SPOR FİZYOLOJİSİ

DR. SÜMER ALVURDU

Enerji Metabolizması

Enerji Nedir?

- **Enerji**, bir sistemin iş yapma kapasitesidir. Kütle gibi nicel bir büyüklüktür ve ölçü birimi Joule'dir. Ancak, enerji erg, kalori, İngiliz ısıl Birimi, kilowatt-saat ve kilokalori gibi başkaca birimlerle de tanımlanabilir.

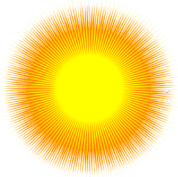
- Enerji çeşitleri;
  1-Mekanik enerji
  2-Isı enerjisi
  3-Işık enerjisi
  4-Kimyasal enerji
  5-Elektrik enerjisi
  6-Nükleer enerji
  7-Elektromanyatik Radyasyon enerjisi

Enerjinin Biyolojik Dönüşümü

İnsanın etkin olması için gerekli olan enerjinin kaynağı nedir?

Güneş, dünyanın başlıca enerji kaynağıdır

Güneş



Nükleer Enerji

Güneş ışınları, enerjiyi ışık enerjisi formunda dünyaya taşır

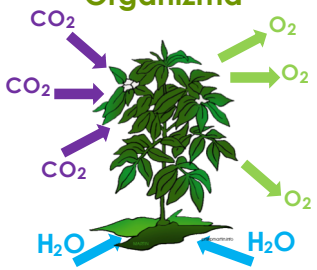
Güneş Işığı



Işık Enerjisi

Klorofil taşıyan canlılar güneş ışığını kullanarak CO_2'yi indirgeyip organik besin sentezler

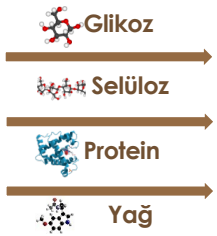
Fotosentetik Organizma



Kimyasal Enerji

Enerji, besin maddelerinin kimyasal enerjisine dönüşmüştür

Besinler



Kimyasal Enerji

Besinlerden alınan kimyasal enerji, ATP üretiminde kullanılır

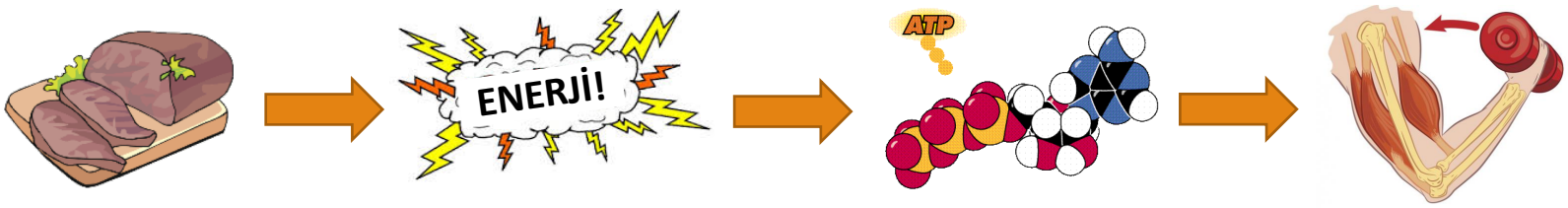
İnsan



Mekanik Enerji

Enerjinin Biyolojik Dönüşümü

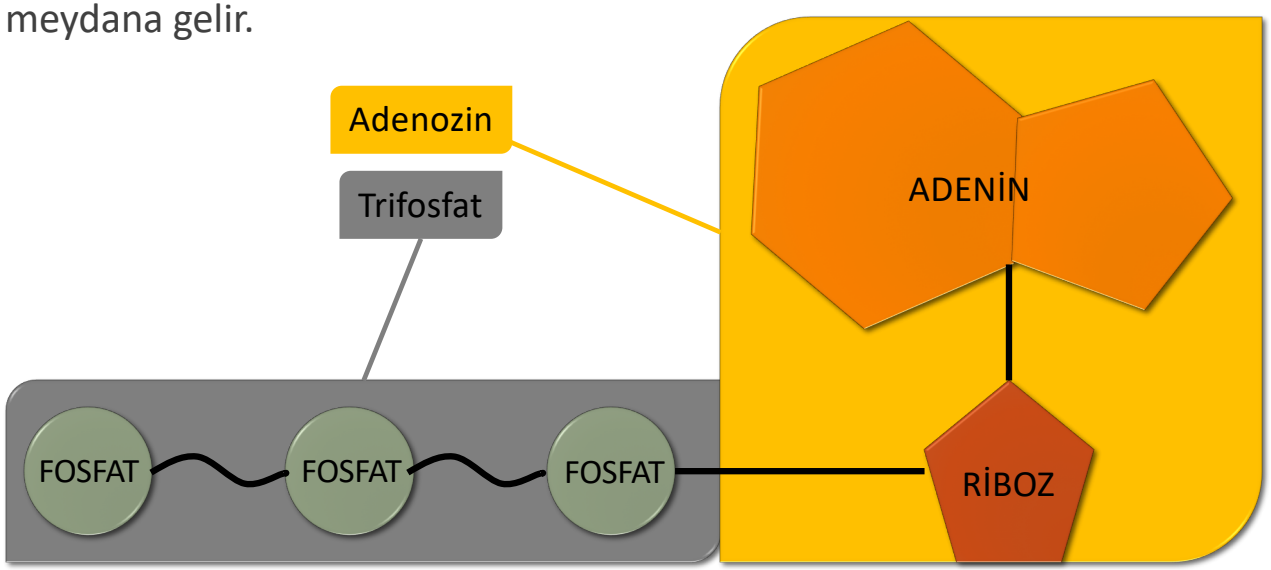
- Vücuttaki enerji, temel olarak besinlerin **oksijen** (O_2) ile yakılması (oksidasyonu) sonucu oluşur.
- Ancak, besin maddelerinin (karbonhidrat, yağ ve protein) parçalanması sırasında açığa çıkan kimyasal enerji, kaslarda direkt olarak iş için **kullanılamaz**.*
- Biyolojik işler için gerekli olan temel enerji formu olan **ATP**'ler besinlerden açığa çıkan enerji kullanılarak sentezlenir.



* Mc Ardle, W.D., Katch, F.I., Katch, V.L. (1981). Exercise Physiology, Energy, Nutrition and Human Performance, Philadelphia: Lea and Febiger, S. 4-47.
Lamb, D.R. (1978). Physiology of Exercise, Responses and Adaptations, 2nd edition, New York: Mac Millan Publishers Company, S. 38-63.

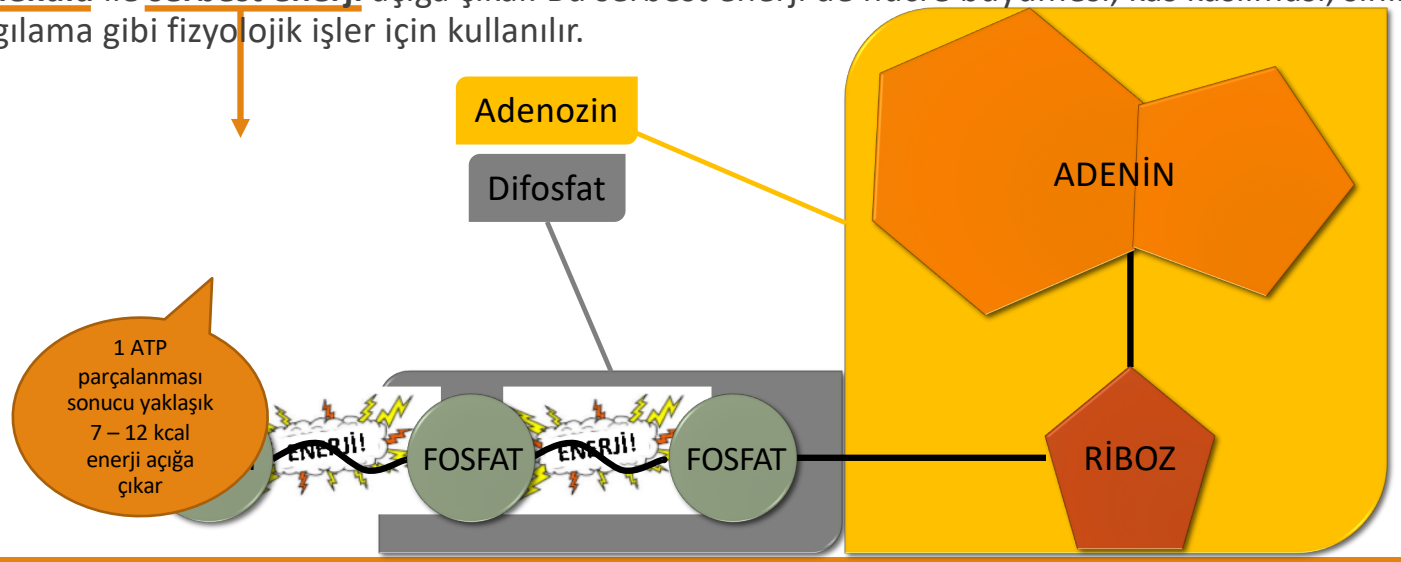
ATP Nedir?

- **ATP** (Adenozin trifosfat), hücre içinde bulunan çok işlevli bir nükleotittir. En önemli işlevi hücre içi biyokimyasal reaksiyonlar için gereken **kimyasal enerjiyi taşımaktır**.
- ATP, **riboz** denilen beş karbonlu bir şeker, **adenin** adı verilen organik bir baz ve **üç fosfat** grubundan meydana gelir.



ATP Nedir?

- ATP vücutta bulunan tüm kas doku hücrelerinde depolanır ve gerekli durumlarda kimyasal olarak parçalanmasıyla depolanmış enerjinin açığa çıkması sağlanır.
- ATP'ye bağlı fosfat bağlarının birinin parçalanması sonucu, ATP bileşimi **ADP'ye** (adenozindifosfat) dönüşür ve **bir fosfat molekülü** ile **serbest enerji** açığa çıkar. Bu serbest enerji de hücre büyümesi, kas kasılması, sinir uyarısı ve salgılama gibi fizyolojik işler için kullanılır.



ATP Nasıl Üretilir?

- Besin maddelerini kimyasal reaksiyonlar ile parçalayıp, ATP üretimini (sentezini) sağlamak için değişik metabolik yollar mevcuttur.
- Kas hücrelerinde depo haldeki ATP miktarı **çok azdır** ve devamlı olarak değişik hızlarda kullanılmaktadır. Bu nedenle, kullanıldığı hızda da derhal üretilerek yerine konmalıdır.
- ATP hücrelere kan veya başka bir doku tarafından sağlanamaz. Bu nedenle, her hücre içerisinde ATP sentezi ve resentezi söz konusudur.



Örneğin;
Sürat, sıçrama veya atma gibi aktiviteler çok hızlı tempoda ATP parçalanmasını gerektirir



Fakat, maraton gibi uzun süreli ve düşük tempodaki aktivitelerde ATP molekülü daha yavaş bir hızda parçalanır

ATP Nasıl Üretilir?

ATP'nin harcanma temposuna göre tekrar üretilebilmesi için farklı metabolizmalar devreye girer;

Aerobik Metabolizma: Karbonhidratların, yağların ve gerekirse proteinlerin, O_2 varlığında tamamen parçalanarak CO_2 ve H_2O'ya dönüşümleri ile sonuçlanan bir seri kimyasal reaksiyondan oluşur ve bu parçalanma sırasında ATP molekülü üretilir. O_2 kullanılarak oluşan bu kimyasal reaksiyonlar, hücre içinde mitokondri adı verilen bir organel içerisinde meydana gelir ve bu kimyasal olaylara «**oksidayson**» adı verilir.

Anaerobik Metabolizma: Sadece karbonhidratların (yağlar ve proteinler hariç) O_2 kullanılmadan parçalanması ile bir ara maddeye (laktik asit) dönüşümünü içerir. Bu metabolizma ile aerobik metabolizmaya oranla çok daha az miktarda enerji üretimi gerçekleşir.

ATP Nasıl Üretilir?

ATP sentezini sağlayan kimyasal reaksiyonlar serisi 3 kategoride incelenebilir:

1) ATP-PC Sistemi (Fosfojen Sistemi)
2) Anaerobik Glikoliz Sistemi (Laktik Asit Sistemi)

Anaerobik Sistemler

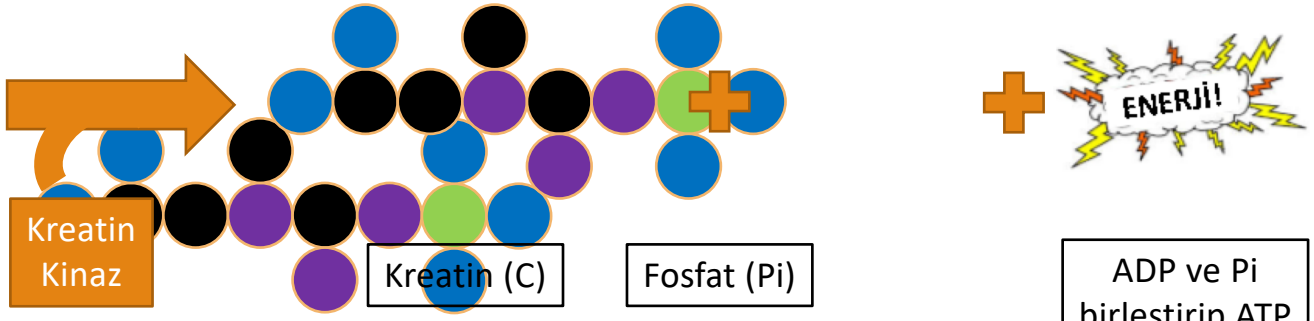
3) Oksijen Sistemi

Aerobik Sistem

1. ATP-PC Sisteminin Özellikleri

- **Fosfojenler** (ATP ve kreatin fosfat) kasların içinde az bir miktar depo edilmiş halde bulunurlar.
- **Kısa süreli, maksimal egzersizler** (en fazla 15 s) bu depo fosfojenlerin parçalanmalarıyla açığa çıkan enerji ile gerçekleştirilir.
  - Çünkü yüksek şiddetli aktiviteler sırasında ATP oldukça hızlı bir şekilde kullanılır ve organizmanın O_2 sistemi bu kadar hızlı bir tempoda ATP üretme becerisine sahip değildir. Bu nedenle, ATP'nin çok hızlı bir şekilde üretilmesinin gerektiği durumlarda kas içinde depolanmış CP bileşimi ATP'nin sentezlenmesi için devreye girer.
- **PC**'nin parçalanması ile açığa çıkan enerji, **ADP** ve **Pi**'nin bir araya gelmesinde kullanılır. Her bir mol PC parçalanması sonucu **1 mol ATP** oluşur.
- Depolanabilen toplam ATP ve PC kadınlarda ortalama 0,3 mol, erkeklerde 0,6 mol kadardır. Buradan elde edilen enerji yaklaşık **10 – 15 s** süren **şiddetli aktiviteler** için yeterlidir.

