüksek                   | Yavaş oksidatif (SO)             |

Motor ünite ve kaslı tiplerinin özellikleri: Ortak tablo, aynı tip kas lifleri ve motor ünitelerin birlikteliğine dikkat ediniz!

**Belirli bir kasta farklı ünite/liflerin göreceli oranı, O kasın/kişinin belirli bir spordaki performansı ile doğrudan ilişkilidir**

#### **Farklı Branş Sporcularında Kas Lifi Tipleri:**

Ciddi farklar bir branşı üst düzeyde yapan elit sporcular için söz konusudur. Dayanıklılık sporcularında yavaş-oksidatif lifler fazladır. Halter, sprint koşuları gibi kuvvet sporlarında hızlı-glikolitik lifler fazladır. Futbol, basketbol gibi branşlar iyi bir karma gerektirir.

#### **Kasılma Tipleri**

##### ***Kasılma Tipleri:***

- İzometrik (kasın boyu değişmez)
- Konsantrik (kasın boyu kısalır)
- Eksantrik (kasın boyu uzar)
- İzokinetik (sabit hızda konsantrik)

**İzometrik kasılma:** Kasın boyu değişmeksizin kasılmasıyla kuvvet üretilmesidir. Kasın yalnızca gerimi artar boyu değişmez. Genellikle hareket konsantrik veya eksantrik başlayıp izometrik devam eder; bir hareket yapılmak istenirken maksimum kuvvet uygulandığı halde hareket olmayabilir, bu durumda kasılma kas boyunda herhangi bir değişiklik olmaksızın izometrik gerçekleşir. Egzersiz veya günlük aktivitede belli bir pozisyonu korurken kaslar izometrik olarak kasılırlar.

#### **Konsantrik (izotonik) Kasılma:**

Normal eklem hareketi için yapılan kasılmalar bu türdür (ek yük-direnç olmaksızın eklem normal hareketleri). Dirence karşı kuvvet üretilip gerim artarken kasın boyu kısalır. Dirence karşı kuvvet uygulanırken direnç yenildiğinde hareket gerçekleşir ve kasılma konsantrik olur.

**Eksentrik Kasılma:**

Kasın boyu uzarken kuvvet üretilmesidir. Üretilen kuvvet kası uzatan yüke karşıdır. Genellikle; eğer yük yenilirse eksentrik kasılma izometrik veya konsantrik kasılmaya geçiş gösterir ve hareket tamamlanır.

**İzokinetik Kasılma:**

Eksentrik veya konsantrik olabilir. Kasılma ile yapılan hareketin sabit hızda olmasıdır. Doğal şartlarda pek nadirdir, hatta neredeyse hiç görülmez. Doğal olarak ancak aşırı kontrollü hareket ile söz konusu olabilir. Ancak izokinetik egzersiz makineleri ile mümkündür. Bu makineler ayarlanan hızın sağlanabilmesi için kişinin ürettiği kuvvetle orantılı bir kuvveti direnç olarak uygulayarak hareketin sabit hızda kalmasını sağlarlar. Bir hareketin belirli bölümlerinde üretilen kuvvet farklı olabilir. Örneğin dizin 90 derece bükülü halden (fleksiyon) 0 dereceye (tam ekstansiyon) getirilmesi sırasında 40-60 dereceler arasındaki açılarda üretilen kuvvet az ise, böyle bir durumda o açılarda kişinin ürettiği kuvvet düştüğünden izokinetik makineler uyguladıkları direnci düşürür ve hareketin sabit hızda devam etmesini sağlar.

Yukarıdaki tanımlar genellikle ideal şartlar için geçerlidir. Pratikte tüm kasılma çeşitleri birbirine geçişlidir (özellikle konsantrik, izometrik ve eksentrik kasılmalar). Özel dikkat gösterilmediği sürece hangi tür kasılma yapıldığı, yapılması istenen işe ve dirence bağlıdır. Rehabilitasyon gibi özel amaçlı uygulamalar dışında izokinetik kasılma çok nadirdir.



# Enerji Metabolizması

Dr. İlker YÜCESİR

*İstanbul Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksek Okulu*

Organizmada enerji üretimi ile ilgili konular bu dersin konularıdır. Ders sırasında sözlü olarak daha geniş bilgi verilmiş olmakla birlikte; bu özeti içeriği konu hakkında genel bilgilenme açısından yeterli olacaktır. Ancak konunun önemini bilen ve mesleki açıdan faydalanmak üzere konuya eğilen kişiler için bu metnin içeriği ancak bir başlangıç ve yol göstericilik yapabilir. Masör arkadaşlara yardımcı olabilmek amacıyla hazırlanan bu metin hiçbir şekilde akademik kaynak olarak kabul edilemez.

## ATP

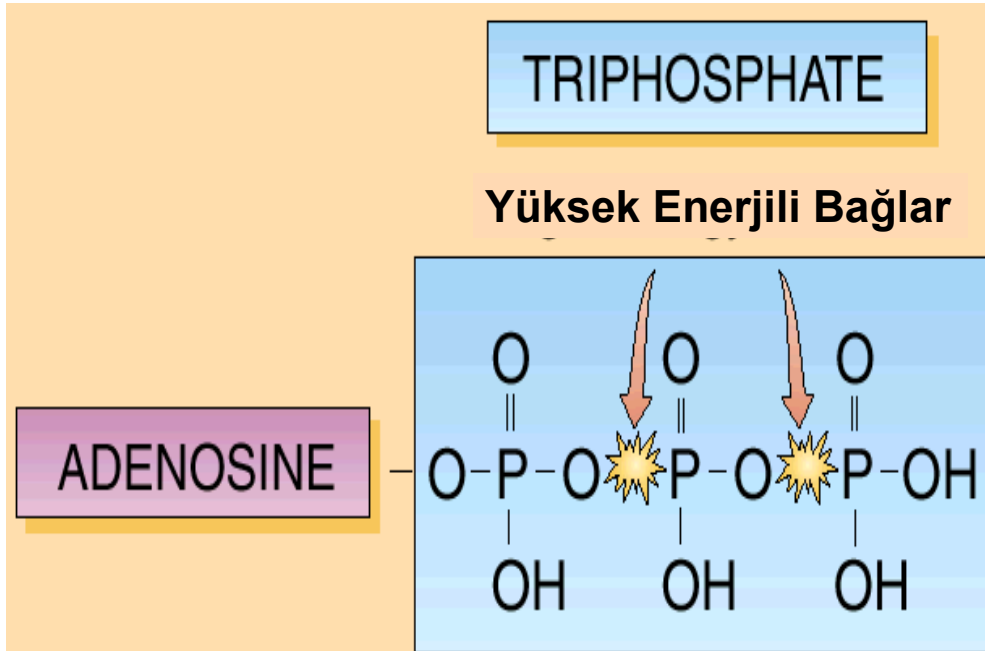
Enerji kullanımının ana maddesi adenosin trifosfattır: **ATP**

Fosfat iyonunun adenosinle bağı çok kuvvetlidir ve önemli bir miktar enerjiyi barındırır. Ayrışma reaksiyonunun gerçekleşmesi için **ATPase** denen bir enzimin varlığı gereklidir

Önemli: ATP Hidrolizi (ayrışması) oksijene ihtiyaç duymaz

$ATP \rightarrow ADP + P_i$  ; Bu reaksiyon sırasında enerji açığa çıkar ve bu enerjinin bir kısmı ısı olarak çevreye yayılırken bir kısmı da amaca uygun olarak (örn: kas kasılması) kullanılır. ATP kullanılabilen tek enerji kaynağıdır.

ATP kas içinde sadece birkaç saniye yeterli olacak kadar depolanmıştır. İş yapabilmek için gereksinim duyulan ATP sürekli olarak üretilir.



Şekil 1. ATP; AdenosinTriFosfat

ATP Üretimi (enerji sistemleri)

Anaerobik-alaktik → oksijen kullanmaz

**Anaerobik-laktik → oksijen kullanmaz**

**Aerobik → oksijen kullanır**

ATP Havuzu:

Hücre içinde hazır olarak bulunan ATP miktarını ifade eder. Tüm enerji sistemleri sürekli olarak bu miktarı sabit tutmaya çalışır (harcama miktarı kadar ATP üreterek havuzu doldurmaya çalışır).

**TÜM SİSTEMLER EŞ ZAMANLI, İÇ İÇE VE GEÇİŞLİ OLARAK ÇALIŞIR**

Her türlü aktivite sırasında tüm enerji sistemleri devrededir. Yani herhangi bir aktivite sırasında (sprint-jogging fark etmez) tüm sistemler ATP yapımında rol alır. Ancak; ATP'nin tüketim hızı (sprint sırasında çok hızlı, jogging sırasında yavaş) hangi sistemin öncelikli olarak havuzu dolduracağını belirler. Diğer önemli bir belirleyici ortamda oksijen varlığı veya yokluğudur. **Gerçekte oksijen sürekli olarak mevcuttur;** ancak mevcut oksijenle üretilen ATP miktarının yeterli olup olmaması söz konusudur (hızlı tüketimde örn: sprint, üretilen miktar tüketimi karşılamaz ve öncelik anaerobik sistemlerde olur). Eğer oksijenli ATP üretimi göreceli olarak yetersiz kalırsa, egzersiz tipine bağlı olarak kasa giden oksijende azalma söz konusu olursa ya da yükseklik gibi ortam oksijeninin kısmi eksikliği gibi bir durumda oksijen yokluğundan bahsedilir.

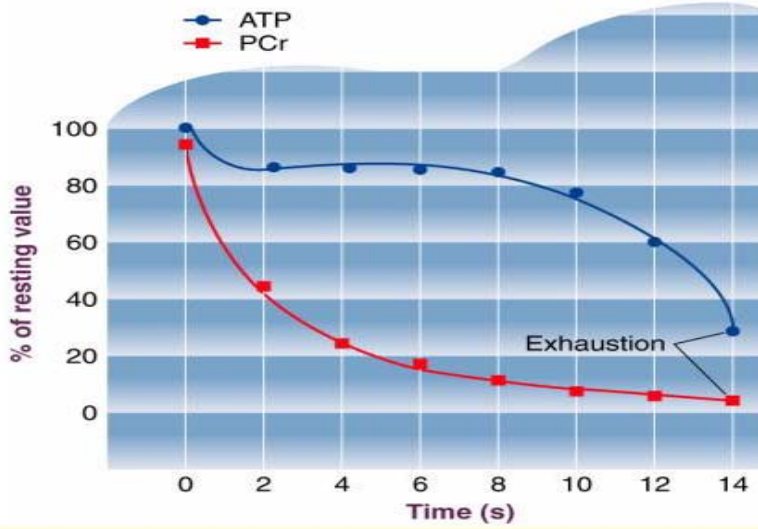
**Acil enerji sistemi: ATP-Fosfokreatin (kreatinfosfat) sistemi**

Anaerobik-alaktik olarak da adlandırılır. Hiç O<sub>2</sub> kullanılmaz. Maksimum eforda 6-8 saniye sürelidir. Yavaş bir yürüyüşe 1dak, hafif bir koşuya 20-30 sn dayanır. Tüketilen ATP Kreatinfosfat kullanılarak restore edilir (yerine konur).