1. ATP-PC Sisteminin ATP Üretimi



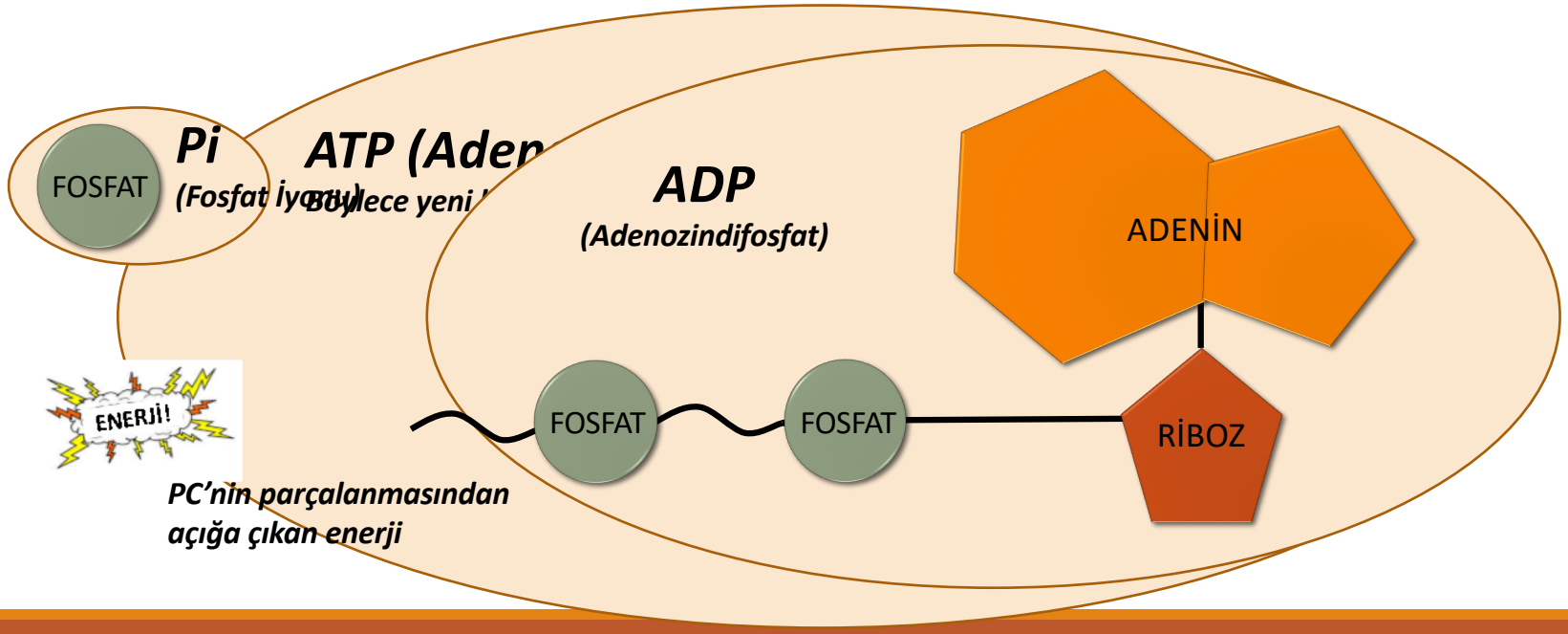
Kreatin Fosfat Molekülü (PC)

ADP ve Pi birleştirip ATP üretiminde kullanılacak enerji

Burada, ATP sentezleyebilmek için gerekli olan **ENERJİ**nin, Kreatin Fosfat molekülünün çok hızlı bir şekilde parçalanması yoluyla elde edilmesi gösterilmektedir.

1. ATP-PC Sisteminin ATP Üretimi

Bir önceki aşamada kreatin fosfatın parçalanmasıyla **elde edilen enerjiyle** ADP ve Pi moleküllerinin yeniden birleştirilip **ATP sentezi** sağlanır:



2. Laktik Asit Sisteminin Özellikleri

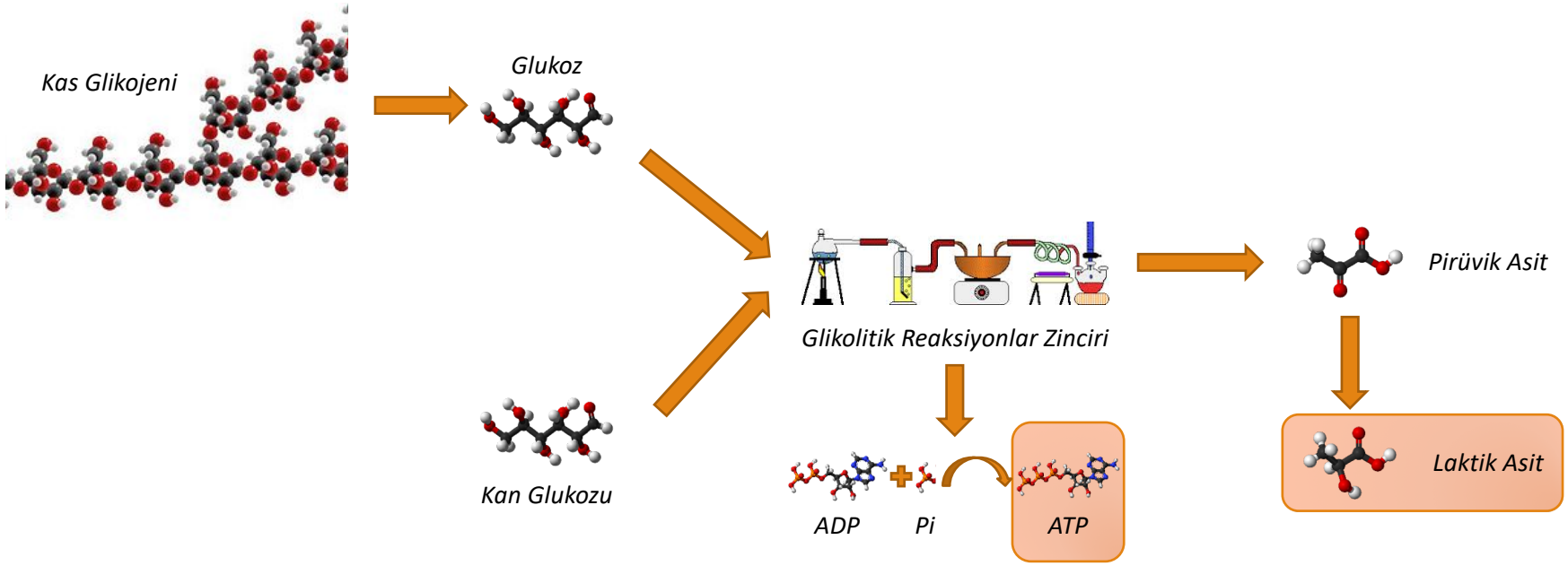
- Bu sistemde **glukoz** O_2 yokluğunda kısmen parçalanarak **pirüvik asit** denilen bir ara maddeye dönüşür. Kimyasal reaksiyonlarla oluşan bu parçalanma sırasında **ATP üretilir**.
- Kaslarda bu sırada yeterli O_2 bulunmuyorsa oluşan pirüvik asit **laktik aside** dönüşür ve kaslarda birikmeye başlar. Biriken laktik asit yüksek seviyelere ulaştığında, insan vücudu belli miktarlarda laktik asidi tolere edebildiğinden, kaslarda **yorgunluk başlar**.
- İstirahat sırasında kanda bulunan laktik asit miktarı yaklaşık **1 mmol/L** iken yoğun bir egzersiz sırasında **16 – 20 mmol/L**'ye kadar yükselebilir. Kasta ise bu oran daha büyük miktarlara ulaşmaktadır.
- Laktik asit birikimiyle birlikte vücudun asit-baz dengesi bozulur ve **asidik** bir ortam oluşur. Laktik asit birikiminin yorgunluğa neden olması, bu sistemin olumsuz bir yönüdür.
- Bir diğer dezavantajı ise 1 mol glukozdan aerobik sisteme göre çok daha az ATP üretilebilmesidir. **1 mol** glukoz ile LA sistemi **3 mol ATP**, aerobik sistem **39 mol ATP** üretir.

2. Laktik Asit Sisteminin Özellikleri

- Glukozun laktik aside kadar parçalanması, glikolitik reaksiyonlar adı verilen 12 kimyasal reaksiyonu içerir ve her kimyasal reaksiyon bir spesifik enzim gerektirir.
- Bu enzimlerden reaksiyonları kontrol edici rol oynayanlar [örneğin; fosfofruktokinaz (PFK, heksokinaz (HK), pirüvat kiaz (PK), laktat dehidrogenaz (LDH) enzimleri] özellikle önemlidir.
- Bu sistem aynı **ATP-PC sistemi gibi çok acil durumlarda** devreye girer ve çok hızlı bir şekilde ATP elde edilmesini sağlar.
- Özellikle **1-3 dk** süren yüksek şiddetli egzersizler (**örneğin; 400 – 800 m koşu, 100 – 200 m yüzme**) sırasında gerekli olan ATP bu sistem sayesinde elde edilir.

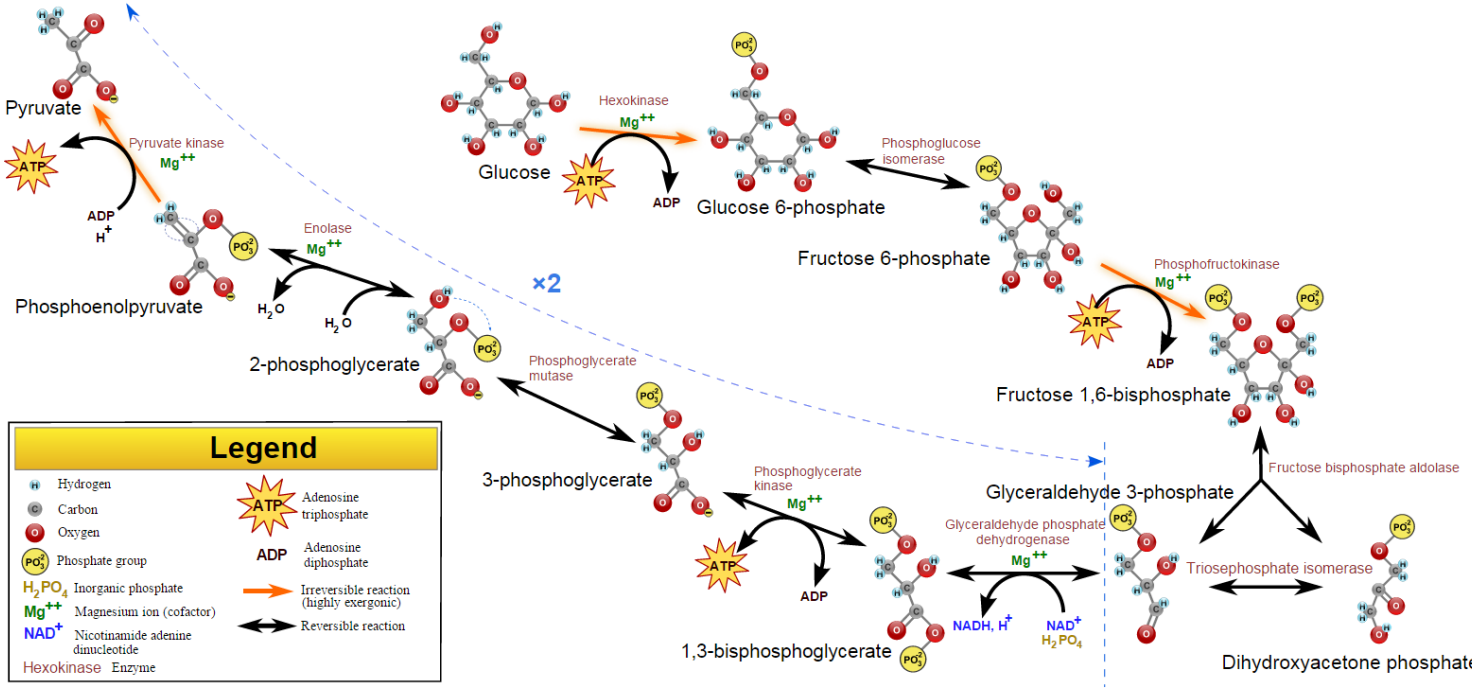
2. Laktik Asit Sisteminin ATP Üretimi

Glikojenin laktik aside parçalanıp ATP elde edildiği anaerobik glikoliz sürecinin basit gösterimi:



2. Laktik Asit Sisteminin ATP Üretimi

Glukozun pirüvata parçalanıp ATP elde edildiği anaerobik glikoliz sürecinin gösterimi:



3. Aerobik Sistemin Özellikleri

- Aerobik yol, ATP'nin resentezi için besin maddelerinin **mitokondrilerde oksidasyonu** demektir.
  - Anaerobik kimyasal olaylar, hücrenin **sitoplazmasında** meydana gelir.
- **O_2'nin ortamda bulunmasıyla** karbonhidrat, yağ ve proteinlerin, H_2O ve CO_2'ye kadar parçalanması sonucu enerji elde edilmesini sağlamaktadır.
- Bu sistem, diğer iki anaerobik sistemden daha karmaşıktır ve çok daha fazla kimyasal reaksiyon gerektirir. Sonucunda da **çok daha fazla ATP** elde edilir.
  - Örneğin; 1 mol glukoz (180 gr) ile laktik asit sistemi ile **3 mol ATP**, aerobik sistem ile **39 mol ATP** üretilir.
- Aerobik sistem, **yağların** enerji kaynağı olarak kullanılabildiği **tek sistemdir**.
  - Örneğin; 1 mol glikojenden **39 mol ATP**, 1 mol palmitik asitten **129 mol ATP** üretilir.
- Daha fazla ATP üretmesinin yanı sıra, laktik asit gibi bir yan ürün oluşmaz. Sadece ATP, H_2O ve CO_2 oluşur.
  - ATP gerekli enerji için kullanılır. CO_2 kas hücresinden kana diffüze olur ve akciğere taşınarak buradan atmosfere verilir. H_2O ise hücrenin kendisi için gereklidir.

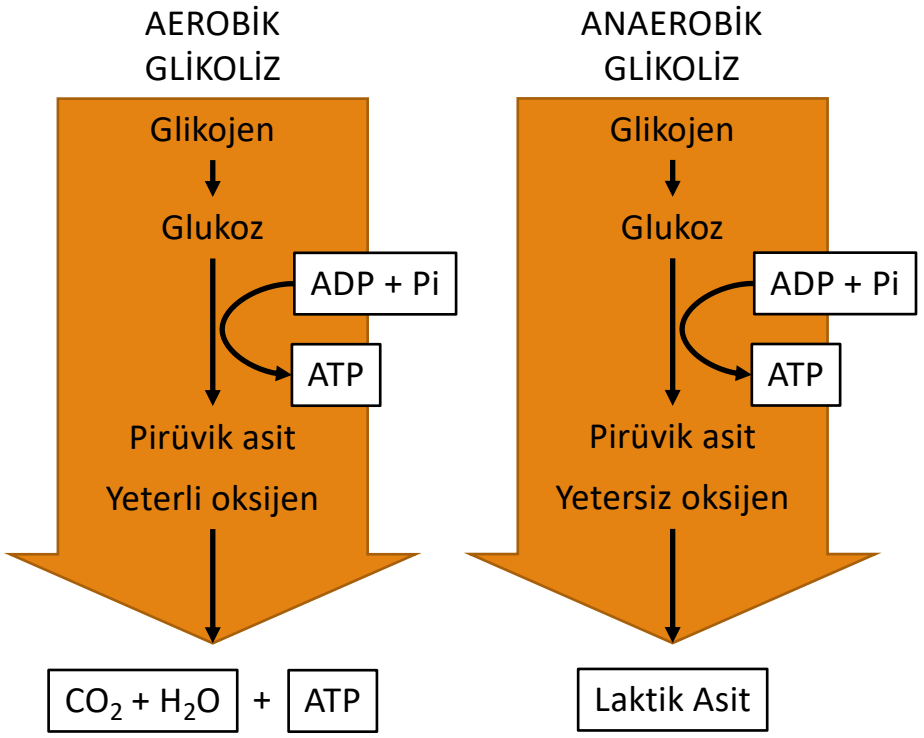
3. Aerobik Sistemin Özellikleri

Aerobik sistemde gerçekleşen kimyasal reaksiyonların basitleştirilmiş şekilde sıralanması şöyledir;

1. a) Aerobik glikoliz (glukozun oksijenli ortama giriş için parçalanması)
   b) Beta-oksidasyon (yağ asitlerinin oksijenli ortama giriş için parçalanması)
2. Krebs çemberi
3. Elektron taşıma sistemi

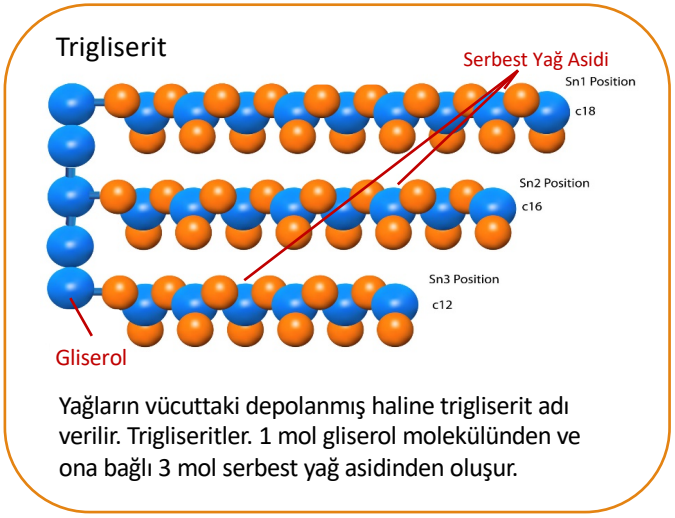
Aerobik Glikoliz

- Bütün reaksiyonların anaerobik glikoliz sistemindeki reaksiyonlarla aynı olmasıyla birlikte, anaerobik glikolizdeki gibi **pirüvik asit** laktik aside değil **asetil koenzim A**'ya (Asetil CoA) dönüştürülür.
  - Bu sistemde laktik asidin oluşmamasının nedeni, reaksiyonlar sırasında **O_2'nin** varlığıdır. **O_2'nin** metabolik olaylar sırasında **hidrojen alıcı** olarak görev yapar ve pirüvik asidin laktik aside dönüşmesini engeller.
- **Asetil CoA**, oksidatif sistemin başlangıç kısmı olan **krebs çemberi**ne girer.

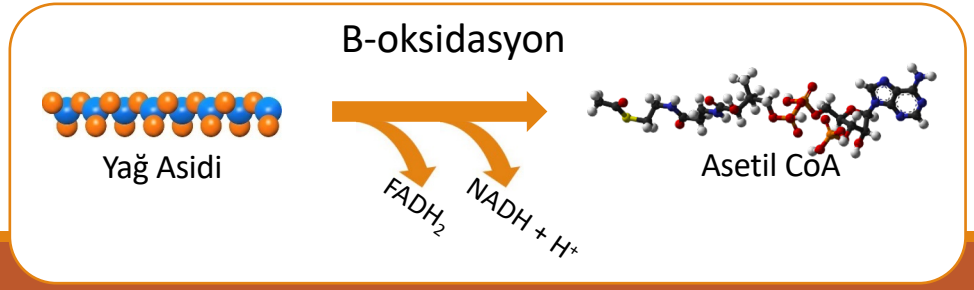


Beta Oksidasyon

- Vücuttaki **yağ moleküllerinin** parçalanma olaylarının ilk kısmına verilen isimdir.
- 1 mol **trigliserid**in parçalanması sonucunda 1 mol **gliserol** ve 3 mol **yağ asidi** oluşur. Gliserol, glukoza dönüşebilir ve parçalanarak oksijen sistemine gider. Ancak serbest yağ asidinin **krebs çemberi**ne girebilmesi için **Asetil CoA**'ya dönüşmesi gerekir. Bu dönüşüm olaylarını içeren kimyasal reaksiyonlar dizisine **beta-oksidasyon** adı verilir.
- Kısacası, yağ asitleri, **beta-oksidasyon** reaksiyonları ile oksijen sisteminde kullanılmak üzere **krebs çemberi**ne girebilirler.



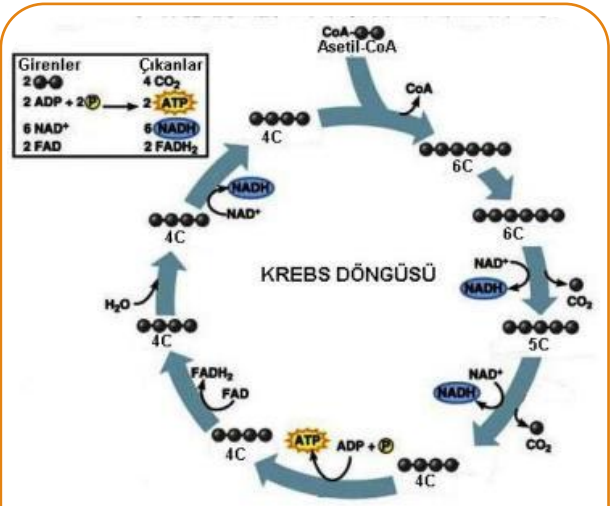
Yağların vücuttaki depolanmış haline trigliserit adı verilir. Trigliseritler. 1 mol gliserol molekülünden ve ona bağlı 3 mol serbest yağ asidinden oluşur.



Krebs Çemberi

- **Mitokondride** oluşan bir dizi kimyasal reaksiyonlar zinciridir ve oksijen (aerobik) sisteminin **başlangıç** kısmıdır.
- Aerobik glikoliz ve beta oksidasyon sonucunda karbonhidrat ve yağların dönüştüğü **Asetil CoA**, krebs çemberinin başlangıç maddesidir.
- Krebs çemberinde oluşan **oksidasyon*** olayları sırasında **CO_2** oluşur (hemen akciğerle taşınır ve atılır), **elektronlar** ve **H^+** iyonları** ATP üretimi için gerekli değişikliğe uğramak üzere **elektron transfer sistemi**ne taşınırlar.

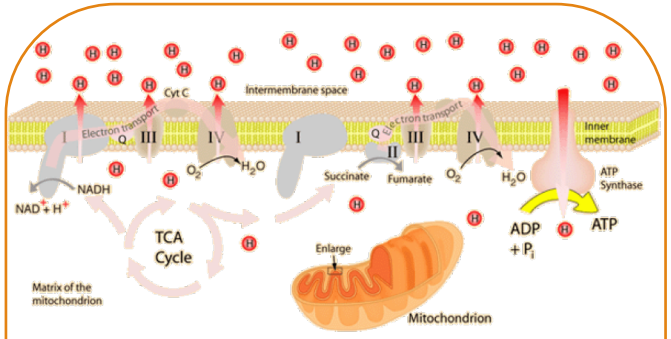
*Bir kimyasal bileşikten elektron (e^-) koparılmasına oksidasyon (yükseltgenme) denir.
**Bir H atomu pozitif yük taşıyan bir protondan ve negatif yük taşıyan bir elektrondan oluşur. [H → H^+ + e^-]



İlk önce glikojen sonra da pirüvik aside dönüşen bileşikteki karbon (C) atomlarından hidrojen (H) atomları elektronlar biçiminde koparlar. Elektronlar nikotinadenin dinükleotid (NAD) ve flavinadenin dinükleotid (FAD) adı verilen moleküller tarafından elektron taşıma sistemine (ETS) taşınırlar. NAD ve FAD molekülleri hidrojenle birleşerek NADH ve $FADH_2$'ye dönüşürler. Daha sonra ETS'de hidrojen iyonlarının O_2 ile birleşmesinden H_2O meydana gelir ve bu sırada ATP üretimi gerçekleşir. ETS'de her bir NADH molekülünden 3 mol ATP her bir $FADH_2$ molekülünden ise 2 ATP elde edilir.

Elektron Taşıma Sistemi (ETS)

- Besin maddelerinin enerji üretimi için parçalanmaları sırasındaki **son** aşamadır ve **oksijen**in kullanıldığı, **mitokondri**de gerçekleşen kimyasal reaksiyonlardan oluşur.
- Krebs çemberinden ve daha önceki reaksiyonlardan taşınan **H^+ iyonu** ve **elektronlar**, bir seri enzimatik kimyasal reaksiyon sonucu moleküler oksijene transfer edilir ve **H_2O** meydana gelir.
  [$4\ H^+ + 4\ e^- + O_2 \rightarrow 2\ H_2O$]
- Elektronların bu sistemde bir molekülden diğerine transfer edilmeleri sırasında **H_2O** ve **ATP** üretilir.



Krebs döngüsünde ayrılan H^+ ve e^- yüksek enerj, seviyesinden düşük enerji seviyesine doğru taşınırlar. Burada iki önemli kimyasal olay vardır. (1) Hidrojen iyonları ve elektronlar solunum yolu ile akciğerden alınan oksijene (O_2) doğru su (H_2O)oluşturmak için elektron taşıyıcıları tarafından bir seri kimyasal reaksiyon sonucunda taşınırlar. (2) Bu taşıma sırasında serbest kalan enerjiden ATP sentezlenir. Taşınan her bir çift elektrondan ortalama 3 mol ATP üretilir.

Eşitliklerin özeti

$2H^+ + 2e^- + ½\ O_2 \rightarrow H_2O$ + Enerji

Enerji + 3 ADP + 3 Pi → 3 ATP

Aerobik Metabolizmanın Özeti

- Aerobik sistemde 1 mol (180 gr) **glukozdan 39 mol ATP** üretilir.

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \rightarrow 6\,CO_2 + 6\,H_2O + \text{Enerji}$$
$$\text{Enerji} + 39\,ADP + 39\,Pi \rightarrow 39\,ATP$$

- Aerobik sistem sonucunda bir molekül **palmitik asitten** (16 karbonlu yağ asidi) **130 molekül ATP** üretilir.

$$C_{16}H_{32}O_2 + 23\,O_2 \rightarrow 16\,CO_2 + 16\,H_2O + \text{Enerji}$$
$$\text{Enerji} + 130\,ADP + 130\,Pi \rightarrow 130\,ATP$$

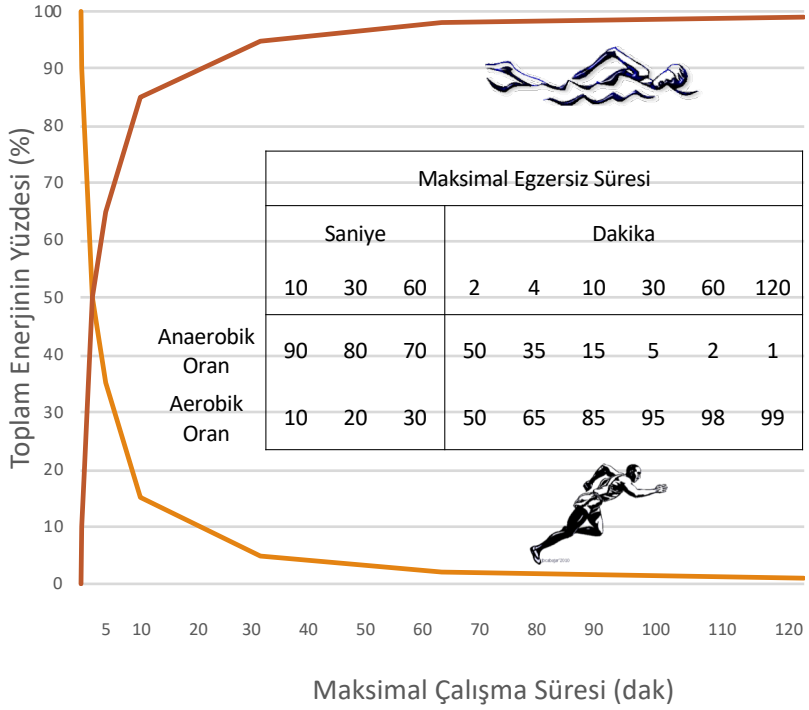
- Yağlardan daha fazla ATP üretilir, ancak yağları parçalayabilmek için **daha fazla O_2 kullanımı gerekir.**
  - 1 mol ATP üretmek için glukoz kullanıldığında 3,5 litre O_2, yağlar kullanıldığında ise 4 litre O_2 harcanması gerekir. Bu nedenle yağların oksidasyonu sonucu elde edilen 1 mol ATP üretimi glikojenin oksidasyonundan elde edilen 1 mol ATP üretiminden yaklaşık %15 daha fazla O_2 gerektirir.

Enerji Sistemlerinin Genel Özellikleri

	ATP-CP Sistemi	Laktik Asit Sistemi	Aerobik Sistem
Oksijen gereksinimi	Anaerobik	Anaerobik	Aerobik
ATP üretim hızı	Çok hızlı	Hızlı	Yavaş
Enerji üretim kaynağı	Depolanmış ATP ve CP	Karbonhidrat (glikojen veya glukoz)	Karbonhidrat (glikojen veya glukoz) ve yağlar (trigliseritler)
ATP üretme kapasitesi	Çok sınırlı	Sınırlı	Sınırsız
Kullanıldığı egzersiz türleri	Çok şiddetli, kısa süreli ve patlayıcı kuvvet gerektiren hareketler	1 - 3 dakika kadar süren şiddetli aktiviteler	Dayanıklılık gerektiren egzersizler
Diğer özellikleri	Kaslarda depolanmış olan ATP ve CP kaynakları çok sınırlıdır ve bu nedenle çok kısa süreli enerji sağlayabilir.	Sonuçta laktik asit birikimi olur ve bu da yorgunluğa neden olur.	Yağları enerji kaynağı olarak kullanabilmek için O2 kullanım kapasitesinin oldukça gelişmiş olması gerekir.