Kreatinfosfat (fosfokreatin): CP (PCR) kasta bulunur. CP → C + Pi + enerji. Açığa çıkan enerji ATP'nin refosforilasyonu [ADP'den ATP yapımı, ayrılan fosforun tekrar bağlanması (ADP + Pi + enerji → ATP)] için kullanılır.

ADP'den tekrar ATP üretmek için CP'deki bağın enerjisi ve serbest Pi (kreatinden veya ATP'den ayrılan) kullanılır.

**ATP kullanıldıkça, CP ADP'den ATP üretir. Bu bir bardağın boşaldıkça doldurulması gibidir**



**Şekil 2.** Tüketici efor yapan bir kasta ATP-CP konsantrasyonundaki değişim

## ÖZET

ATP tek enerji kaynağıdır

Kasın sıvı hacmi içinde depolanmıştır

Yalnızca sn.'lerle sınırlı süre egzersize yeterli miktarda bulunur

Enerji serbestlemesi için ATPaz gerekir

ATP'nin acil üretimi için Kreatin Fosfat kullanılır

Bu işlem için Kreatin Kinaz kullanılır

## Anaerobik-Laktik sistem

Bir diğer adı "**anaerobik glikoliz**" dir (glikoz yıkımı).

Oksijensiz ATP üreten bir mekanizmadır. Hızlı enerji gereken (ATP üretimi) ve oksijen desteğinin yetersiz kaldığı durumlarda devrededir. Glikoz hücrede enerji (ATP) üretimi için kullanılmaya başladığında önce bu işlem başlar (stoplazmada). "Aerobik glikolizin başlangıç basamaklarında yarım kalması" olarak tanımlanabilir. Yalnızca karbonhidratlar (glikoz) kullanılır. Maksimum eforda en fazla 1,5-3 dak süre ile enerji sağlar. FT lifleri daha çok bu sistemi kullanırlar. Laktik asidoz (kanda laktik asit artışıyla kan pH'sının düşmesi) ile sona erer. Asidoz (hücre içi veya kanda asitliğin artması) enerji üreten sistemlerin ve diğer bazı yaşamsal mekanizmaların işleyişini durdurur.

Bu işlem bir topu tepe aşırıp yuvarlamaya benzer.

1.Adım: Topa tepeyi aşırıtmaktır (enerji gerekir; ATP kullanılır)

2.Adım: Olayı yer çekimine bırakıp izlemektir (enerji gerekmez kendiliğinden devam eder)

ATP-PC Sistemi maksimum eforla en çok 10 sn. dayanarak tükenir⇒ bu sistemin dışında ATP üretmek gerekir...

Glikoz hücre stoplazmasında oksijen kullanmaksızın (anaerobik) ATP üretebilir.

Glikoz hücre içine aktif transportla taşınır ve glukoz 6-Fosfat halinde hücreye girer (enerji gerekir; 1 mol. ATP). Enerji kullanılan (1 mol ATP) diğer basamak  $F6P \rightarrow F1,6-biP$  basamağıdır ve PFK (fosfofrüktokinaz) işlemin devamında anahtar rol oynar. Bundan sonra molekül bölünür. Bölünme ürünü ara basamaklardan sonra piruvata (pirüvik asit) dönüşür.

Bir glikoz molekülünün yıkıma hazır hale gelmesi için 2 mol. ATP harcanır. Daha sonra; bölünmeden pirüvik asite kadar ki basamaklarda 2 mol. ATP oluşur. Bölünme sebebiyle bu işlem iki kez gerçekleşir  $\Rightarrow 2 \times 2 \text{ mol. ATP}$ . 2 mol harcanan ve 4 mol kazanılan ATP ile net kazanç = 2 ATP.

**Yukarıda sözü edilen kimyasal olaylar sınavda soru olarak sorulmayacaktır, ara bilgi amacıyla verilmiştir!**

Bu işlem hücre stoplazmasında gerçekleşir. Oksijen varlığında pirüvik asit mitokondriye girer ve aerobik sistem devam eder. Oksijen yokluğunda ise pirüvik asit laktik asite dönüşür ve enerji üretimi durur, laktik asit stoplazmada birikmeye başlar. Biriken laktik asit kana geçer; böylece hücre içi ile hücre dışındaki laktik asit yoğunluğu dengelenir. Laktik asit kas hücresi içinde ve kanda belli bir seviyeye yükseldiğinde (laktik asidoz) egzersize devam edilemez.

***Oksijen kullanmaması ve laktik asit oluşması sebebiyle bu sisteme anaerobik-laktik sistem denir. Oksijen kullanılmaması ve laktik asit oluşması sistemin amacı değil, şartların sonucudur.***

#### **Aerobik enerji sistemi**

Oksijen kullanılarak ATP üreten çeşitli mekanizmalar mevcuttur. Glikoz, glikojen, yağlar, amino asitler (protein) farklı, fakat genellikle iç içe geçen mekanizmalarla oksijen kullanarak ATP üretirler. ST lifleri daha çok bu sistemi kullanırlar.

En verimli sistemlerdir. Teorik olarak limitsizdirler. Özellikle yağ tüketerek ATP üreten oksijenli sistemler yağ depolarının büyüklüğü sebebiyle pratikte olmasa da teorik olarak günler boyu tüm ATP gereksinimini karşılama kapasitesine sahiptir. Uzun süreli, görece düşük tempolu egzersizde ve günlük hayatta en ağırlıklı sistemlerdir.

#### **Glikojen ve Glikoliz:**

Glikojen kas ve karaciğerde bulunan, birbirine bağlı glikoz moleküllerinin oluşturduğu bir karbonhidrattır ve enerji üretiminde kullanılır. Vücutta; dışarıdan alınıp enerji üretimi için kullanılmayan glikoz ve benzeri şeker molekülleri glikojen olarak depolanır. Aerobik veya anaerobik yolla glikozdan enerji üretmek gerektiğinde; depolanan glikojen parçalanır ve açığa çıkan glikoz enerji üretiminde kullanılır. Glikojenden glikoz ayırımı için enerji harcanmaz (ATP kullanılmaz).

Enerji üretiminde kullanılacak olan glikoz ister glikojenden ayrılmış, ister doğrudan besinlerle alınan bir glikoz molekülü olsun, sonuç değişmez. Glikoliz stoplazmada (kas hücresi için bu sarkoplazmadır) piruvata kadar yıkılır. Oksijen varlığında laktik asite dönüşüm olmaz ve pirüvik asit



mitokondriye girerek Krebs siklusu ile ATP üretiminde kullanılır. **Oksijenli glikoliz ile bir glikoz molekülü toplam 36 ATP üretir.**

Glikoliz Düzenleyicileri (glikolizi başlatan veya durduran maddeler)

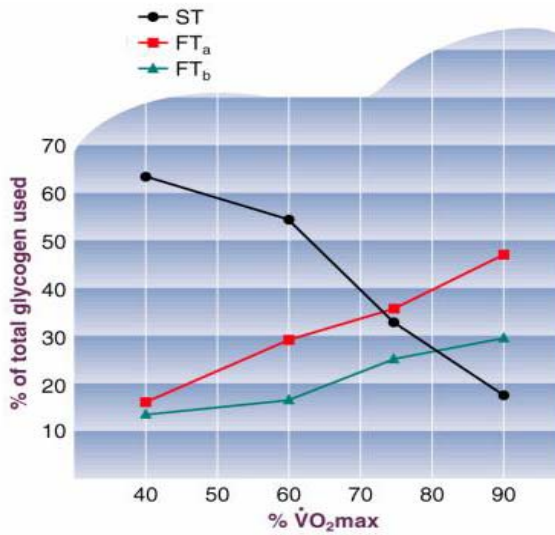
ATP, CP, sitrat, çok düşük pH → glikolizi durdururlar

**ADP, AMP, Pi → glikolizi uyarırlar**

#### Lipit Metabolizması:

Lipitler Karbon, Hidrojen ve Oksijenden oluşmuşlardır. Tipik olarak belli sayıda (14-24) Karbon ünitesi yağ asitlerini oluşturur. Lipitlerin öncelikli depo şekli trigliseritlerdir.

Bir gliserol (iskelet) ve O'na bağlı üç serbest yağ asidi trigliserit molekülünü oluşturur. Trigliseritler kan, kas ve yağ dokusunda bulunurlar.



**Şekil 3.** Farklı tip kas liflerinin değişik egzersiz şiddetlerindeki glikojen tüketim oranları

#### Lipit Metabolizmasının Basamakları:

Kas ve yağ depolarından mobilizasyon

Serbest yağ asitlerinin kasa taşınması

Yağ asitlerinin mitokondriye girmesi

Yağ asitlerinin beta oksidasyonu (yıkım)

Oksidasyon ile ATP üretimi

#### **Beta Oksidasyon**

Yağın acil parçası enzimlerce yıkılmıştır. 2 karbon (asetil CoA) parçaları ayrışır,

NADH ve FADH üretilir. Tüm parçalar oksidasyon için Krebs siklusuna girerler

Bir yağ asidi 140 ATP üretebilir, palmitik asit zincirlerinden oluşan bir trigliserit molekülü 460 ATP üretir.

Yağların oksidasyonu karbonhidrat ve oksijen varlığında mümkündür. **“Yağlar karbonhidratların ateşinde yanarlar!!!”** yağ oksidasyonu ile ilgili önemli bir deyimdir.

### Protein Metabolizması: Oksidatif Deaminasyon

Amino asitler depo havuzundan kullanılır (kas, kan, karaciğer). Nitrojen uzaklaştırılır (enzim: amino asit dehidrojenazdır), geriye kalan karbon iskeletidir. Bu karbon iskelet sıklıkla Krebs siklusunun bir ön maddesidir ve çeşitli basamaklardan sonra bu yolla enerji üretimine katılırlar.