Enerjinin Sürekliliği

- Egzersizin özelliğine göre, değişik enerji sistemleri egzersiz için gerekli ATP'yi üretirler.
  - Kısa süreli ve yüksek şiddetli egzersizler (örn; 100 m sürat koşusu) için gerekli enerjinin büyük çoğunluğu fosfojen (ATP-PC) sistemi tarafından karşılanır.
  - 2 – 3 dakikaya kadar süren egzersilerde (örn; 400 – 800 m koşusu) laktik asit sistemi gerekli enerjinin büyük kısmını sağlar.
  - Uzun süreli ve düşük şiddetteki egzersizler için (örn; maraton koşusu) ise, aerobik sistem başlıca enerji üretim mekanizmasıdır.



	Maksimal Egzersiz Süresi								
	Saniye			Dakika					
	10	30	60	2	4	10	30	60	120
Anaerobik Oran	90	80	70	50	35	15	5	2	1
Aerobik Oran	10	20	30	50	65	85	95	98	99

Enerjinin Sürekliliği

Üç enerji sisteminin maksimal gücü ve kapasitesi

Sistemler	**Maksimal Güç (mol)** (1 dakikada üretilebilen ATP miktarı)	**Maksimal Kapasaite (mol)** (Üretilebilen toplam ATP miktarı)
Fosfojen (ATP-PC) Sistemi	3,6	0,7
Anaerobik Glikoliz (Laktik Asit) Sistemi	1,6	1,2
Aerobik veya Oksijen Sistemi (Sadece Glikojenden)	1,0	90,0

Enerjinin Sürekliliği

Değişik aktiviteler sırasında gerekli olan enerjinin, değişik enerji sistemleri tarafından sağlanma oranları (Powers (1990)'dan uyarlanmıştır).

	Katılan enerji sisteminin yüzdesi (%)		
Spor Branşları	**ATP-PC**	**LA**	**O2**
Beyzbol	80	15	5
Basketbol	80	10	10
Eskrim	90	10	-
Çim hokeyi	60	20	20
Cimnastik	90	10	-
Kürek	20	30	50
Yüzme ve dalma			
50 m dalma	95	5	-
100 m yüzme	80	15	5
200 m yüzme	30	65	5
400 m yüzme	20	40	40
1500 m yüzme	10	20	70
Voleybol	90	10	-
Güreş	45	55	-

	Katılan enerji sisteminin yüzdesi (%)		
Spor Branşları	**ATP-PC**	**LA**	**O2**
Futbol			
Kaleci	80	20	-
Kanat, hücum oyuncusu	60	20	20
Orta saha, stoper	40	40	20
Tenis	70	20	10
Atletizm			
100-200 m	98	2	-
Atmalar	90	10	-
400 m	40	55	5
800 m	20	60	20
1500 m	15	55	30
3000 m	10	40	50
5000 m	10	20	70
10000 m	5	15	80
Maraton	-	5	95

Sunum sonu ☺

Enerji Üretimi İçin Gerekli Besin Maddeleri

Gıda Maddeleri

Üç çeşit gıda maddesi vardır *:

Proteinler



Karbonhidratlar



Yağlar



* Mc Ardle, W.D., Katch, F.I., Katch, V.L. (1981). Exercise Physiology, Energy, Nutrition and Human Performance, Philadelphia: Lea and Febiger, S. 4-47.
Bowers, R.W. Fxox, E.L. (1988). Sports Physiology, 3rd Edition Dubuque, Iowa: Wm.C. Brown Publishers, S. 55-71.

Proteinlerin Yakıt Olarak Kullanımı

- Proteinler aerobik sistemde enerji yakıtı olarak kullanılabilir olsa da, normalde bir çok egzersizde **önemli bir yakıt değildir**.
- Fakat çok uzun süren dayanıklılık aktivitelerinde proteinler, toplam enerji ihtiyacına yaklaşık **%5-10 oranında katkıda bulunabilirler.**
- Proteinlerin metabolik yakıt olarak kullanımı, ancak **uzun süreli ve zorlu açlık dönemleri** gibi diğer gıda maddelerinin kullanılamaz olduğu durumlarda ortaya çıkar.



Karbonhidrat ve Yağların Yakıt Olarak Kullanımı

Egzersiz sırasında karbonhidratların ve yağların yakıt olarak kullanımını ve katkılarını etkileyen **iki önemli faktör** vardır. Bunlar;

egzersizin şiddeti ve süresi

ve

tüketilen diyetin çeşididir.

Egzersiz Süresi ve Şiddetinin Etkisi

- Egzersizin yoğunluğu artıp süresi kısaldığında **karbonhidratlar** öncelikli yakıttır *.
  - Bunun nedenlerinden biri, kısa süreli ve ağır egzersizlerde ATP üretiminin anaerobik metabolizma (laktik asit sistemi) ile gerçeklemesidir.



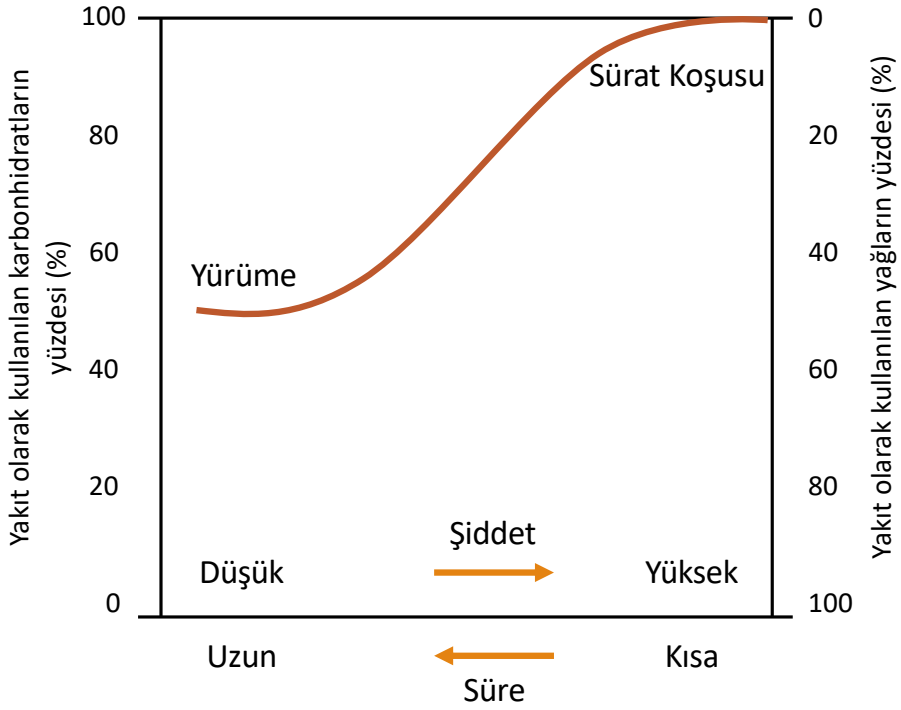
- Egzersizin şiddeti azalıp süresi arttığında temel yakıt kaynağı **yağlar** olmaya başlar *.
  - Uzun süreli aktivitelerin başlıca yakıtı yağlar olmakla birlikte özellikle performansın baş ve son kısımlarda laktik asit sistemin de oldukça devreye girmesinden dolayı karbonhidratlar da performansta önemli bir yakıttır.



* Bowers, R.W. Fxox, E.L. (1988). Sports Physiology, 3rd Edition Dubuque, Iowa: Wm.C. Brown Publishers, S. 55-71.

Egzersiz Süresi ve Şiddetinin Etkisi

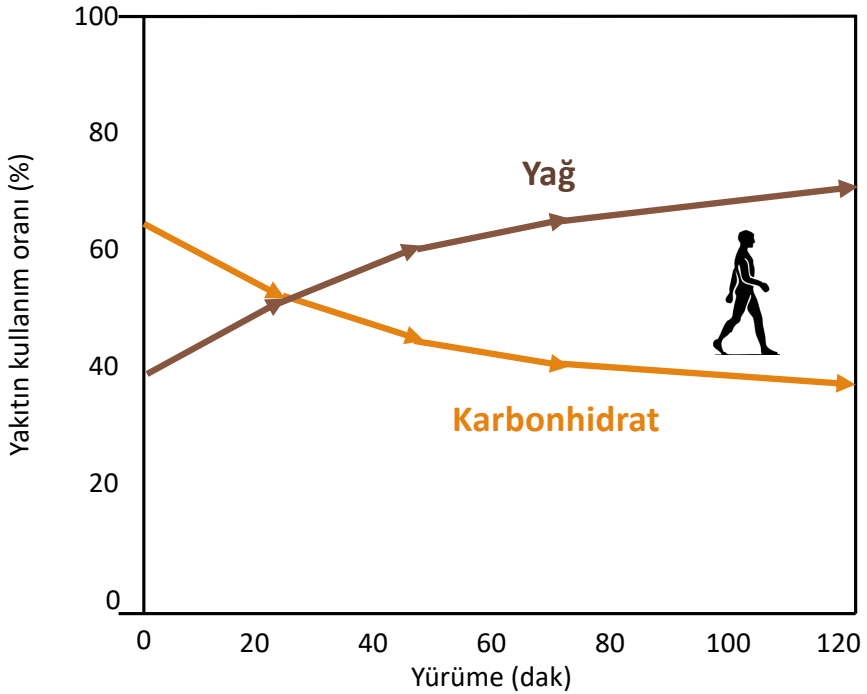
Egzersizin şiddeti arttıkça süresi kısalır ve enerji için gerekli başlıca yakıt kaynağı **karbonhidratlar** haline gelir *.



* Bowers, R.W. Fxox, E.L. (1988). Sports Physiology, 3rd Edition Dubuque, Iowa: Wm.C. Brown Publishers, S. 55-71.

Egzersiz Süresi ve Şiddetinin Etkisi

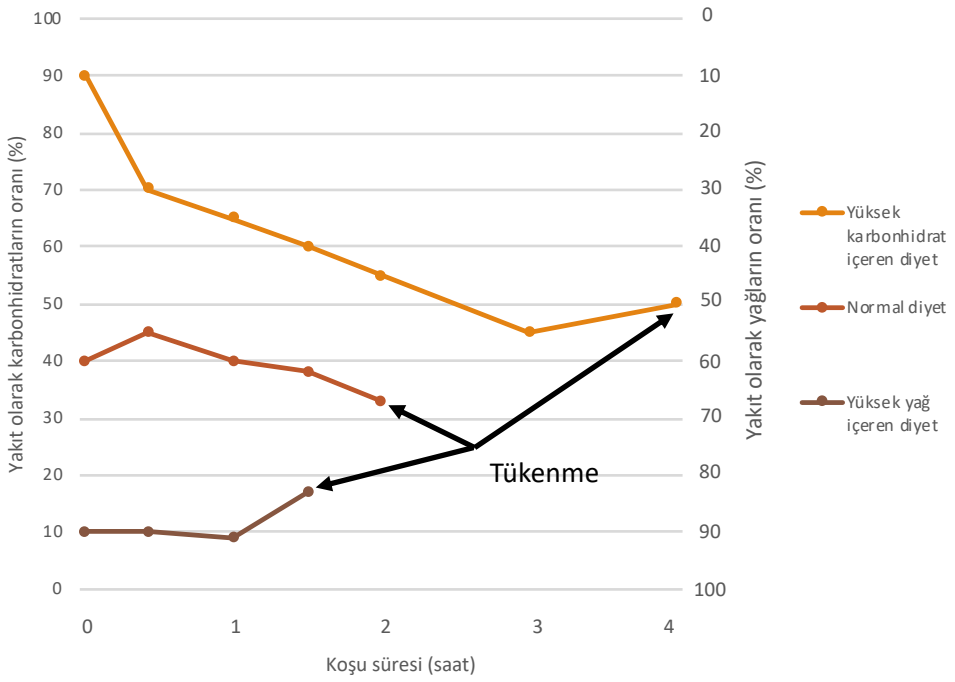
Uzun süreli egzersizde, başlangıçta **karbonhidrat** kullanımı yağlara oranla daha fazladır. Fakat egzersizin süresi uzadıkça **yağlar** daha önemli enerji kaynağı olmaya başlar *.



* Bowers, R.W. Fxox, E.L. (1988). Sports Physiology, 3rd Edition Dubuque, Iowa: Wm.C. Brown Publishers, S. 55-71.

Diyetin Etkileri

- Tüketilen yiyecekler egzersiz sırasında hangi yakıtın daha az ya da daha çok kullanılacağı konusunda etkilidir. Yandaki grafikte bu ilişkiye ait kanıtlar görülebilir *.
  - **Normal diyetle** ilgili olan yakıt kullanım modelinde karbonhidratlar ve yağlar **eşit** rol oynamaktadır.
  - **Yüksek oranda yağ** içeren bir diyetten sonra yapılan egzersiz sırasında, koşunun ilk bölümünde bile tercih edilen yakıt **yağ** olmuştur.
  - **Yüksek karbonhidrat** diyeti uygulayan kişilerde ise özellikle egzersizin başında çok büyük miktarda **karbonhidrat** kullanılmıştır. Egzersiz devam ettikçe yağ metabolizmasına yönelim olmuştur ve yorgunluk oluşmadan 4 saat süresince koşabilmişlerdir.

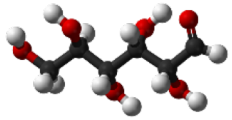


* Bowers, R.W. Fxox, E.L. (1988). Sports Physiology, 3rd Edition Dubuque, Iowa: Wm.C. Brown Publishers, S. 55-71.

Karbonhidrat Yakıtlarının Biçimleri

- **Karbonhidrat** terimi tüm şeker ve nişastalar için kullanılır. Yapıtaşları **glukoz**, depo şekli hayvanlarda **glikojen**, bitkilerde ise **nişastadır**.
- Glukoz bildiğimiz şekerdir ve vücutta kullanılabilen temel karbonhidrattır. Alınan hemen hemen bütün karbonhidratlar kullanılmadan önce **glukoza** (kan şekeri) dönüştürülürler.
- Kasa kan yoluyla iletilen glukozun bir kısmı glikojene dönüştürülerek kasın içinde depolanır. Glikojen, kimyasal olarak bağlanmış bir grup glukoz molekülüdür *.

Glukoz



Kas Glikojeni

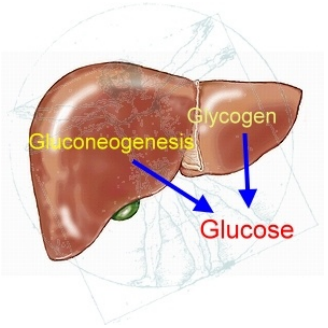


* Mc Ardle, W.D., Katch, F.I., Katch, V.L. (1981). Exercise Physiology, Energy, Nutrition and Human Performance, Philadelphia: Lea and Febiger, S. 4-47.
Bowers, R.W. Fxox, E.L. (1988). Sports Physiology, 3rd Edition Dubuque, Iowa: Wm.C. Brown Publishers, S. 55-71.

Karbonhidrat Yakıtlarının Biçimleri

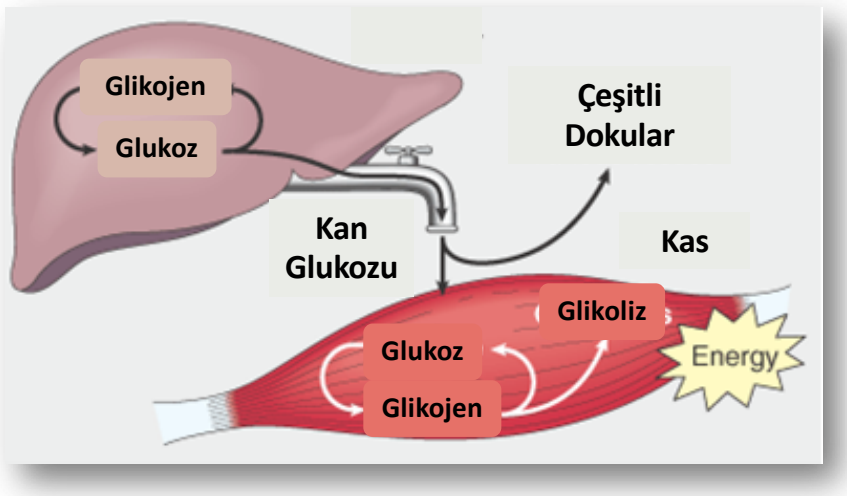
- Dinlenme sırasında iskelet kasları tarafından kandan alınan glukoz miktarı azdır. Fakat uzun süreli egzersizler sırasında kandan alınan glukoz miktarı, oksijen sistemi tarafından kullanılan toplam yakıtın %30-40'ına kadar yükselir.
- Glukoz **beyin** için gerekli temel yakıt kaynağı olduğundan, yeterli kan şekeri miktarının korunması her zaman önemlidir.
- Kandaki glukoz seviyesi diyetle alınan karbonhidrat düzeyiyle bağlantılıdır.
- **Karaciğer** yüksek miktarda glikojen depolar; kandaki glukoz seviyesi düştüğünde karaciğerdeki glikojen parçalanır ve kana glukoz olarak verilir. Yüksek olduğunda ise karaciğerde glikojen olarak depolanır.





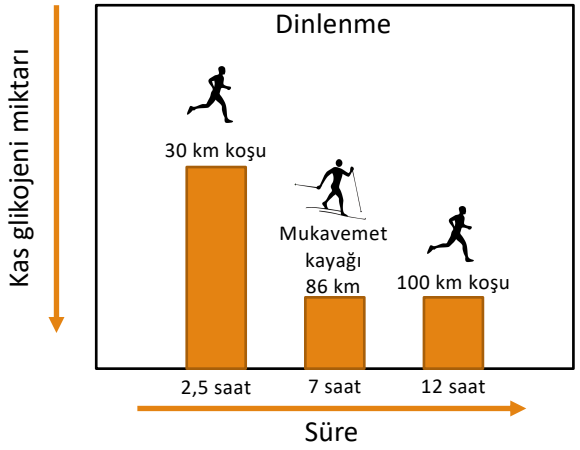
Karbonhidrat Yakıtlarının Biçimleri

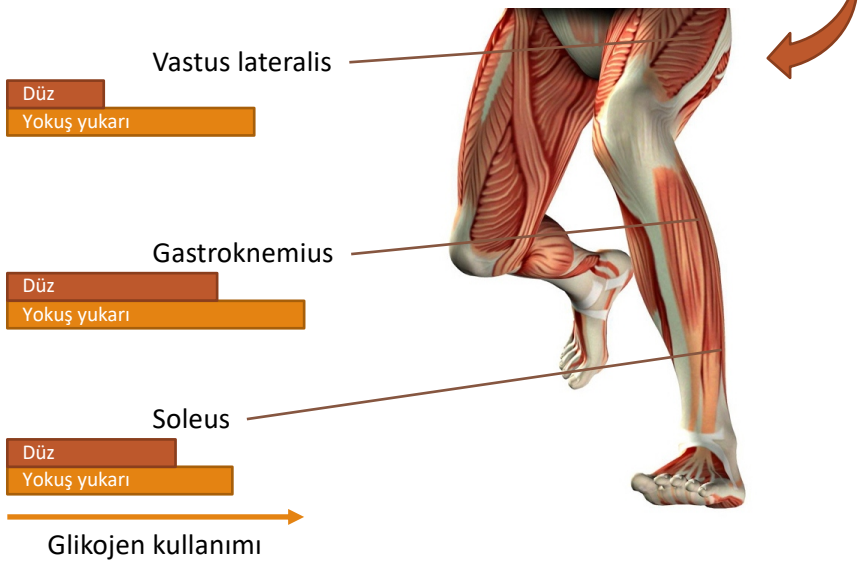
- Uzun süreli egzersizler sırasında kan şekerinin en önemli kaynağı **karaciğer glikojeninin** parçalanmasıdır.
- Kasta veya karaciğerde depolanmış olan glikojen, kanı direkt olarak glukoz ile besleyemez. Öncelikle glikojenin glikoliz yolu ile parçalanması gerekir.



Kas Glikojeni Tüketimi

Egzersizin tipi kaslarda kullanılan glikojen miktarını etkiler. Belirli bir kasta kullanılan glikojen miktarı, o kasın egzersiz sırasında ne kadar çalıştırıldığına da bağlıdır *.

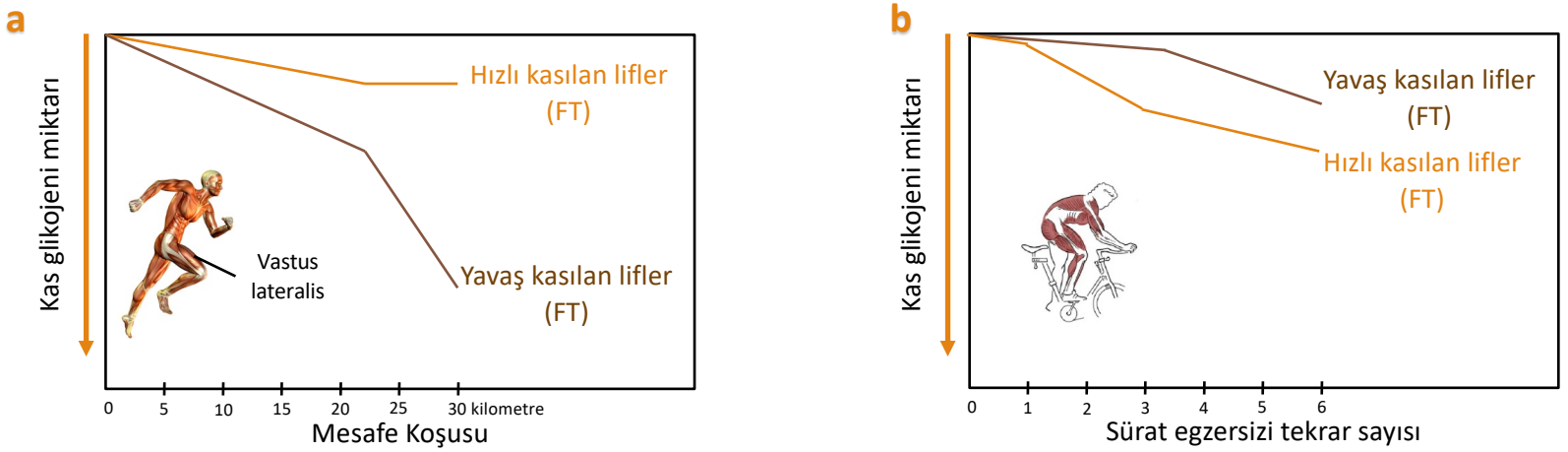




* Bowers, R.W. Fxox, E.L. (1988). Sports Physiology, 3rd Edition Dubuque, Iowa: Wm.C. Brown Publishers, S. 55-71.

Kas Glikojeni Tüketimi

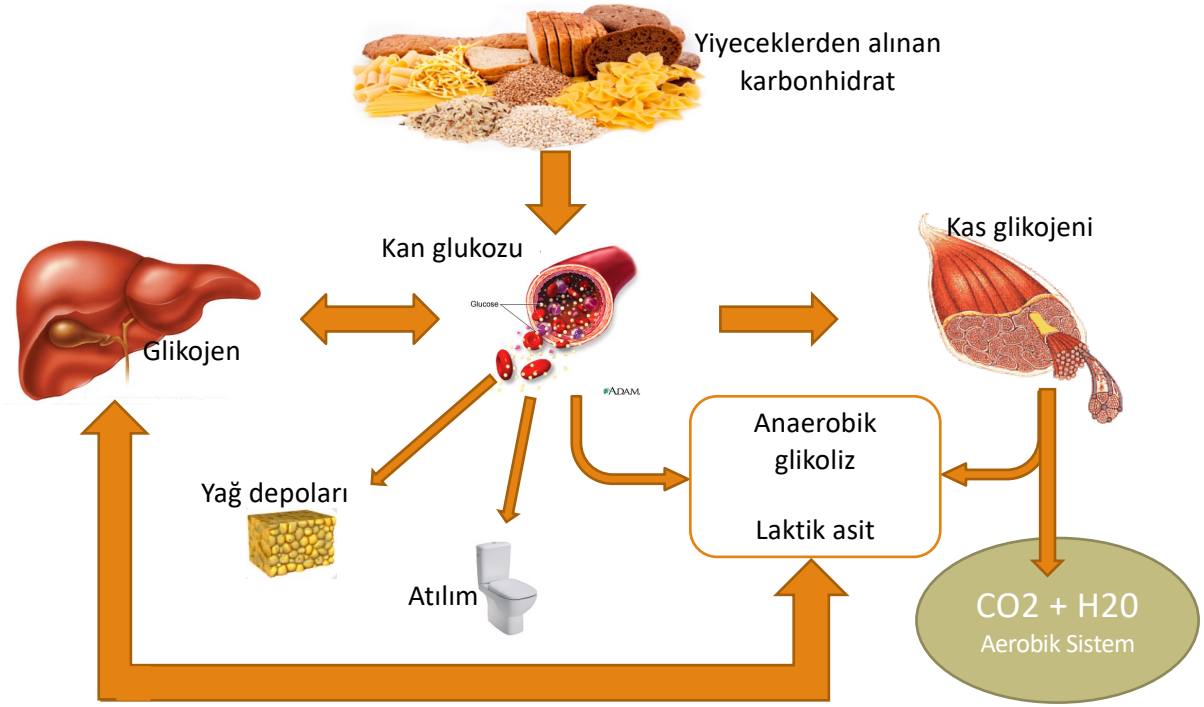
Egzersizin tipi ile ilgili olan ve kastaki glikojen kullanımına etki eden diğer bir faktör de egzersiz sırasında çalıştırılan kas lifinin veya motor ünitenin tipidir.



30 km koşu (a) ve tekrarlanan sürat egzersizi (b) sırasında hızlı kasılan (FT) ve yavaş kasılan (ST) liflerdeki kas glikojen tüketimi. Glikojen tüketimi 30 km koşu sırasında yavaş kasılan liflerde oldukça yüksek olmaktaır. Sürat egzersizi sırasında da hızlı kasılan liflerde glikojen tüketimi daha fazla olmaktadır. Bu verilerden yavaş kasılan kas liflerinin uzun süreli egzersizlerde, hızlı kasılan kas liflerinin ise kısa süreli sürat tipindeki egzersizler sırasında daha fazla kullanıldığı sonucuna varılabilir *.

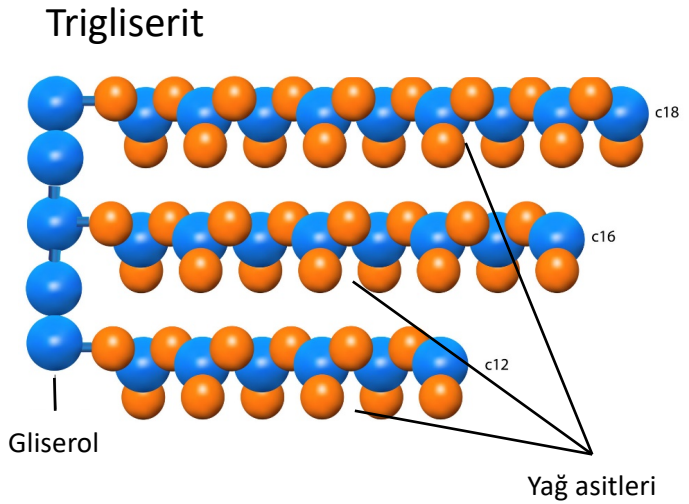
* Bowers, R.W. Fxox, E.L. (1988). Sports Physiology, 3rd Edition Dubuque, Iowa: Wm.C. Brown Publishers, S. 55-71.

Kan Glukozu, Karaciğer ve Kas Glikojeni Arasındaki İlişki



Yağların Yakıt Olarak Kullanımı

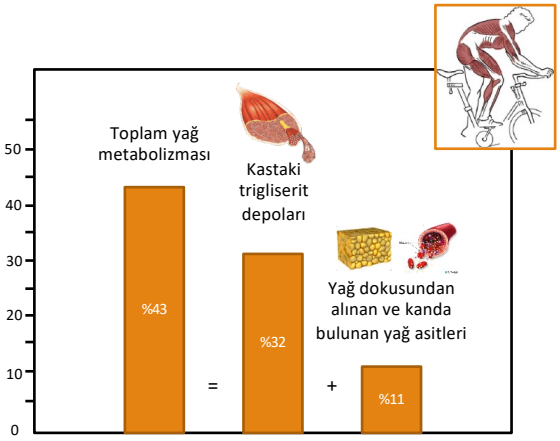
- Diyet yoluyla alınan yağlar parçalanarak **yağ asitleri** (YA) ve **gliserole** dönüştürülürler *.
- Yağ asitleri ince bağırsak hücreleri tarafından emildikten sonra **trigliseritlere** (TG) dönüşür. TG'ler 1 mol gliserol ve 3 mol yağ asiti içerir. TG'ler YA'nın depo halidir ve yağ dokularıyla iskelet kaslarında bulunur.
- Kaslar tarafından ihtiyaç duyulduğunda, yağ asitleri yağ dokularındaki TG depolarından alınır ve kan yoluyla kaslara gönderilir.