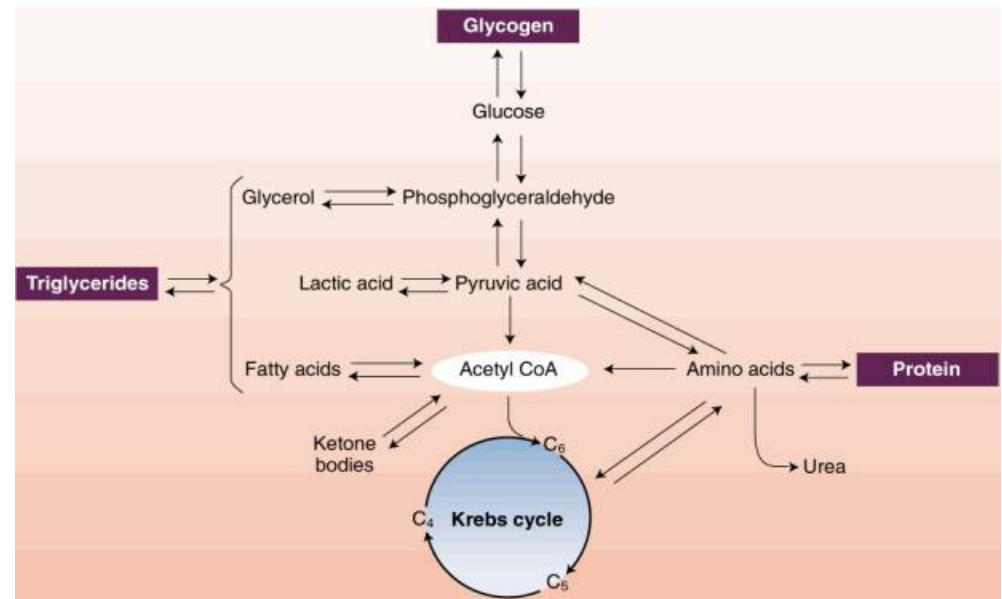
### Glikoneojenez:

Karbonhidrat dışı kaynaklardan glikoz üretilmesidir. Amino asitler önde gelen glikoneojenik öncüdür. Glikojen düzeyi organizma için çok büyük önem taşır. Glikojen kullanılıp azaldıkça depoları koruyabilmek için glikoz dışı öncül moleküllerden çeşitli farklı kimyasal yollarla glikojen üretilir.

### Laktik asit oksidasyonu:

Üretilen laktik asit oksijen varlığında enerji elde etmek amacıyla kullanılır. Vücutta bazı organlar laktik asiti metabolize ederek enerji üretebilir. Özellikle karaciğer tüm sistemden laktik asitin uzaklaştırılmasında önemli rol oynar. Laktik asit oluşan şiddetli egzersiz bittiğinde (ya da ara verildiğinde) oksijen aerobik ATP yapımının yanı sıra laktik asiti piruvata çevirmek için de kullanılır ve birikmiş olan laktik asit tüketilir.

**Aktif toparlanma:** Yüksek tempodaki egzersiz (maç-antrenman) bittikten sonra soğuma sırasında hareketsiz istirahat yerine hafif tempoda egzersize devam edilmesidir. Bu hafif tempolu egzersizde daha çok yavaş lifler kullanılır. Bu liflerin laktat dehidrojenaz enzimleri laktik asidi piruvata çevirir. Piruvat tekrar Krebs döngüsüne girer ( $O_2$  tüketir,  $CO_2$  ve  $H_2O$  üretilir). **Bu yüzden hafif egzersiz toparlanmaya katkı sağlayıcıdır.**



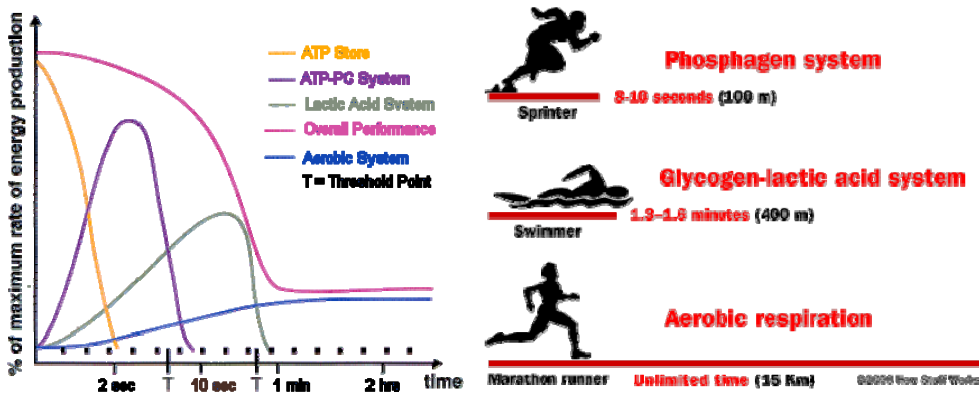
**Şekil 4.** Aerobik yolla enerji üreten hemen tüm öncül maddeler çeşitli farklı kimyasal yollardan geçtikten sonra Krebs döngüsüne (siklus) girerler.

\*\*\*Krebs döngüsü oksijenli enerji sistemlerinin temelidir.\*\*\*

### Laktik Asidin diğer eliminasyon yolları:

Laktik Asit Karaciğere alınarak glikoneojenezle (Cori siklusu) glikoz & glikojene dönüşür, veya Karaciğer laktik Asidi bir amino asit (protein yapıtaşı) olan alanine çevirir. Kalp laktik asidi yakıt olarak kullanabilir. Bir miktar laktik asit de idrar ve terle atılır.

Glikojen depoları biterse egzersiz sırasında ani bir tükenme ile sporcu aktiviteyi sonlandırır. Hatta aniden durup yere yığılabılır. Daha çok dayanıklılık sporcularında görülen bu duruma “duvara çarpma” denir. Kan glikozu tükenir. Depo yağ işlenmeden kalır. (Yağları tüketebilmek için yıkım sırasında CHO kullanılır). Kasların kuvvet üretimi düşer ve atlet tükenir. Tükenen karbohidratı (glikojeni) yerine koymak için proteinler yıkılarak glikojenik amino asitlerden karbohidrat yapılır. Bu da sporcularda istenmeyen bir olay olup protein harcamasını arttıran bir durumdur. O nedenle sporcu beslenmesinde karbohidratların yeri çok önemlidir ve eksik kalmamalıdır.



**Şekil 5.** Enerji sistemlerinin maksimuml egzersizde etkinlik süreleri ve süreye göre baskın olan sistemler. Grafiklerdeki sürelerle özellikle dikkat ediniz!

**ATP Store:** ATP deposu.

**ATP-PC System:** ATP – Fosfo kreatin sistemi, fosfojen sistem, anaerobik-laktik sistem.

**Fosfojen system:** ATP – Fosfo kreatin sistemi, fosfojen sistem, anaerobik-laktik sistem.

**Lactic Acid System:** Laktik asit sistemi, anaerobik-laktik sistem.

**Glycogen-lactic acid system:** Laktik asit sistemi, anaerobik-laktik sistem.

**Aerobic System:** Aerobik sistem, oksijenli sistem.

**Aerobic respiration:** Aerobik solunum, aerobik sistem, oksijenli sistem.

**Sprinter:** Sprinter, kısa mesafe sürat koşucusu.

**Swimmer:** Yüzücü, 1,3-1,6 dakikalık bir efor yaptığına dikkat ediniz!

**Marathon runner:** Maratoncu



## Sıvı-Elektrolit Dengesi

Dr. İbrahim GÜNER

*İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi*

*Fizyoloji Anabilim Dalı*

Sıvı-elektrolit dengesinin düzenlenmesi dikkatli ve hatasız bir uygulamayı gerektiren, bazen sıkıcı olabilen, çoğu kez hasta bakımında hayati önem taşıyan önemli bir süreçtir. Sağlıklı bir vücutta, vücut sıvılarının hacimleri ve bileşimleri birçok metabolik aktiviteye rağmen dikkate değer şekilde dengede tutulur. Hücresel düzeyde sıvı kaydırmaları ve böbreklerin idrarla vücudun gereksinimlerine göre su, elektrolit ve solüt atımını düzenlemesi sonucu korunan bu denge mekanizmasına **SIVI-elektrolit dengesi** denir. Vücut sıvı miktarı yönünden çocuk ve yetişkin, kadın ve erkek arasında fark vardır. Yeni doğanın % 75-80'i su iken, çocuk bir yaşına geldiğinde oran % 60-65 olmakta ve bu çocukluk yaşları boyunca sabit kalmaktadır. Total vücut sıvısı yaş ve yağ dokusu arttıkça azalmaktadır.

### **Vücut Sıvılarının Fonksiyonel Bölümleri**

| Vücut Sıvı Bölümleri   | Vücut Ağırlığına Göre Dağılımı | 70 kg Erkek |
|------------------------|--------------------------------|-------------|
| Total vücut suyu (TBW) | % 60                           | 42 L        |
| Hücre içi bölüm        | % 40                           | 28 L        |
| Hücre dışı bölüm       | % 20                           | 14 L        |
| • interstisyel bölüm   | % 15                           | 10,5 L      |
| • plazma               | % 5                            | 3,5 L       |
| • transelüler bölüm    | % 1                            | 0,7 L       |

(GIS, mesane, endokrin bezler, plevra, periton ve MSS içindeki sıvıyı kapsar)

### **SU DENGESİ**

Vücuda giren ve çıkan su miktarı eşittir. İnsanlar normal koşullarda sabit bir su dengesi içinde bulunurlar. Su dengesi üç şekilde kontrol edilir:

1. Arjinin vazopressin (AVP)
2. Böbrekler yoluyla su atılması
3. Alışkanlık ve susama

### **Sıvı Kazanç ve Kayıp Yolları**

Vücutta normal sıvı hacminin korunması için günlük sıvı alımının günlük sıvı kaybına eşit olması gerekir.

| Kazanç                       | mL           | Kayıp                                 | mL           |
|------------------------------|--------------|---------------------------------------|--------------|
| Sıvı içecekler               | 1200         | İdrarla                               | 1500         |
| Besinlerdeki gizli su        | 1000         | Farkedilmeyen yolla (deri ve akciğer) | 900          |
| Metabolizma sonucu oluşan su | 350          | Terle                                 | 50           |
|                              |              | Dışkıyla                              | 100          |
| <b>Toplam</b>                | <b>2,550</b> |                                       | <b>2,550</b> |

### **Vücuttan Su Çıkışının Kontrolü**

Böbrekler vücuttan su çıkışının ayarlanma bölgesidir. Vücutta su eksikliğinde su atımını azaltırken, su fazlalığında idrar çıkışını artırarak su atımını artırırlar. Suyun böbrekler yoluyla atılması arjinin vazopressin [(AVP) veya (ADH=antidiüretik hormon olarak ta bilinir)] tarafından kontrol edilmektedir. AVP böbreklerden su çıkışını ve plazma

osmolalitesini kontrol eder. AVP anterior hipotalamusta sentezlenir ve çoğunlukla posterior hipofizde olmak üzere, median eminensde sinir terminalindeki vesiküllerde depolanır. AVP salgılatıcı uyarılarla, sinir terminalini çevreleyen interstisyel (hücreler arası) sıvıya salınır ve buradan komşu kapillerlere (kılcal damarlar) difuze olur. Kan yoluyla böbrek toplayıcı kanallarına ulaşarak, buradan su emilimini arttırlar.

### ***AVP Salınımını Etkileyen Faktörler***

- 1- Ağrı
- 2- Travma
- 3- Emosyonel stress
- 4- Miğde bulantısı
- 5- Güçsüzlük
- 6- Çoğu anestetikler
- 7- Nikotin
- 8- Morfin
- 9- Anjiotensin II

Bu koşullar veya ajanlar, idrar çıkışında azalmaya veya yoğunlaştırılmış idrar çıkarılmasına neden olurlar. Etanol ve ANP, AVP salınmasını inhibe ederek büyük miktarlarda dilüe idrar çıkarılmasına yol açarlar. AVP salınımını kontrol eden esas faktör plazma osmolalitesindeki değişikliklerdir. Plazma osmolalitesi arttığında anterior hipotalamusta bulunan ozmoreseptör nöronlar büzülür ve AVP salgılanır. Sonuçta ozmotik olarak yoğunlaştırılmış bir idrar çıkarılır. Aşırı su ilavesine yanıt olarak plazma osmolalitesi düştüğünde ozmoreseptörler şişer, AVP salınımı inhibe edilir ve plazma AVP seviyesi düşer. Sonuçta toplayıcı kanalların suya olan geçirgenlikleri hızla azalır ve daha az su reabsorbe edilir, dilue idrar çıkarılır ve plazma osmolalitesi normale getirilir. Sinus caroticus ve arcus aorta'da bulunan atrial baroreseptörler de ayrıca refleks olarak AVP salgılanmasını değiştirebilir. Bu bölgelerde kan basıncının düşmesi AVP salgılanmasını uyarır. Konsantre idrar çıkarılır ve ayrıca susama duyumu ortaya çıkar ve su alımı artar. Böbrek kan akımının azalması renin salgılanmasını uyarır. Renin, angiotensin II üretiminde artışa yol açar. Angiotensin II, beyne etki ederek AVP salgılanmasına neden olur.

Vücuttan olan tüm sıvı kayıpları, fark edilemeyen kayıp dışında izotonik olup, izotonik sıvılar ile replase edilmelidir. Fark edilemeyen kayıpların % 75'i ciltten % 25'i akciğerlerden olup, % 5 dekstroz ile replase edilmelidir.

### ***Günlük Sıvı İhtiyacı ve Kompozisyonu***

|                 |                             |            |
|-----------------|-----------------------------|------------|
| <b>Çocuklar</b> | İlk 10 kg için              | → 100      |
|                 | mL/kg                       |            |
|                 | İkinci 10 kg için           | → 50 mL/kg |
|                 | 20 kg ve daha yukarısı için | → 25 mL/kg |

Örneğin, 40 kg' lık bir çocuk için;  $100 \times 10 + 50 \times 10 + 25 \times 20 = 1100$  mL su vermek gerekir.

Genç → 50 mL/kg  
Yaşlı, kalp ve böbrek yetmezlikli → 30 mL/kg  
Ortalama 40 mL/kg → 70 kg için → 2800-3000mL

**Bileşimi:** { 1000 mL % 5 dekstroz  
1000 mL % 0,9 NaCl  
1000 mL % 5 dextros

### **Günlük Elektrolit İhtiyacı**

İdame elektrolit gereksiniminde esas olarak  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  dikkate alınır. 3 elektrolitin 24 saatlik idame gereksinimi verilecek su miktarı esas alınarak, diğerleri ise vücut ağırlığı doğrudan dikkate alınarak belirlenir. Buna göre;

|                  |                              |
|------------------|------------------------------|
| $\text{Na}^+$    | 3 mmol/100 mL su gereksinimi |
| $\text{K}^+$     | 2 mmol/100 mL su gereksinimi |
| $\text{Cl}^-$    | 2 mmol/100 mL su gereksinimi |
| $\text{Ca}^{+2}$ | 0,05-0,1 mmol/kg             |
| $\text{Mg}^{+2}$ | 0,05 mmol/kg                 |
| Fosfat           | 0,1 mmol/kg                  |

### **Su Kaybı ile İlgili Pratik Bilgiler**

*Susama:* 350 - 750 mL kayıp edildiğinde belirir; Toplam vücut suyu (TBW) % 1-2 azalmış demektir.

*Axilla ve Kasıklarda Kuruma:* 1500 mL su kaybı var demektir.

*Vücut ağırlığının azalması:* TBW kaybını gösterir.

*Juguler venlerin dolgunluğunun azalması:*  $\text{Na}^+$  içeren sıvı gereksinimi gerektirir.

*Doku turgorunda azalma:*  $\text{Na}^+$  içeren sıvı gereksinimi gerektirir.

*Kan basıncı ve nabız sayısı:*  $\text{Na}^+$  içeren sıvı gereksinimi gerektirir.

*Ödem ve raller:*

*Ödem:* Tüm vücutta 400 mEq  $\text{Na}^+$  fazlalığı olduğunda oluşur.

*Raller:* Plazma hacminde 1500 mL artış var demektir.

### **Sıvı-Elektrolit Dengesizliklerine Neden Olan Başlıca Faktörler**

*Sıvı ve elektrolitlerin bedende tutulmaları:*

Asit'te sıvı karın içinde, ödemde ise hücreler arasında birikir. Bu iki örnek durumda sıvı dolaşım sistemi dışına çıkmıştır. Sonuç olarak hasta, bedeninde fazla sıvı olmasına rağmen sıvı eksikliğinden etkilenir.

*Homeostatik düzenleyici sistemlerin bozulmaları:*

Bu sistemler bozulduğunda; sıvı-elektrolitlerin bedene alınımı, bedendeki dağılımları ve bedenden atılımları kontrol edilemeyeceğinden sıvı-elektrolit dengesizlikleri gelişir.

## SIVILARIN İNFÜZYON HIZLARI

| Damla/dk | Saatte/mL | Günde/L |
|----------|-----------|---------|
| 5        | 20        | 0,5     |
| 15       | 60        | 1,4     |
| 30       | 120       | 2,9     |
| 50       | 200       | 4,8     |
| 100      | 400       | 9,6     |
| 150      | 600       | 14,4    |

15 damla yaklaşık 1cc (1mL) olarak kabul edilir.

Hipertonik sıvılar 50 damla/dk, izotonik sıvılar 150 damla/dk'dan daha hızlı verilmemelidir.

## SIVI-ELEKTROLİT TEDAVİSİNDE KULLANILAN TEMEL KAVRAMLAR

**Mol (M):**  $6.02 \times 10^{23}$  molekül.

**Molarite:** Çözeltinin litresi başına mol madde sayısı (mol/L).

**Molalite:** Çözeltinin kilogramı başına mol madde sayısı (mol/kg).

**Equivalen:** Molarite X Elektriksel yük.

**Osmoz:** Suyun, yarı-geçirgen bir zarın iki tarafında zardan geçemeyen maddelerin yoğunlaşma farkı nedeniyle net hareketi.

**Osmotik basınç:** İçinde daha fazla çözünmüş madde bulunan tarafa net su geçişi olmasını engellemek için uygulanması gereken basınç.

**Ozmotik basınç;** sıvıda bulunan parçacıkların ağırlığına veya büyüklüğüne değil, sadece bunların sayılarına bağlıdır.

Ozmotik basınç birimi **Osmol (Osm)** dur. **1 Osmol:** Disosiye olmayan parçacıkların 1 mol gramıdır ve  $1\text{Osm} = 1/1000$  milosmol (mOsm) dur.

**1 Equivalent:** Tek değerlikli iyonların 1M 'lüdür ve  $1\text{mEq} = 1/1000$  Eq dir.

Yoğunlukların belirlenmesinde mEq/L ifadesinin kullanılmasının faydası, çözeltideki gerçek bilgiyi vermesinden dolayıdır.

**Tonosite:** Bu terim (efektif) osmolarite yerine kullanılıyor olsa da, aslında bir solüsyonun hücre hacmi (özellikle de eritrositler) üzerine etkisini belirtir (**İzotonik;** hücre hacmi üzerine etkisiz demektir).

**Ozmolarite;** Çözeltinin (örneğin Plazma) 1 litresindeki ozmollerin sayısını ifade eder. Ozmolarite çözeltideki solütlerin hacminden ve sıcaklıktan etkilenir.

**Ozmolalite;** Çözücünün 1 kilogramındaki ozmollerin sayısıdır. Ozmolalite çözeltideki solütlerin hacminden ve sıcaklıktan etkilenmez.

Vücut sıvılarının osmolalitesinin belirlenmesinde, elektrolitlerin (iyonize maddeler) katkısı daha fazladır. Plazma osmolalitesinin % 95'inden daha fazlası,  $\text{Na}^+$  ve ona eşlik eden anyonlar [çoğunlukla klor ( $\text{Cl}^-$ ) ve bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )] tarafından belirlenir.

Normal durumda ekstraselüler sıvı osmolaritesi 290 mOsm/kg'dır (280-300 mOsm/kg). Su, hücre membranlarından serbest olarak geçtiği için normal durumda intraselüler sıvı osmolaritesi bu değere eşittir. Farklı osmolaritedeki iki solüsyon sadece suya geçirgen bir zarla ayrıldığında iki sıvının osmolaritesi eşit oluncaya kadar su geçmeye devam eder. Başka bir ifade ile suyun geçişi osmolaritenin yüksek olduğu, su yoğunluğunun düşük olduğu bölmeye doğrudur.