TG'ler parçalandığında 1 mol gliserol ve 3 mol yağ asidi ortaya çıkar **

* Mc Ardle, W.D., Katch, F.I., Katch, V.L. (1981). Exercise Physiology, Energy, Nutrition and Human Performance, Philadelphia: Lea and Febiger, S. 4-47.
** Bowers, R.W. Fxox, E.L. (1988). Sports Physiology, 3rd Edition Dubuque, Iowa: Wm.C. Brown Publishers, S. 55-71.

Yağların Yakıt Olarak Kullanımı

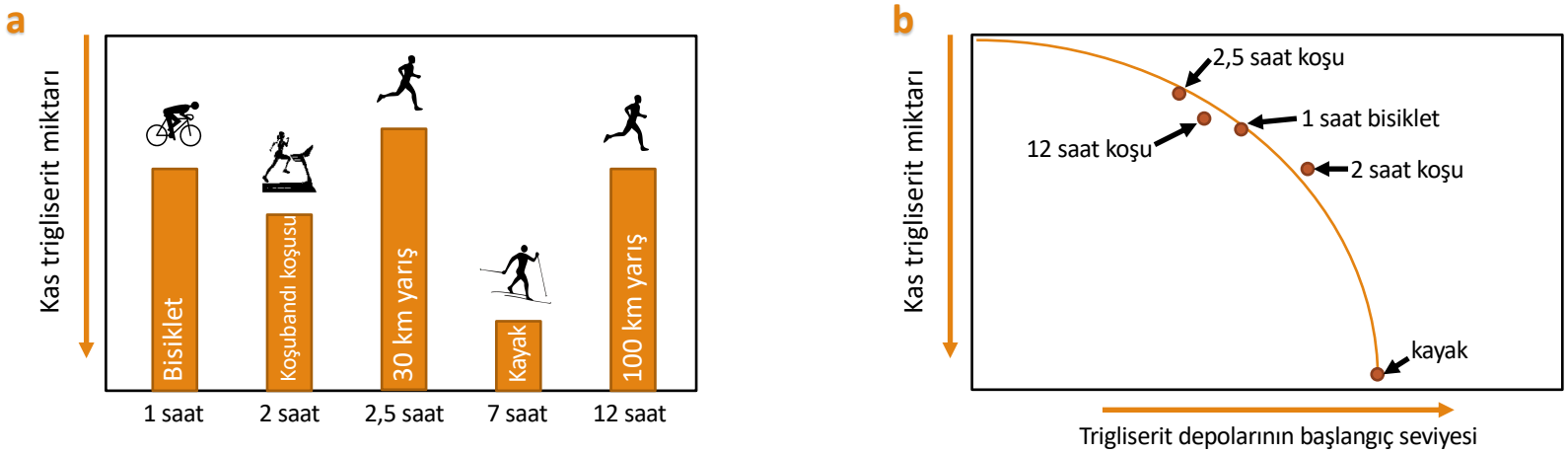


1 saat süren submaksimal bir bisiklet egzersizi sırasında bacak kaslarında oluşan metabolizmanın **%32'sini kaslarda** bulunan trigliserit depoları, **%11'ini kandan** gelen serbest yağ asitlerinin oksidasyonu oluşturur. *

* Bowers, R.W. Fxox, E.L. (1988). Sports Physiology, 3rd Edition Dubuque, Iowa: Wm.C. Brown Publishers, S. 55-71.

Yağların Yakıt Olarak Kullanımı

1 – 12 saat arasında değişen sürelerdeki farklı aktivitelerde kas TG depolarının tüketimi.

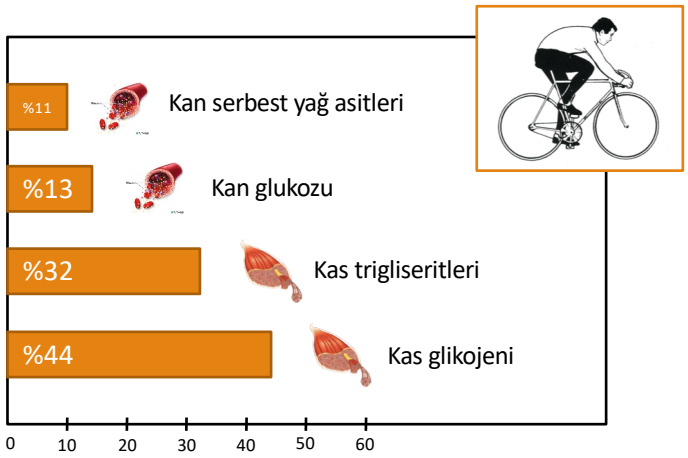


(a) Kas trigliserit depolarının boşalması egzersizin süresi ile ilişkili gözükmemektedir. (b) Kas TG depolarının seviyesi egzersizden önce ne kadar yüksek ise, egzersiz sırasında kullanılacak TG miktarı da o kadar yüksek olacaktır *.

* Bowers, R.W. Fxox, E.L. (1988). Sports Physiology, 3rd Edition Dubuque, Iowa: Wm.C. Brown Publishers, S. 55-71.

Egzersiz Tipine Bağlı Olarak Gerekli Yakıtın Sağlanması

❖ Dayanıklılık egzersizleri için gerekli yakıtlar: Tüm yakıt kaynakları bir arada ve **1 saatlik submaksimal** düzeyde pedal çevirme gibi bir egzersizde metabolizmaya olan katkıları açısından incelendiğinde *, **kaslardaki glikojen ve TG** depolarının **yakıtın %76'sını**, **kandaki yakıtların** (yağ asitleri ve glukoz) ise kalan **%24'ünü** oluşturdukları görülmektedir.



* Bowers, R.W. Fxox, E.L. (1988). Sports Physiology, 3rd Edition Dubuque, Iowa: Wm.C. Brown Publishers, S. 55-71.
Essen, B. (1977). Intramuscular substrate utilization during prolonged exercise. Ann. N.Y. Acad. Sci., 301: 30-44.

Egzersiz Tipine Bağlı Olarak Gerekli Yakıtın Sağlanması

❖ Sürat tipindeki egzersizler için gerekli yakıtlar: Kısa süreli-yüksek şiddetteki egzersizler için durum daha basittir. Bu durumda en önde gelen yakıt kas glikojenidir. Birkaç saniye süren aktivitelerdeki en önemli yakıt ise CP'dir. Çünkü kanda bulunan veya depolanmış olan yakıtlar bu kadar kısa süreli egzersizler sırasında metabolizmaya katılmaya zaman bulamazlar *.

* Bowers, R.W. Fxox, E.L. (1988). Sports Physiology, 3rd Edition Dubuque, Iowa: Wm.C. Brown Publishers, S. 55-71.
Essen, B. (1977). Intramuscular substrate utilization during prolonged exercise. Ann. N.Y. Acad. Sci., 301: 30-44.

Sunum sonu ☺

Toparlanma Süreci

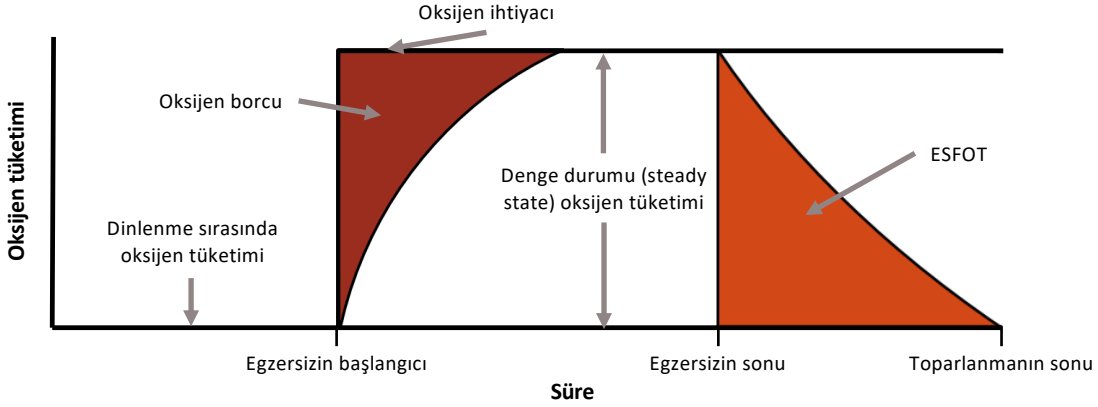
Toparlanma

- Herhangi bir egzersizden sonra organizmanın normale (istirahat düzeyine) dönme süreci **toparlanma** olarak değerlendirilir.
- Toparlanma sırasında oluşan olaylar, egzersiz sırasında meydana gelen olaylar kadar önemlidir.
  - Örneğin, egzersizler arasında veya müsabaka aralarında toparlanma yeterli olmaz ise, bu durum performansta bir azalmaya yol açar.



Oksijen Borçlanması

- Egzersizden sonraki toparlanma periyodu sırasındaki enerji ihtiyacı, egzersiz sırasındaki enerji ihtiyacından daha azdır. Fakat toparlanma sırasında oksijen tüketimi belirli bir süre daha yüksek olmaya devam eder. Bu süre kısmen yapılan egzersizin şiddeti ile ilişkilidir *.
- İstirahat sırasında aynı süre için harcanması gereken oksijen miktarının üzerinde olan, toparlanma sırasında harcanan oksijen miktarına **oksijen borçlanması** veya **toparlanma sırasındaki oksijen tüketimi** veya **egzersiz sonrası fazla oksijen tüketimi (ESFOT)** adı verilir.



* Fox, E.L., Bowers, R.W., Foss, M.L. (1989). The Physiological Basis of Physical Education and Athletics, 4th edition, Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers, S. 40-57.
Powers, S.K., Howley, E.T. (1990). Exercise Physiology. Theory and Application to Fitness and Performance, Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers, S. 61-65.
Wilmore, J.H., Costill, D.C. (1994). Physiology of Sport and Exercise, Champaign, IL: Human Kinetics, S. 107-119, 350-357.

Oksijen Borçlanması

- Oksijen borçlanması olayı, toparlanma sırasında tüketilen bu yüksek oksijen miktarının, vücudun tekrar egzersiz öncesi duruma geri getirilmesi için gerekli enerjiyi sağlamak amacıyla kullanılması durumudur.
  - Örneğin, boşalan enerji depolarının tekrar doldurulması ve egzersiz sırasında biriken laktik asidin vücuttan uzaklaştırılması için O_2 kullanılır.

Birçok kişi **oksijen borçlanmasını**, toparlanma sırasında harcanan bu fazla oksijenin, egzersiz sırasında vücudun başka yerlerinden borç olarak alınan oksijeni yerine koymak için harcanması şeklinde **yanlış yorumlar**.
Aslında maksimal bir egzersiz sırasında kasların kendi içinde ve venöz kanda oksijen depolarından eksilen O_2 miktarı yaklaşık 0,6 litredir. Toparlanma sırasında harcanan net O_2 miktarı bu değerden yaklaşık 30 kere daha fazladır.*

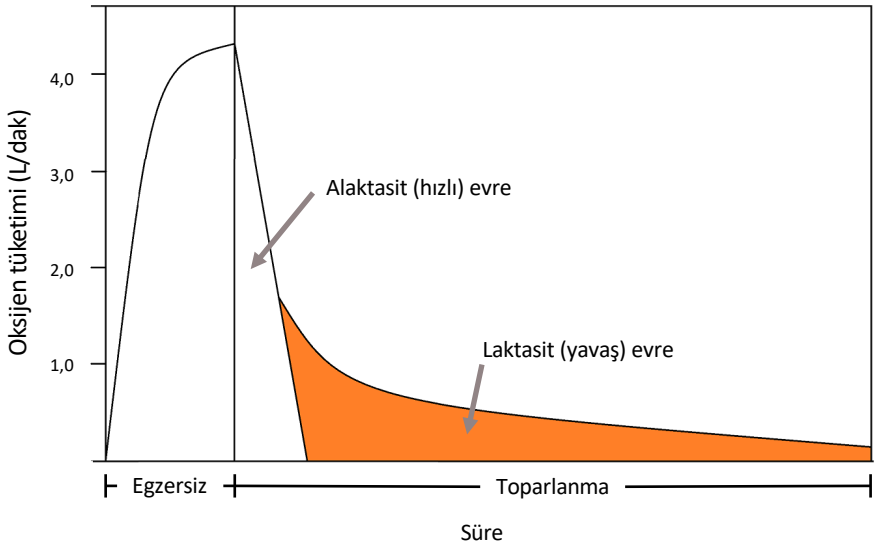


* Fox, E.L., Bowers, R.W., Foss, M.L. (1989). The Physiological Basis of Physical Education and Athletics, 4th edition, Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers, S. 40-57.
Lamb, D.R. (1978). Physiology of Exercise, Responses and Adaptations, 2nd edition, Newyork: Macmillan Publishers Company, S. 81-88, 103-107.

Oksijen Borçlanması

Oksijen borçlanması iki bölümden oluşur:

- Yavaş bölümü, **laktasit bölüm** olarak da bilinir, egzersiz sırasında kaslarda ve kanda biriken **laktik asidin uzaklaştırılması** için gerekli enerji ile ilgilidir.
- Hızlı kısmı ise **alaktasit bölüm** olarak adlandırılır ve **kas fosfojenlerinin tekrar doldurulması**nda kullanılan enerji için gerekli olan oksijeni sağlar.*



* Bowers, R.W. Fxox, E.L. (1988). Sports Physiology, 3rd Edition Dubuque, Iowa: Wm.C. Brown Publishers, S. 55-71.
Fox, E.L., Bowers, R.W., Foss, M.L. (1989). The Physiological Basis of Physical Education and Athletics, 4th edition, Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers, S. 40-57.

Kas Fosfojenlerinin Yenilenmesi

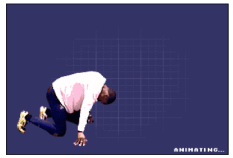
Fosfojen depolarının yenilenmesi oldukça hızlıdır:

- Egzersiz sırasında kullanılan ATP ve CP'nin büyük bir bölümünün **2 dakika** içinde, **tamamının ise 3 – 5 dakika** içinde kaslarda tamamen yenilenmektedir.
- Egzersiz sırasında kullanılan fosfojenlerin **yarısı 20 – 30 saniye** arasında yerine konmaktadır.
- Fosfojen depolarının çabuk yenilenmesi, ATP ve CP depolarına bağlı performanslara katılan sporcuların 2 – 3 dakika içinde tamamen toparlanmış olacakları anlamına gelir.



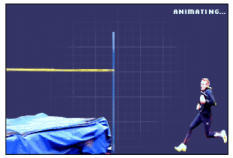








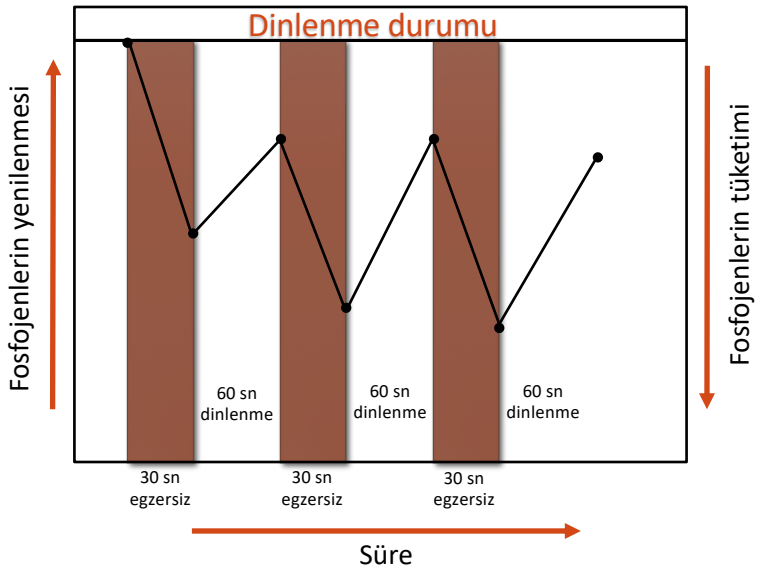






Kas Fosfojenlerinin Yenilenmesi

- Aralıklı yapılan egzersiz tipleri sırasında da fosfojen depolarının yenilenmesi çok önemlidir.
- Aralıklı egzersizler sırasında egzersiz şiddetinin düştüğü zamanlar çok kısa süreli olmasına rağmen **dinlenme** olarak nitelendirilir.
  - Bu süre içinde bir miktar fosfojen deposu yenilenir ve bir sonraki egzersiz periyodunda veya egzersiz şiddeti arttığında kullanılır.
  - Bazen yorgunluğa neden olan laktik asidin birikmesini engelleme veya geciktirme konusunda oldukça önemli rol oynarlar.

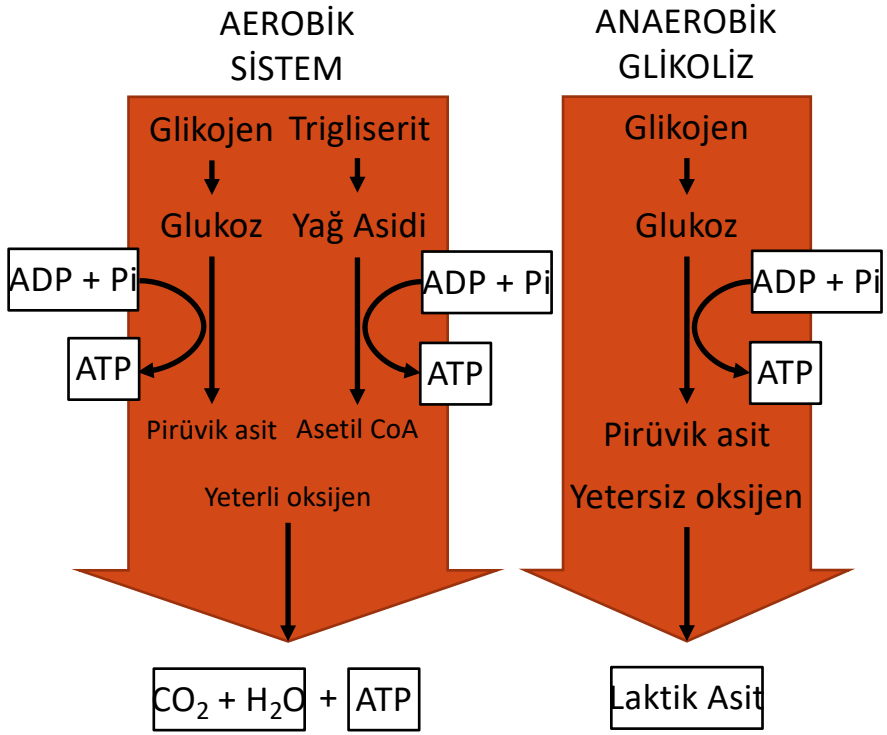


Aralıklı egzersizler sırasında fosfojen tüketimi ve yenilenmesi. Bu bisiklet egzersizi sırasında egzersiz süresi 30 sn, dinlenme süresi ise 60 sn olarak alınmıştır.*

* Bowers, R.W. Fxox, E.L. (1988). Sports Physiology, 3rd Edition Dubuque, Iowa: Wm.C. Brown Publishers, S. 55-71.

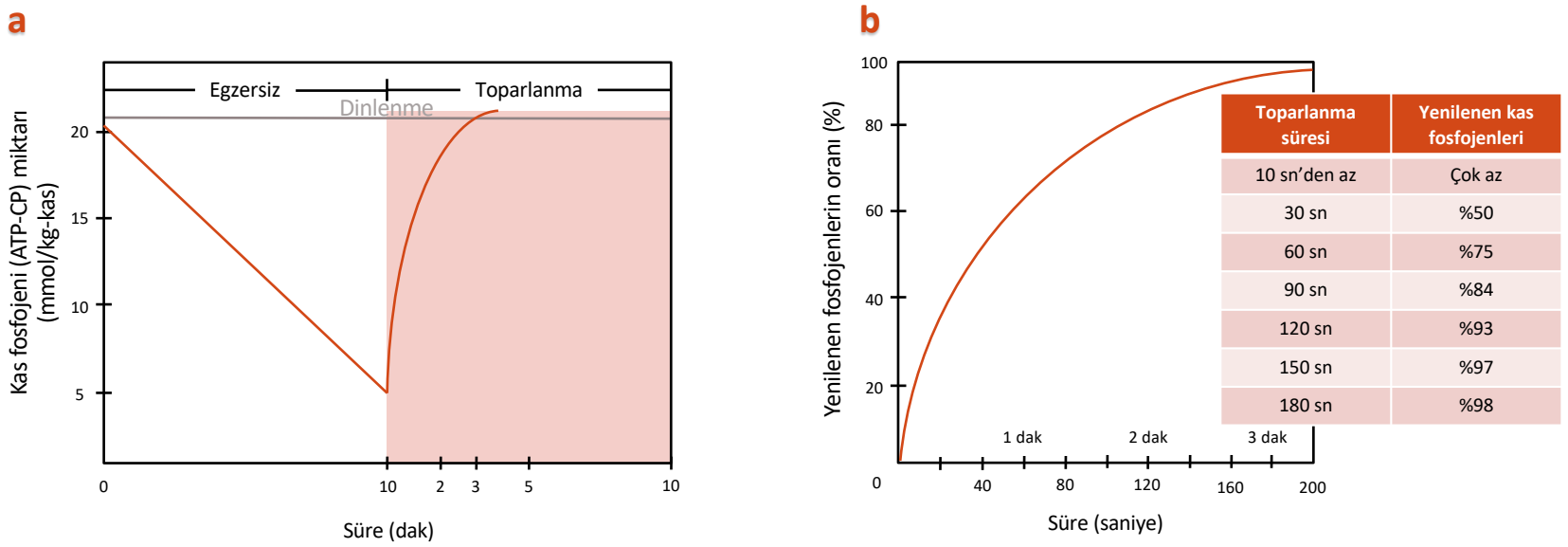
Kas Fosfojenlerinin Yenilenmesi

- ATP ve CP depolarının toparlanma sırasında yenilenmesi enerji gerektirir. Bu enerji büyük miktarda **karbonhidrat** ve **yağların** oksijen sisteminde parçalanmaları yolu ile elde edilir.
- Sentezlenen ATP'nin bir kısmı direkt olarak kasların içinde depolanır. Bir kısım enerji ise CP sentezlenmesi için kullanılır ve sentezlenen CP yine kaslarda depolanır. *



* Fox, E.L., Bowers, R.W., Foss, M.L. (1989). The Physiological Basis of Physical Education and Athletics, 4th edition, Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers, S. 40-57.
Powers, S.K., Howley, E.T. (1990). Exercise Physiology. Theory and Application to Fitness and Performance, Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers, S. 61-65.
Wilmore, J.H., Costill, D.C. (1994). Physiology of Sport and Exercise, Champaign, IL: Human Kinetics, S. 107-119, 350-357.

Kas Fosfojenlerinin Yenilenmesi

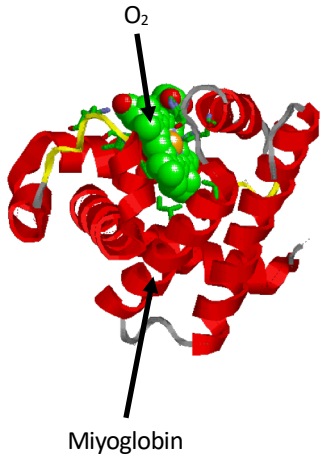


Toparlanma süresi	Yenilenen kas fosfojenleri
10 sn'den az	Çok az
30 sn	%50
60 sn	%75
90 sn	%84
120 sn	%93
150 sn	%97
180 sn	%98

(a) Egzersiz sırasında kullanılan ATP ve PC'nin büyük bir bölümü 2 – 3 dakika da kas içinde yenilenir.
(b) Kullanılan fosfojenlerin %50'si yaklaşık 20 – 30 saniye içinde tekrar sentezlenir.*

Miyoglobinin O_2 ile Yeniden Doldurulması

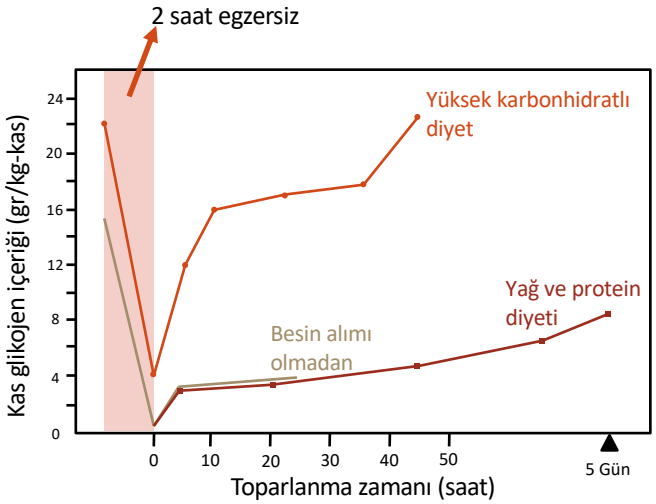
- Miyoglobin iskelet kasının içinde bulunan, **oksijenin depolanması** ve kas içinde **taşınması** görevini üstlenen bir proteindir. Yavaş kasılan kas liflerinde, hızlı kasılan kas liflerine oranla çok daha fazla bulunur ve yavaş kasılan kas liflerine kırmızı rengi de verir.*
- O_2 – miyoglobin depoları, kaslar için gerekli olan oksijeni en acil şekilde sağlar.
  - Örneğin, egzersizin başlangıcında, daha O_2 taşıma sistemi (solunum ve dolaşım sistemleri) hazır değilken miyoglobine bağlı O_2 harcanır.
- Miyoglobin O_2'nin kapiller damarlardan **mitokondrinin içine difüze olmasına** yardımcı olur.
- Egzersiz sırasında **O_2'nin** kas içindeki **kısmi basıncı düşer** ve bundan ötürü miyoglobine bağlı olan **O_2 serbest kalır** ve mitokondriye geçerek kullanılır. Dinlenme sırasında ise **O_2'nin kısmi basıncı yükselir** ve bu olaylar ters yönde gerçekleşir. Bu durum miyoglobinin tekrar O_2 ile dolmasını sağlar.**
- Oksijen borçlanmasının hızlı geri ödeme döneminde alınan oksijen, **fosfojen depolarını yenilemek** ve **miyoglobin depolarının tekrar doldurulması** için kullanılır.



* Wilmore, J.H., Costill, D.C. (1994). Physiology of Sport and Exercise, Champaign, IL: Human Kinetics, S. 107-119, 350-357.
** Bowers, R.W. Fxox, E.L. (1988). Sports Physiology, 3rd Edition Dubuque, Iowa: Wm.C. Brown Publishers, S. 55-71.
Fox, E.L., Bowers, R.W., Foss, M.L. (1989). The Physiological Basis of Physical Education and Athletics, 4th edition, Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers, S. 40-57.

Kas Glikojeninin Yenilenmesi

- Glikojen depolarının toparlanma sırasında tekrar dolması, **alınan diyet**, **yapılan egzersizin şiddeti** ve **süresi** gibi faktörlere bağlıdır.
  - Egzersizden sonra alınan diyette karbonhidrat oranının yüksek olması durumunda depolar daha hızlı dolmaktadır.
  - Yüksek miktarda alınmadığı zaman egzersizden 5 gün sonra bile hala çok az miktarda glikojen yerine konulabilmektedir.
  - Yüksek miktarda alımında bile glikojen depoları tam olarak 46 saat sonra dolabilmektedir.*

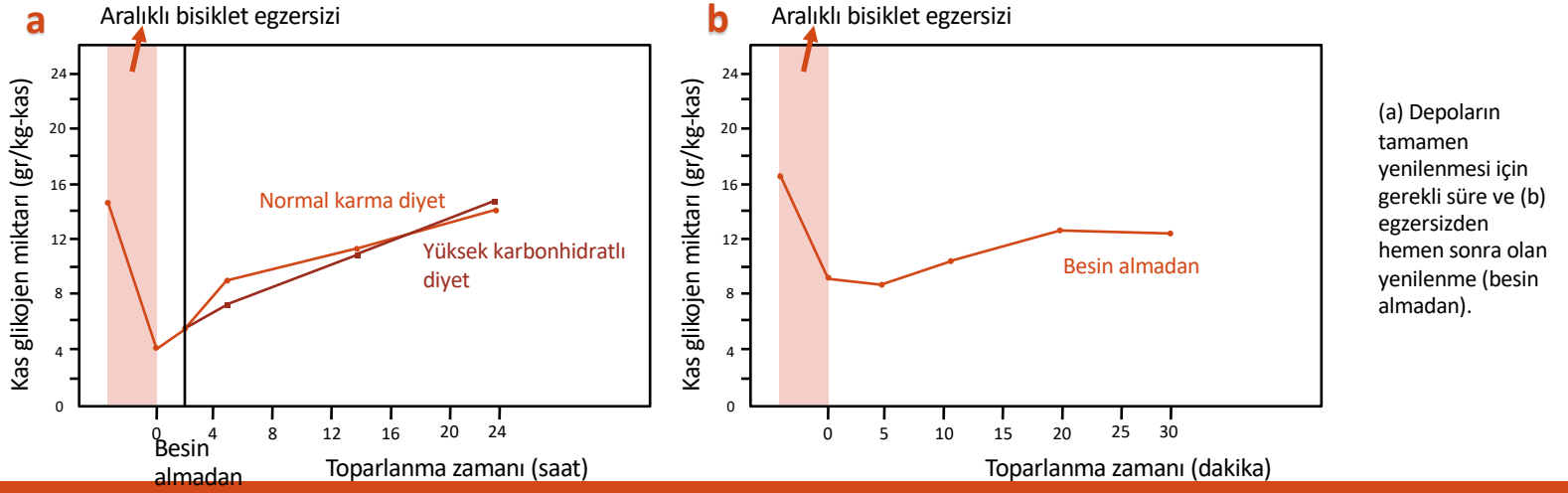


Uzun süreli bir egzersizden sonra alınan besinlerin kas glikojen depolarının yenilenmesine olan etkileri

* Wilmore, J.H., Costill, D.C. (1994). Physiology of Sport and Exercise, Champaign, IL: Human Kinetics, S. 107-119, 350-357.
Bowers, R.W. Fxox, E.L. (1988). Sports Physiology, 3rd Edition Dubuque, Iowa: Wm.C. Brown Publishers, S. 55-71.
Hultman, E., Bergstrom, J. (1967). Muscle glycogen synthesis in relation to diet studied normal subjects. Acta Med. Scand., 182: 109-117.