### *Ozmolariteden Sorumlu Maddeler*

| <u>İntraselüler sıvıda</u> | <u>İnterstisyel ve intravasküler sıvıda</u> | <u>Plazmada</u> |
|----------------------------|---------------------------------------------|-----------------|
| Potasyum                   | $\text{Na}^+$                               | $\text{Na}^+$   |
| Fosfat                     | $\text{Cl}^-$                               | $\text{Cl}^-$   |
|                            |                                             | Üre             |
|                            |                                             | Glukoz          |

**Hidrostatik Basınç (HB):** Kapillerlerin arteriyel ucundaki sıvı basıncını (kapiller kan basıncı) ifade eder, sıvıyı kapiller dışına iten kuvvettir.

**Onkotik Basınç (OB):** Plazma proteinlerinin sağladığı ve sıvıyı kapiller içinde tutmaya çalışan basınçtır.

Hidrostatik basınç onkotik basınçtan büyük olduğunda ( $\text{HB} > \text{OB}$ ); su ve elektrolitler kapillerler dışına sızar, kapillerlerin venöz tarafından kapillerler içine döner. İntravasküler (damar içi) bölümdeki sıvının devamlı dolaşımı sayesinde, sıvı bölümleri kendi aralarında dinamik bir denge durumundadır.

Vücut suyunun 3 bölme arasındaki dağılımı, HB ve OB'a katkıda bulunan etkenler normal olduğu sürece normal düzeyde kalır. Osmolarite ve onun sağladığı onkotik basınç 3 sıvı bölmenin hacminin sabit kalmasını sağlar.

### **SODYUM ( $\text{Na}^+$ ) DENGESİ**

$\text{Na}^+$ , Ekstraselüler sıvı (ECF)'da büyük miktarlarda bulunan bir katyondur. Bu katyona  $\text{Cl}^-$  ve  $\text{HCO}_3^-$  gibi anyonlar eşlik eder. Bu anyon ve katyonlar ECF'nin osmolalitesinin belirlenmesinde çok büyük oranda rol oynarlar.

### ***Vücutta $\text{Na}^+$ Dağılımı***

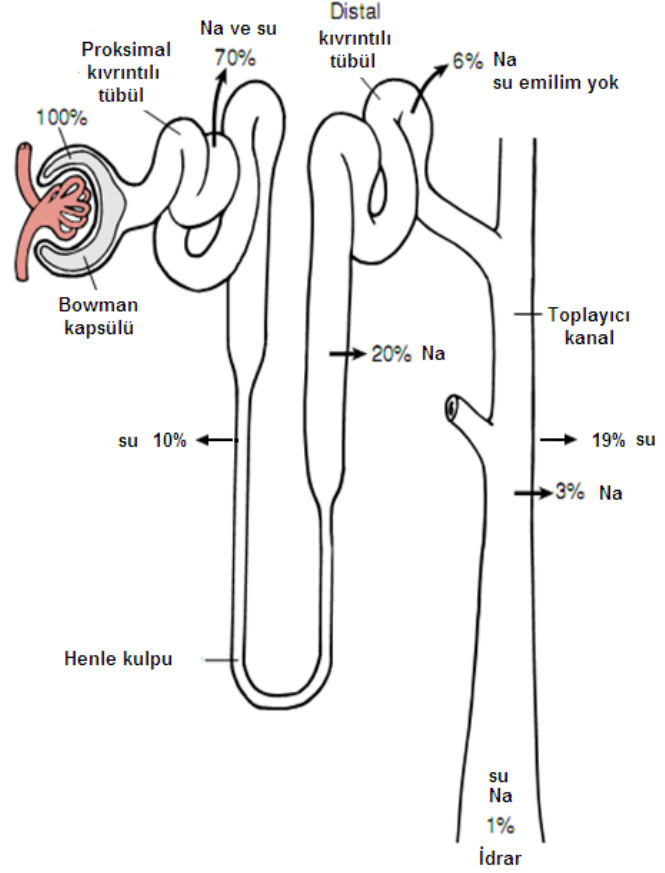
70 kg bir erkekte 2700-3000 mEq  $\text{Na}^+$  bulunur.  $\text{Na}^+$ 'un 800-1000 mEq' i kemiklerde geri kalanın çoğunluğu hücre dışı sıvıda yer alır.  $\text{Na}^+$  tüm sıvı bölmelerinde yer alır. Hücre dışı sıvı 142 mEq/L, hücre içi sıvı 10 mEq/L, gastrik mukus, safra, intestinal sıvılar ve pankreatik sıvı bol miktarda  $\text{Na}^+$  içerir.  $\text{Na}^+$ , sıvı bölmelerindeki sıvı hacmini düzenler. Erişkin bireyin günlük  $\text{Na}^+$  gereksinimi 4,5 gr 'dır.  $\text{Na}^+$  ter, idrar ve dışkıyla atılır.

### ***$\text{Na}^+$ 'un Homeostatik Düzenlenmesi***

Aldosteron  $\text{Na}^+$  tutulumunu ve atılımını kontrol eder.  $\text{Na}^+$  az olduğunda GİS (gastrointestinal sistem ya da sindirim sistemi)  $\text{Na}^+$  atılımını kontrol eder. Kortikosteroidler, böbrek tübüllerinden  $\text{Na}^+$ 'un geri Emilimini artırır.

Normal koşullarda su ve tuz alımı ile kayıpları birbirine eşittir. Vücutta tuz ve suyun net değişimi olmaz. Kayıp ve kazanım uyumu öncelikle idrar çıkışının düzenlenmesiyle sağlanır ve bu düzenleme oldukça geniş aralıklarda değiştirilebilir. Örneğin idrar ile su atımı yaklaşık olarak günde 0,4-25 L arasında değişebilir. Bu değişim çölde sıvı kaybetme veya bira içme yarışına katılanlarda en az ve en çok olacak şekilde düzenlenir. Benzer şekilde bazı kişiler sindirim yoluyla günde 20-25 gr  $\text{Na}^+$  alırken,

düşük tuz diyetinde olan bir kişi sadece 0.05 gr  $\text{Na}^+$  alır. Normal bir böbrek bu kişilerde kazanım ve kaybı eşitlemek için bu oranın üstünde tuz atımını değiştirebilir.



Filtre edilen  $\text{Na}^+$  ve suyun %70 i, proksimal kıvrıntılı tübülden emilir. Filtre edilen  $\text{Na}^+$  ve suyun % 70'i, proksimal kıvrıntılı tübülden emilir.  $\text{Na}^+$ 'un % 20'si, suyun % 10'u Henle kulpundan emilir.  $\text{Na}^+$ 'un % 6'sı distal kıvrıntılı tübülden emilir, burada su emilimi yoktur.  $\text{Na}^+$ 'un % 3'ü, suyun % 19'u toplayıcı kanallardan emilir.  $\text{Na}^+$  ve suyun sadece yaklaşık % 1'i genellikle atılır. Distal nefronların (distal kıvrıntılı tübül, toplayıcı tübül ve toplayıcı kanal)  $\text{Na}^+$  transport kapasitesi, proksimal segmentlerdekinden daha azdır. Distal nefronlar,  $\text{Na}^+$ 'un son atımında kritik önem taşır.

Proksimal tübülün son bölümü, kortikal ve medullar toplayıcı kanalların suya geçirgenliği çok kararlı bir şekilde kontrol edilmektedir ve bu nedenle toplayıcı kanallarda su emilimi AVP (ADH) tarafından gerçekleştirilmektedir. AVP, aquaporinlerin (su kanalları) lümenal membrana yerleşmesini uyarır. AVP'nin plazma yoğunluğu arttığında, toplayıcı kanalların suya geçirgenliği artar ve su emilimi maksimuma ulaşarak son idrar hacmi azalır (filtre edilen suyun %1 inden daha az). AVP yokluğunda toplayıcı kanalların suya geçirgenliği azalır ve idrarla atılacak olan su tübüllerde kalır (Su diürezisi) (örn. diabetes insipidus).

Tübül boyunca (bütün segmentlerde)  $\text{Na}^+$  hücre dışına ve interstisyel sıvıya  $\text{Na}/\text{K}-\text{ATP}_{\text{az}}$  pompası ile aktif olarak pompalanır. Hücre içi  $\text{Na}^+$  yoğunluğu lümene göre düşük tutularak lümenden tübül hücresine hareketi sağlanmış olur (hücresinin iç tarafının lümene oranla daha negatif yüklü

olması da ayrıca elektrokimyasal gradiente katkıda bulunarak  $\text{Na}^+$ 'un lümeninden hücreye hareketine neden olur).

#### ***Böbreklerden $\text{Na}^+$ Atımını Etkileyen Faktörler***

- 1- GFR (glomerular filtrasyon hızı) (Sodyum atımı ile doğru orantılıdır)
- 2- Renin-Anjiotensin-Aldosteron sistemi (Tuz koruyucu)
- 3- İntrarenal fiziksel kuvvetler (arttırır veya azaltırlar)
- 4- Natriüretik hormonlar ve faktörler (arttırır)
- 5- Renal (böbreğe ait) sempatik sinirler (uyarılması atımı azaltır)
- 6- Östrojenler (azaltır)
- 7- Glukokortikoidler (azaltır)
- 8- Osmotik diüretikler (arttırır)
- 9- Zayıfca absorblanmış anyonlar (arttırır)
- 10- Diüretik ilaçlar (natriüretiktirler)

### **SODYUM DENGESİZLİKLERİ**

#### ***Hiponatremi***

Plazma  $\text{Na}^+$ 'u 135 mEq/L altındadır. Hiponatremi hücre dışı sıvıda hipoosmolaliteye neden olacak ve sıvı hücre içine çekilecek, hipovolemi gelişecektir. Buna bağlı olarak aldosteron ve AVP salgısı artar, böbrekler tuz ve su tutmaya çalışır.

#### ***Hipernatremi***

Plasma  $\text{Na}^+$  düzeyinin 150 meq/L den fazla olması durumudur.

*Nedenleri:* Aşırı su kaybı, aşırı tuz yüklenmesi, AVP yetmezliği (Diabetes insipidus, beyin ameliyat ve travmaları), akut tübüler yetmezlik.

### **SU-SODYUM DENGESİZLİKLERİ**

Hücre dışı sıvıdaki katı maddelerin % 90-95' ini  $\text{Na}^+$  oluştururken, vücut sıvılarının % 90-93' ünü su oluşturur. Vücut sıvılarında yer alan su ve  $\text{Na}^+$  'daki değişimler karşılıklı olarak birbirlerini etkilemektedir.

#### ***Su-sodyum dengesizlikleri başlıca iki gruba ayrılır:***

- 1- Ozmolar dengesizlikler;
- 2- Hacim dengesizlikleri ya da izotonik dengesizlikler.

**1- Ozmolar Dengesizlikler:** Ozmolaritedeki bozukluklarla ilgili olup, vücut sıvı bölmelerindeki suyun dağılımını etkiler. Su ozmolaritesi düşük alandan ozmolaritesi yüksek alana doğru geçtiğinden, ozmolarite bedendeki su dağılımını etkiler. Ozmolar dengesizlikler **hiperozmolar** ve **hipoozmolar** dengesizlik olmak üzere iki grupta incelenir.

**A- Hiperozmolar Dengesizlikler:** Sodyuma göre suda bir azalma ya da suya göre sodyumda bir artma vardır. Sodyum fazlalığı ve su azlığı her ikisi de hücrelerin büzülmesine ve dehidratasyona neden olur.

*Nedenleri;* Susama merkezinin harabiyeti, yutmada güçlük gibi nedenlerle suyun yetersiz alınımı, İshal, diyabetes mellitus, diyabetes insipidus ve aşırı terlemeye bağlı su atılımının artması ya da hipertonic solüsyonların infüzyonu sonucunda,  $\text{Na}^+$  fazlalığıdır.

**Belirti ve Bulgular:** Hiperozmolar dengesizlikte sodyuma göre su azaldığından, başlıca dehidratasyon bulguları vardır. Hücre dışı sıvının ozmolaritesi artmıştır, bu nedenle su, hücre içinden hücre dışına geçer, hücreler dehidrate olur ve büzülürler. Sonuçta tüm sıvı bölmelerinde su azalır.

**B- Hipoozmolar Dengesizlikler:** Sodyuma göre suda bir artma ya da suya göre sodyumda bir azalma vardır. Su miktarı arttığında  $\text{Na}^+$  miktarı normal olabilir fakat su fazla olduğu için, sıvı dilüedir. Aynı şekilde su miktarı normal olup,  $\text{Na}^+$  miktarı azaldığında sıvı gene dilüedir.

**Nedenleri;** Aşırı su alınımlı, vücuttan yeterli su atamama, hipotonik sıvıların fazla verilmesine bağlı su fazlalığı (su intoksikasyonu) ve yetersiz tuz alımı, diüretikler ve aşırı terlemeye bağlı  $\text{Na}^+$  azlığıdır.

**Belirti ve Bulgular;** Sodyuma göre su miktarı arttığından hücreler şişer ve nöromusküler bulgular belirgindir.

**2- Hacim Dengesizlikleri (İzotonik Dengesizlikler):** Bu dengesizliklerde su ve sodyum aynı oranlarda arttıklarından ya da azaldıklarından beden sıvılarının ozmolaritesi değişmez. İzotonik dengesizlikler hücre dışı sıvı hacmindeki değişiklikler nedeniyle gelişir. Hücre dışı sıvı hacmi arttığında ödem gelişir ve dolaşım yüklenir, sıvı hacmi azaldığında ise dolaşım kollapsı gelişebilir. Bu dengesizlikte hücreler ne şişerler ne de büzülürler. Bu nedenle ozmolar dengesizliklerde görülen beyine ilişkin bulgular yoktur.

**A- Hücre Dışı Hacim Azlığı:** Su ve sodyumun aynı oranlarda kaybıyla gelişir. Hücre dışı sıvılar başlıca GİS ve deri yoluyla kaybolur.

**Nedenleri;** Kanama, ishal, böbrek hastalığı, aşırı terleme, yanıklar, ateş, aldosteron azlığı sayılabilir.

**Belirti ve Bulgular;** Hücre dışı hacim azlığında başlıca dehidratasyon ve dolaşım kollapsı bulguları vardır.

**B- Hücre Dışı Hacim Fazlalığı:** Bu duruma bazen dolaşım yüklenmesi ya da hipervolemi denir. Hem su hem de sodyum aynı oranlarda artmıştır.

**Nedenleri;** Fazla miktarda intravenöz yolla serum fizyolojik verilmesi, kalp yetmezliği, kronik böbrek yetmezliği, karaciğer hastalığı, beyin harabiyeti ve kortizon verilmesi

**Belirti ve Bulguları;** Kilo artışı, gode bırakan ödem, boyun verilerinde dolgunluk, göz kapaklarında şişkinlik, karında sıvı birikimi (asit) ve pulmoner ödem görülebilir.

## **POTASYUM ( $\text{K}^+$ ) DENGESİ**

$\text{K}^+$  vücutta en çok bulunan ve hücre fonksiyonları açısından çok önemli intraselüler bir katyondur. ECF ve ICF  $\text{K}^+$  yoğunluğu sabit kalır. Uyarılabilir dokuların istirahat membran potansiyelleri ECF ve ICF daki  $[\text{K}^+]$  arasındaki ilişkiye doğrudan bağlıdır. Bu nedenle ECF de  $[\text{K}^+]$ 'nın artması veya azalması anormal kalp ritmine ve anormal iskelet kası

kasılmalarına neden olabilir.  $K^+$  homeostazisini iki grup mekanizma düzenler:

- 1- Bir grup mekanizma ECF nin  $[K^+]$ 'nu düzenler
- 2- Bir grup mekanizmada diyetle alınan  $K^+$  miktarını, böbreklerden atılan  $K^+$  miktarına eşitleyerek vücuttaki toplam  $K^+$  miktarını sabit tutar.

### ***Vücutta $K^+$ dağılımı***

Sağlıklı 70 kg ağırlığındaki genç bir erişkinde toplam vücut  $K^+$ 'u yaklaşık 3700 mEq dir. Vücut  $K^+$  unun yaklaşık % 8'i kemikte, yoğun konnektif doku ve kıkırdakta, % 1'i transselüler sıvılarda, % 90'ı hücre içinde bulunur. ECF deki  $K^+$  konsantrasyonu 3.5-5 mEq/L olup, 5 mEq/L nin üzerine çıkması hiperpotasemi (hiperkalemi), 3.5 mEq/L nin altına inmesi hipopotasemi (hipokalemi) olarak adlandırılır. İskelet kas hücrelerinde  $K^+$  yoğunluğu yaklaşık 150 mEq/L hücre suyu kadardır.

### ***ICF ve ECF arasında $K^+$ un dağılımını etkileyen faktörler***

1-NA/K-ATPaz pompası: Hücre içine  $K^+$  pompalar. Bu enzim inhibe edilirse hiperkalemi gelişir.

2- ECF pH sı azaldığında ( $[H^+]$  artışı), ECF'nin  $[K^+]$ 'artar (intraselüler  $K^+$ ,  $H^+$  ile yer değiştirir).

Kan pH'sı, plazma  $[K^+]$  etkilediğinden dolayı,  $NaHCO_3$  solüsyonunun intravenöz infüzyonu, hücre dışına  $H^+$ , hücre içine  $K^+$  takasına yol açarak bazen hiperkaleminin tedavisinde kullanılır.

3- İnsulin karaciğer ve iskelet kas hücreleri tarafından  $K^+$  alımını artırır.

4- Epinefrin, katekolaminler  $\alpha$  ve  $\beta_2$ -adrenerjik reseptörler aracılığı ile hücre içi ve dışı arasındaki  $K^+$  dağılımını etkilerler.  $\alpha$ -reseptörlerin uyarılması, özellikle karaciğer hücrelerinden dışarı  $K^+$  salgılanmasına,  $\beta_2$ -reseptörlerin uyarılması ise hücrelerce  $K^+$  tutulmasına neden olur.

5- Aldosteron, hücreler tarafından  $K^+$  tutulmasına neden olur. Aldosteron ayrıca böbreklerden  $K^+$  atımını da uyarır. Dolayısıyla aldostereon, plazma  $K^+$  yoğunluğu hem hücrelerce tutulmasını hem de böbreklerden atılmasını arttırarak etkiler.

6- Hiperozmolalite (örn. hiperglisemide) plazma  $K^+$  yoğunluğunda artışa yol açar.

Hiperozmolalite hücrelerin büzülerek küçülmesine ve dolayısıyla intraselüler  $K^+$  yoğunluğunda artışa yol açtığından  $K^+$  un hücre dışına (ECF ya) doğru difüzyonuna neden olur.

7- Doku travması, enfeksiyon, iskemi, hemoliz veya ağır egzersiz hücrelerden  $K^+$  salınmasına neden olarak hiperkalemiye yol açar.

Kan örselenmişse, eritrositler yaralanmışsa hücre dışına  $K^+$  sızar ve plazma  $K^+$  yoğunluğunda yapay bir artış (pseudo hiperkalemi) oluşur.

### ***$K^+$ dengesinin böbrekler tarafından düzenlenmesi***

Normal koşullarda alınan  $K^+$  un % 90'ı böbrekler yoluyla atılır. Böbrekler vücut  $K^+$  u arttığında  $K^+$  atımını artırırken azaldığında  $K^+$  biriktirir. Glomeruluslardan filtre olan  $K^+$  un çoğu tubuluslardan reabsorbe edilir. Çok az bir kısmı idrara geçer. Kortikal toplayıcı kanallarda  $K^+$  sekresyonu vardır.  $K^+$  atımındaki değişikliklerin çoğu tubulusların bu kısmından sekrete edilen  $K^+$  değişikliğine bağlıdır.  $K^+$  tükenmesine homeostatik yanıt olarak, kortikal toplayıcı kanallarda  $K^+$  salgılanması engellenir ve  $K^+$  kayıpları en aza indirilir. Sadece, filtre edilen  $K^+$  un çok az bir kısmı tübüler emilimden kurtularak atılır.

### ***Kortikal toplayıcı kanallarda $K^+$ salgılanmasını etkileyen faktörler***

1- Diyetle alınan  $K^+$  miktarı arttığında, çok yavaş olsa bile plazma  $K^+$  yoğunluğu da artar ve  $K^+$ ,  $Na/K\text{-}ATP_{az}$  pompası ile transportu arttırılır. Bu nedenle de  $K^+$  sekresyonu artar. Aksine düşük  $K^+$  diyetinde veya negatif  $K^+$  dengesinde, bazolateral  $K^+$  alımı azalır ve böylece  $K^+$  sekresyonu azaltılarak  $K^+$  dengesinin kurulmasına yardımcı olunur.

2- Aldosteron hormonu: Aldosteron bir taraftan kortikal toplayıcı kanallarda  $Na^+$  reabsorbsiyonunu sağlarken aynı zamanda bu tübüler segmentte simultan olarak  $K^+$  sekresyonunu da uyarır.

$Na^+$  ve  $K^+$  atımı birbirine zıt yönlü olacak şekilde ayarlanır. Örneğin kişide  $Na^+$  eksikliğinde aldosteron salgılanması, başlangıçta  $K^+$  yoğunluğu normal olsa bile  $K^+$  sekresyonuna yol açarak bir miktar  $K^+$  kaybına neden olur. Bu zıtlık sadece küçük bir dengesizliğe neden olur. Çünkü  $Na^+$  ve  $K^+$  atımını etkileyen birbiri ile karşılıklı etkileşen kontrol sistemleri de vardır.  $K^+$  dengesizliğinin en önemli nedeni anormal  $K^+$  atımıdır. Böbrekler çok az  $K^+$  u idrarla atarlar.

### ***Diyetle fazla $K^+$ alınmasında:***

1- Artmış plazma  $K^+$  yoğunluğu, kortikal toplayıcı kanal esas hücrelerinin bazolateral membranında bulunan  $Na/K\text{-}ATP_{az}$ ,  $K^+$  alımında artışa yol açar. Bu, intraselüler  $K^+$  yoğunluğu artması,  $K^+$  sekresyonu ve  $K^+$  atımında artışa yol açar.

2- Artmış plazma  $K^+$  yoğunluğu doğrudan adrenal kortekse etki ederek aldosteron sentezini ve sekresyonunu uyarır. (renin-anjotensinden bağımsız)

## **POTASYUM DENGESİZLİKLERİ**

Potasyum hücre içinin belli başlı katyonudur. Hücre bütünlüğünü bozabilecek herhangi bir durum  $K^+$  dengesizliğine neden olur.

### ***Potasyum Azlığı (Hipokalemi)***

Potasyum azlığı sık rastlanan ve yaşamı tehdit eden bir dengesizliktir.  $K^+$  'un az alınması (*açlık, oruç tutma, diyet uygulama gibi beslenme yetersizliklerinde*) ya da fazla kaybıyla gelişir.

### ***Nedenleri***

En bilinen nedeni  $K^+$  'un fazla miktarda atılmasıdır. Çoğu kez bu fazla atılım böbrekler ya da GİS yoluyla.  $K^+$  'un geri emilimini önleyen diüretikler, diyabetes insipidus, Fazla idrar atılımına neden olan böbrek hastalıkları, İshal, uygun olmayan lavmanlar, kusma, kolostomi ya da ileostomi drenajı, gastrik ya da intestinal saksın uygulamaları.

Hücre dışı sıvıdaki  $K^+$  miktarını düzenleyen diğer önemli faktör aldosteron hormonudur. Bu hormon böbrek tüp hücrelerinden  $Na^+$  ve suyun geri emilimini,  $K^+$  ve  $H^+$  atılımını sağlar.

Aldosteron salınımı arttığında  $K^+$  atılımı artar, hipokalemi gelişir. Korku, psikolojik bozukluklar, yanıklar ve büyük ameliyatlar gibi stres durumlarında aldosteron sekresyonu artar ve  $K^+$  kaybı olur.

### **Belirtileri;**

Hipokalemi esas olarak hücre metabolizmasını etkileyerek, nöromusküler, kardiyovasküler, gastrointestinal, renal sistemi ve solunum sistemini, ayrıca  $H^+$  iyonu dengesini etkiler.

### **Potasyum Fazlalığı (Hiperkalemi)**

Hücre dışı sıvıda potasyum miktarının artması sonucu gelişir. Potasyum fazla alınmıştır ya da atılımı azalmıştır.

### **Nedenleri**

Böbrek hastalıklarında, adrenal yetmezlikte ve ameliyat sonrası dönemde yeterli idrar atılımı olmadığında bedende  $K^+$  miktarının artması, Geniş yanıklar, ciddi yaralanmalar, enfeksiyon ve asidozda hücrelerden fazla miktarda  $K^+$ 'un hücre dışı sıvıya geçmesi ve  $K^+$  içeren sıvıların intravenöz yolla fazla verilmesi yer alır.

### **Belirti ve Bulgular**

Plazma  $K^+$  fazlalığı başlıca böbrekleri, kalbi ve nöromusküler sistemi etkilediğinden, bu sistemlere ilişkin bulgular gelişir. Plazma  $K^+$  yoğunluğu yükseldiğinde, adaleler sinirsel uyarıya daha çabuk yanıt verirler. Bununla beraber hiperkalemi adale kasılma gücünün azalmasına neden olur. Bu nedenle hiperkalemi bulguları, hipokalemi bulgularına benzer ve bulguları dikkate alarak hiperkalemiyi, hipokalemiden ayırtırmak güçtür. Hiperkalemide ortaya çıkacak bulgular, plazmada  $K^+$  'un az ya da çok artmasına göre değişiklik gösterir.  $K^+$  çok fazla arttığında adalelerde gevşeme, güçsüzlük ve yüzeysel solunum gelişir.  $K^+$  az miktarda arttığında nöromusküler iritabilitenin artmasına bağlı olarak intestinal kolik, ishal ve adale seğirmeleri gelişir.

### **KALSİYUM ( $Ca^{2+}$ ) DENGESİ**

Serumda: 4.5-5.5 mEq/L (8.5-10.5 mg/dL veya 2.23-2.57 mmol/L), % 45'i iyonize (4.6-5.1 mg/dL veya 1.15-1.27 mmol/L), % 40'si proteine bağlı, % 15'i iyonize olmayan şekildedir. Asidozda iyonize  $Ca^{2+}$  artar, Alkalozda ise iyonize  $Ca^{2+}$  azalır. Total  $Ca^{2+}$  depoları 1000g dır ve % 99 kemikte bulunur.

$Ca^{2+}$ , nöromusküler iritabilitiyi ve kapiller permeabilitiyi azaltır. Normal adale kontraktilesi ve uygun sinirsel ileti için  $Ca^{2+}$  mutlaka gereklidir. Kan pıhtılaşmasında rol oynar, kemik ve diş yapımında yer alır. Günlük gereksinim erişkinler için 0.8 gr'dır.  $Ca^{2+}$  un 3/4' ü süt ve süt ürünleriyle, 1/4' ü ise sebze ve meyvelerle alınır. İdrar ve dışkıyla atılır.

### **Kalsiyum Dengesinin Hormonal Kontrolü**

İki önemli hormon paratiroid hormon (PTH) ve 1,25-dihidroksi vitamin D3 [ $1,25(OH)_2$  Vit. D3], plazma  $Ca^{2+}$  konsantrasyonu homeostatik olarak düzenler.  $Ca^{2+}$  kontrolünde rol oynayan üçüncü bir hormon Kalsitonin'in ise sınır bir rolü vardır.

PTH: Kemik, böbrek ve sindirim sisteminde  $Ca^{2+}$  regülasyonu PTH tarafından direkt veya indirekt olarak düzenlenir. Paratiroid bezinden PTH sekresyonu, ekstraselüler  $Ca^{2+}$  yoğunluğu ile kontrol edilir (plazma membranı  $Ca^{2+}$  reseptörleri yoluyla). Plazma  $Ca^{2+}$  konsantrasyonunun azalması PTH sekresyonunu uyarırken, artması sekresyonu inhibe eder.

## KALSIYUM ( $\text{Ca}^{2+}$ ) DENGESİZLİKLERİ

Hücre dışı sıvıda çok az miktarda bulunmakla birlikte vücuttaki fizyolojik olaylarda önemli rol oynar. Hücre dışı sıvıdaki kalsiyumun yaklaşık yarısı (2,3 mEq/L) iyonize şekildedir. Diğer yarısı plazma proteinlerine bağlı olarak damar içinde yer alır. İyonize kalsiyum kapiller damarlardan geçebilir ve hücre fonksiyonlarında aktif rol oynayabilir. Plazma  $\text{Ca}^{2+}$  düzeyinin normal sınırlarda olabilmesi; yeterli  $\text{Ca}^{2+}$  ve D vitamini alınmasına, kan fosfor düzeyine, paratroid bezlerin ve böbreklerin iyi fonksiyon görebilmelerine bağlıdır.

### ***Kalsiyum Azlığı (Hipokalsemi)***

Serum  $\text{Ca}^{2+}$  düzeyi 8mg/dL den azdır.  $\text{Ca}^{2+}$  alımının azalması ya da atılımının artması sonucu, plazma  $\text{Ca}^{2+}$  miktarının azalmasıdır.

#### ***Nedenleri;***

Akut pankreatit, hipoparatiroidizm ve böbrek hastalıklarında bedenden fazla  $\text{Ca}^{2+}$  kaybı; tiroid ameliyatlarında yanlışlıkla paratroid bezlerin alınması; hamilelik ve süt emzirme devresinde ihtiyacın artması; yetersiz D vitamini alınması; banka kanının fazla verilmesi ve asidoz tedavisi nedenleriyle ortaya çıkabilir. Asidoz tedavisinde, alkali madde fazla verildiğinde alkali ortamda iyonize  $\text{Ca}^{2+}$  miktarı azalacağı için; akut pankreatitte  $\text{Ca}^{2+}$  'un plazmadan tahrip olmuş pankreas dokusu içine girmesiyle ve banka kanında pıhtılaşmayı önlemek için yer alan sitratın,  $\text{Ca}^{2+}$  'un aktivitesini baskılamasıyla gelişir.

#### ***Belirti ve Bulguları:***

Hipokalsemi, nöromüsküler iritabilitiyi artırarak, "tetani" denilen bir durumun gelişmesine neden olur.

Trousseau testi; hastanın koluna yerleştirilen tansiyon aleti manşeti şişirilir ve 1-5 dakika beklenir. Parmaklarda, ellerde kasılma (karpal spazm) gelişirse tetani vardır.

Chvostek testi; kulağın ön kısmında fasial sinire vurularak bakılır. Dudakta, burunda, yüzün yan kısmında kasılma olursa, Chvostek belirtisi pozitifdir.

Hipokalseminin nöromüsküler iritabilitiyi artırıcı etkisi, kalp adalesi için geçerli değildir. Hipokalsemide "kalp adale kontraktilesi azalır", aritmiler ve miyokart yetmezliği gelişebilir.

### ***Kalsiyum Fazlalığı (Hiperkalsemi)***

Serum  $\text{Ca}^{2+}$  düzeyi 11mg/dL den fazladır. Kalsiyum fazlalığı,  $\text{Ca}^{2+}$  'un fazla alınması ya da bedenden az atılmasından kaynaklanır. Diyetle fazla  $\text{Ca}^{2+}$  alımını nadiren hiperkalsemiye neden olur.

#### ***Nedenleri;***

Parathormon arttığında ve fazla D vitamini alındığında, GİS'den  $\text{Ca}^{2+}$  emilimi artar ve serum  $\text{Ca}^{2+}$  düzeyi yükselir. Uzun süre hareketsiz kalındığında ve kemik tümörleri olduğunda, kemikten kana geçen kalsiyum miktarı artar ve hiperkalsemi gelişebilir. Kalsiyum atılımının azalması böbreklerle ilgilidir. Parathormon, böbreklerden  $\text{Ca}^{2+}$  'un geri emilimini artırarak kan  $\text{Ca}^{2+}$  seviyesini yükseltir.  $[\text{H}^+]$  arttığında, iyonize  $\text{Ca}^{2+}$  miktarı artar. Böylece asidoz, hücre dışı sıvıdaki iyonize  $\text{Ca}^{2+}$  oranını artırarak hiperkalsemiye neden olur.



### ***Belirti ve Bulguları;***

Kalsiyum fazlalığı nöromusküler iritabiliteyi azaltır. Fakat kalp adalesi üzerinde uyarıcı etkiye sahiptir.  $Ca^{++}$  fazlalığı kalp debisini ve kan basıncını yükseltir. Bununla beraber aşırı uyarım olursa aritmiler gelişir ve kalbin pompalama kapasitesi azalır.

### **FOSFAT DENGESİ**

İnorganik fosfatın normal plazma yoğunluğu yaklaşık 1 mM/L dir. Normal kan pH sı olan 7.4 de fosfatın % 80'i  $HPO_4$  şeklinde ve % 20'si  $H_2PO_4$  şeklinde bulunur. Fosfatın vücutta çeşitli görevleri bulunmaktadır. Kemiğin önemli bir bileşenidir. Hücre metabolizmasında, yapısında ve düzenlenmesinde önemli rol oynar (organik fosfotaz olarak). Ayrıca fosfat bir pH tamponudur.

Fosfat plazmada çoğunlukla bağlı halde bulunur. Filtre edilen fosfatın % 60-70 i proksimal kıvrıntılı tübülde aktif olarak reabsorbe edilir. % 15 i proksimal düz tübülün lümenal plazma membranında bulunan  $2Na-1P$  kotransporterleri aracılığı ile reabsorbe edilir. Buradan da bazolateral mambranda bulunan  $1Pi-1Anyon$  antiport taşıyıcı ile ECF ye geçer. Eğer fosfat az ise nefronun kalan kısmı ve toplayıcı kanallarda fosfat reabsorbsiyonu azdır. Filtre edilen fosfatın sadece yaklaşık % 5-20 si genellikle atılır. İdrarda fosfat önemli bir pH tamponu olup titre edilebilir asit atımına katkıda bulunur.

Fosfat fazlalığında böbrekler fosfat atımını arttırırken, eksikliğinde böbrekler daha az fosfat filtre ederler ve filtre edilen fosfatın büyük bir yüzdesi reabsorbe edilir. Proksimal tübülde fosfat reabsorbsiyonunda PTH özellikle önemlidir. PTH fosfat Tm yi azaltır, fosfat atımını arttırır. GFR azaldığında filtre edilen fosfat yükü azalır ve tübüler fosfatın tamamı reabsorbe edilir. Diyetle fosfat alımına devam edilmesi durumunda fosfat atımı yetersiz olur.

### ***Plazma [fosfat] arttığında, plazma $[Ca^{2+}]$ iki nedenle azalır:***

- 1- Fosfat  $Ca^{++}$  ile kompleks bileşik oluşturur.
- 2- Hiperfosfatemi,  $1\alpha$ -hidroksilaz enzimini inhibe ederek böbreklerde kalsitriol oluşumunu azaltır. Plazma kalsitriolünün azalması ince barsaktan  $Ca^{2+}$  reabsorbsiyonunun azalmasına ve hipokalemiye yol açar.

Düşük plazma iyonize  $Ca^{2+}$  yoğunluğunu paratiroid bezlerde hipertrofiye neden olarak PTH sekresyonunu arttırır. Yüksek plazma fosfat yoğunluğunu ayrıca doğrudan PTH salgılanmasını uyarak proksimal tübülde fosfat geriemiini inhibe eder ve fosfat atımını arttırarak plazma fosfat yoğunluğunu normale getirir. Fakat artmış PTH seviyesi ayrıca kemikten fosfat ve  $Ca^{++}$  çıkışına neden olur. Böylece kemik kırıklara dayanıksız hale gelir. Sentetik kalsitriol uygulanması bu hormonun renal eksikliğini kompanse edebilir. Kalsitriol hipokalemiye karşı koyarak, PTH sentezini ve sekresyonunu inhibe eder.

## FOSFAT DENGESİZLİKLERİ

### *Hipofosfatemi*

Vücutta fosfatın %85'i kemikte %15'i kemik dışındadır. Fosfatın %55'i serbest ion halindedir. Vücutta enerji depolanmasında çok önemi olan fosfat ATP, nükleik asit, 2,3 DPG yapısında yer alır ve serumda 2,7–4,5 mg/dL düzeyinde bulunur. Serum  $[PO_4]$  <1mg/dL olduğunda ciddi organ disfonksiyonu görülür.

### *Hipofosfatemi Klinik Belirtileri*

#### **Nörolojik Bozukluklar**

Paresteziler  
Myopati  
Ensefalopati  
Delirium  
Konvülsiyonlar  
Koma

#### **Hematolojik Bozukluklar**

Eritrositlerin disfonksiyonu  
Trombositlerin disfonksiyonu  
Lökositlerin disfonksiyonu

#### **Kaslarda**

Güçsüzlük  
Yorgunluk  
Solunum Yetersizliği

#### **Kalp**

Myokardial disfonksiyon

### *Hiperfosfatemi*

Serum  $[PO_4]$  >5,0mg/dL olmasıdır. Hızlı hücre yıkımı söz konusu olan kemoterapi, rabdomyoliz ve sepsis gibi durumlarda ve özellikle renal fonksiyon bozukluğu varsa, ayrıca hipoparatiroidizmi olanlarda görülebilir.

## MAGNEZYUM DENGESİ

Erişkin bir insan vücudu yaklaşık 2000 mEq  $Mg^{2+}$  içerir. Bunun yaklaşık % 20'si kemikte, yaklaşık % 39'u hücrede ve yaklaşık % 1'i de ECF de bulunur.  $Mg^{2+}$  hücrelerde ikinci en fazla bulunan katyondur ( $K^+$  dan sonra). İntraselüler  $Mg^{2+}$ 'un önemli bir kısmı ATP gibi çeşitli organik bileşiklere bağlı halde bulunur.  $Mg^{2+}$  un plazma yoğunluğu yaklaşık 1mM/L (2 mEq/L) dir. Plazma  $Mg^{2+}$  unun yaklaşık % 20'si plazma proteinlerine bağlı olarak, % 20'si çeşitli anyonlar ile kompleks bileşik oluşturmuş halde ve % 60'ı serbest veya iyonize halde bulunur.

Filtre edilen  $Mg^{2+}$  un yaklaşık % 25'i proksimal kıvrıntılı tübülden reabsorbe edilir.  $Mg^{2+}$  un en fazla reabsorbe edildiği yer henle kulpunun çıkan ince kolu olup, burada filtre edilen  $Mg^{2+}$ 'un yaklaşık % 65'i çoğunlukla pasif olarak reabsorblanır.  $Mg^{2+}$  atımındaki değişiklikler, çoğunlukla henle kulpundaki transport değişikliklerinin bir sonucudur. Nefronun oldukça distal bölümünde sadece küçük bir miktar  $Mg^{2+}$  reabsorblanır ve bu nedenle  $Mg^{2+}$  atımının kontrolünde rolü azdır.

Diyetle alınan  $Mg^{2+}$  genellikle günlük 20-50 mEq'dir. Bunun 2/3'ü feçesle, 1/3 idrarla atılır. Böbrekler plazma  $Mg^{2+}$  yoğunluğunun düzenlenmesinden sorumlu olan esas bölgedir. Aşırı  $Mg^{2+}$  böbrekler yoluyla hızla uzaklaştırılırken, eksiliğinde idrarda  $Mg^{2+}$  hemen hemen bulunmamaktadır.

### **MAGNEZYUM DENGESİZLİKLERİ**

Magnezyum dengesizlikleri nöromusküler fonksiyonda bozukluklara neden olur.

#### ***Hipomagnezemi***

1. Starvasyonda
2. Malabsorpsiyonda
3. Uzun süreli GİS kayıplarında
4. Akut pankreatit
5. Diabetik ketoasidoz tedavisi
6. Primer aldosteronizm
7. Alkolizm
8. Amfoterisin B tedavisi
9. Tedavisi uzun süren termal yanıklar

Hipomagnezemi, serum  $Mg^{2+}$  yoğunluğunun 1,7 mg/dL'den az olduğunda ve nöronal irritabilite ve tetani şeklinde başlar. Genellikle serum  $Mg^{2+}$  yoğunluğu 1,0 mg/dL'den az olduğunda semptomatik hale gelir. Nöronal irritabiliteye, güçsüzlük, kas spazmları, paresteziler, letarji ve depresyon eklenebilir; ciddi hipomagnezemide konvülsiyon, koma ve kardiyak sorunlar (Disritmi, koroner spazmı, kalp yetmezliği, hipotansiyon) ortaya çıkabilir.

#### ***Hipermagnezemi***

1. Şiddetli renal yetmezlikde
2. Termal yaralanmanın erken devresi
3. Massif travma, cerrahi stress
4. Şiddetli asidoz

Serum  $Mg^{+2}$  yoğunluğunun 2,5 mg/dL'den fazla olmasıdır. Hipermagnezemi nadiren de hipotiroidi, addison hastalığı ve lityum entoksikasyonunda görülür. Çoğu hipermagnezemi durumu antasitler, lavman, parenteral beslenme ürünleri gibi magnezyum içeren preparatların renal fonksiyonu bozuk olan hastalara verilmesi sonucunda ve iatrojeniktir. Hipermagnezemide asetilkolin'in nöromusküler kavşakta salınımı ve etkisi antagonize olur ve nöromusküler blok ortaya çıkar.