Kas Glikojeninin Yenilenmesi

- **Kısa süreli – şiddetli, aralıklı egzersizlerden** sonra gerçekleşen glikojen depoları yenilenmesi daha farklı bir görüntü sergiler.
  - Bu tip egzersizlerde **hiçbir yiyecek alınmadığı** halde dahi glikojenin önemli bir kısmı egzersizden sonraki **2 saat içerisinde** tekrar yerine konur.*
  - **Yüksek karbonhidratlı** veya **normal karma** (karbonhidrat-yağ-protein) diyet olmasının glikojen depolarının daha hızlı dolması açısından fazla bir **önemi yoktur**.
  - **Normal** veya **yüksek karbonhidratlı diyet** ile karbonhidrat depolarının **tamamen dolması 24 saat** gibi bir süre gerektirir. Glikojen depolarının tekrar yenilenmesi toparlanmasının **ilk 5 saatinde daha hızlı**dır.



(a) Depoların tamamen yenilenmesi için gerekli süre ve (b) egzersizden hemen sonra olan yenilenme (besin almadan).

* Fox, E.L., Bowers, R.W., Foss, M.L. (1989). The Physiological Basis of Physical Education and Athletics, 4th edition, Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers, S. 40-57.
Mc Dougall, J.D. Ve arkadaşları (1977). Muscle glycogen repletion after high-intensity intermittent exercise. J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol., 42: 129-132.

Kas Glikojeninin Yenilenmesi

- **Dayanıklılık sporcularının**, uzun süreli egzersizlerden sonra glikojen depolarının tam olarak dolabilmesi için, **yüksek karbonhidratlı yiyecekler** almaları ve bunun için de **2-3 gün** süre ayırmaları gerekmektedir. Eğer bu süre verilemiyorsa en azından **10 saat** gibi bir süre ayrılmalıdır.
- **Dayanıklılık sporcusu olmayanların** kısa süreli maksimal egzersizlerden sonra glikojen depolarının yenilenmesi için **normal bir diyet** almaları ve bunun için de **1-2 gün** süre vermeleri yeterlidir. Eğer bu süre verilemiyorsa en azından **5 saat** gibi bir süre ayrılmalıdır.
- Aralıklı egzersizlerde, toparlanmanın ilk iki saatinde yiyecek alımı olmadan da bir miktar glikojen sentezlenmektedir. Bu durum, devamlı tekrarlanan egzersizler sırasında olabilecek glikojen deposu tükenmesini geciktirmeye yardımcı olur.



Glikojen Yüklemesi

Glikojen yüklemesi, kas glikojen depolarının olağanüstü bir şekilde dolmasına yol açan bir diyet biçiminin uygulamasıdır.

Yaklaşık 2-3 gün süren ve **karbonhidrat** depolarının **tamamen tüketimine** yol açan şiddetli bir egzersizden sonraki ilk üç gün içerisinde sporcu **yüksek karbonhidratlı yiyecekler** alır ve böylelikle kas glikojen depoları **normalin üstünde** yenilenir.*



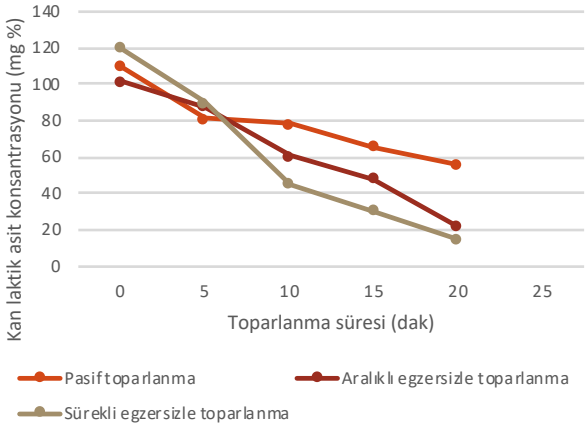
(a) Egzersiz sonrası karaciğer glikojeni önemli ölçüde azalır. (b) Bu egzersiz sonrasında karbonhidrat alımı tamamen durdurulur ise karaciğer glikojen depoları daha da azalır. Bu durumun hemen ardından yüksek miktarda karbonhidrat alımı gerçekleşirse karbonhidrat depoları belirgin miktarda dolar.**

* Fox, E.L., Bowers, R.W., Foss, M.L. (1989). The Physiological Basis of Physical Education and Athletics, 4th edition, Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers, S. 40-57.
** Bowers, R.W. Fxox, E.L. (1988). Sports Physiology, 3rd Edition Dubuque, Iowa: Wm.C. Brown Publishers, S. 55-71.

Laktik Asidin Uzaklaştırılması

- Kaslarda ve kanda biriken **laktik asidin yorgunluğa** neden olmasından dolayı bu laktik asidin uzaklaştırılması, laktik asit sistemine bağlı egzersiz yapan sporcuların daha çabuk toparlanmalarını sağlar.

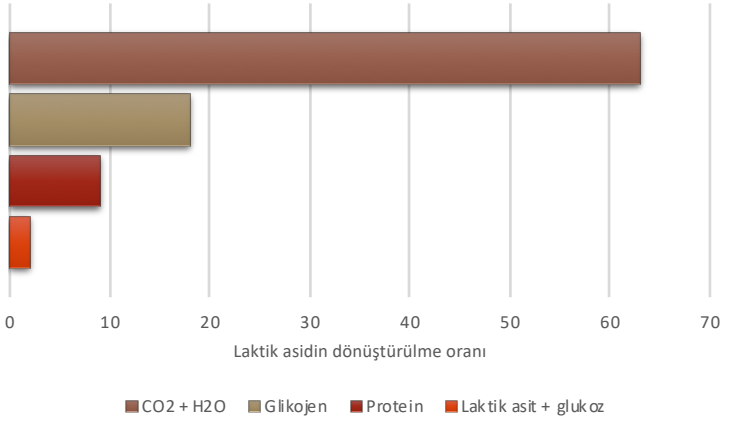
- Laktik asit düzeyinin kas ve kanda normal istirahat değerlerine erişmesi için **en az bir saat** veya daha uzun bir zaman periyodu gereklidir.
  - Şiddetli bir egzersiz sonrası yapılan **hafif egzersizler**in (yürüme, hafif koşu gibi), pasif dinlenmeye oranla laktik asidin kaslardan ve kandan **daha çabuk uzaklaştırılmasını** sağlamaktadır.
  - **Sadece pasif dinlenme** yapıldığında, laktik asidin uzaklaştırılması için **en az iki saat** veya daha uzun bir süre gerekmektedir.
  - Hafif egzersizlerin **sürekli** şekilde yapılması, **aralıklı** şekilde yapılmasına oranla laktik asidi metabolize etmede **daha etkilidir**.



Pasif ve aktif dinlenmeler sırasında kan laktik asit miktarsındaki azalma

Laktik Asidin Uzaklaştırılması

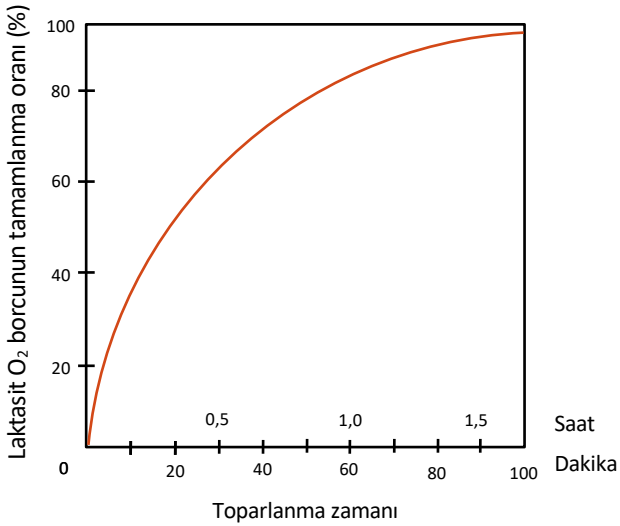
- Laktik asidin kaslardan ve kandan uzaklaştırılması işlemi enerji gerektirir. Bu enerji, oksijen borçlanmasının yavaş kısmında tüketilen oksijenin kullanılması ile elde edilir.
- Kandan ve kastan uzaklaştırılan laktik asit toparlanma sırasında **glukoza**, **proteine**, **glikojene** veya **CO_2** ve **H_2O**'ya dönüştürülür.
- Laktik asit metabolik enerji olarak kullanılır ve aerobik olarak parçalanması ile ATP yapımı için gerekli enerji sağlanır. İskelet kası, kalp kası, karaciğer ve böbrekler, laktik asidi yakıt olarak kullanabilirler.*



* Bowers, R.W. Fxox, E.L. (1988). Sports Physiology, 3rd Edition Dubuque, Iowa: Wm.C. Brown Publishers, S. 55-71.
Brooks, G.A., Brauner, K.F., Cassens, R.G. (1973). Glycogen synthesis and metabolism of lactic acid removal rates. Med.Sci. Sports, 8: 176-178.

Laktik Asidin Uzaklaştırılması

- Laktik asidin CO_2 ve H_2O'ya metabolize edilmesinin dışında, diğer moleküllere dönüşmesi ayrıca bir enerji gerektirir.
- Bu enerjinin bir kısmı yine oksijen borçlanmasının yavaş kısmında (laktasit bölüm) harcanan O_2'nin aerobik sistemde kullanılması sayesinde elde edilir.
- **Oksijen borçlanmasının** yavaş kısmının **%50'si ilk 15 dakika** içinde, **%75'i 30 dakika** içinde ve **%95'i ise bir saat** içinde geri ödenir.



Önerilen Toparlanma Süreleri

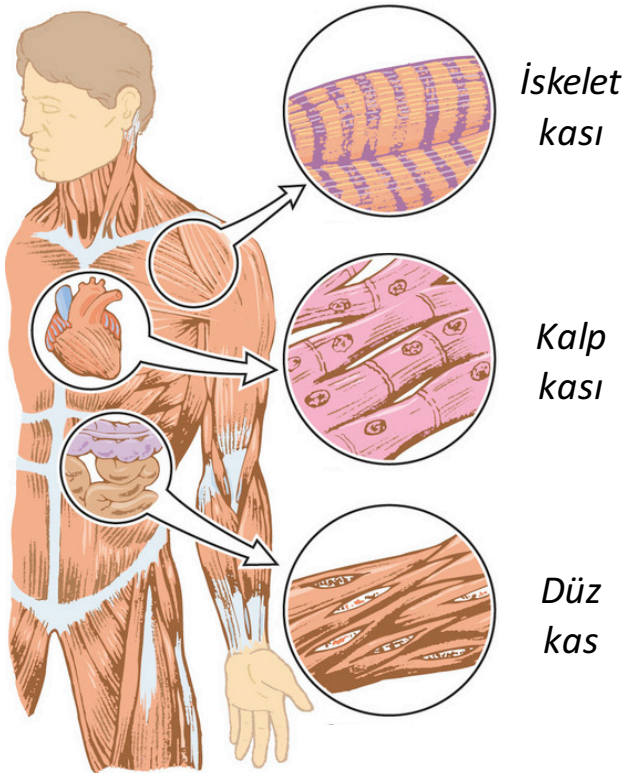
	MİNİMUM	MAKSİMUM
Kas fosfojenlerinin yenilenmesi (ATP-CP depoları)	2 dakika	3 dakika
Alaktasit (hızlı) oksijen borçlanması geri ödemesi	3 dakika	5 dakika
Miyoglobin oksijen depolarının yenilenmesi	1 dakika	2 dakika
Kas glikojeninin yenilenmesi Uzun süreli bir egzersizden sonra Aralıklı egzersizden sonra	 10 saat 5 saat	 46 saat 24 saat
Laktik asidin kaslardan uzaklaştırılması Hafif egzersiz ile Tam dinlenme ile	 30 dakika 1 saat	 1 saat 2 saat
Laktasit (yavaş) oksijen borçlanması geri ödemesi	30 dakika	1 saat

Sunum sonu ☺

Kas Sistemi ve Egzersiz

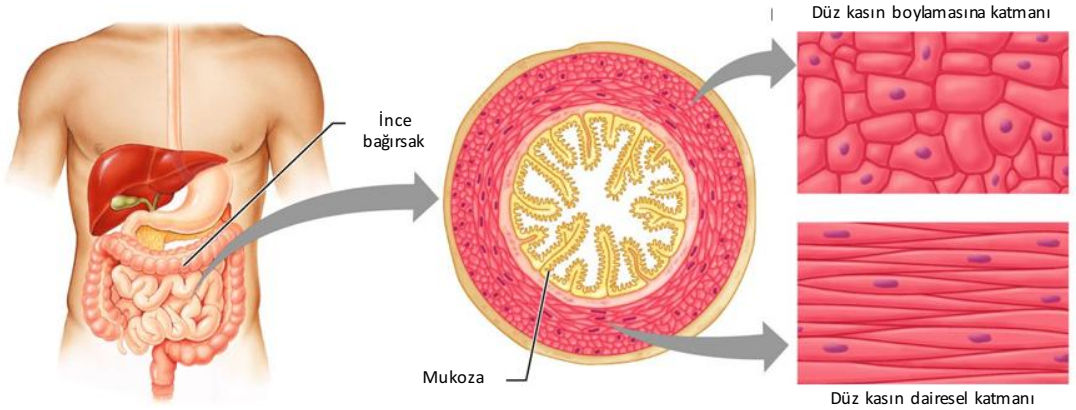
Kaslar

- Hareketlerimiz, ATP'nin içindeki kimyasal enerjinin **mekanik enerjiye** çevrilmesi ile gerçekleşir. Bu özel enerji transferi sonucu iskelet kaslarının hareketi meydana gelir.
- Vücudumuzda **3 tip** kas dokusu bulunur:
  - Düz kaslar: İç organların ve damarların duvarlarında bulunur.
  - Kalp kası: Sadece kalpte bulunur.
  - Çizgili, iskelet kası: İstemli kasılan, iskelet sisteminin hareketini sağlayan kaslardır.



Düz Kaslar

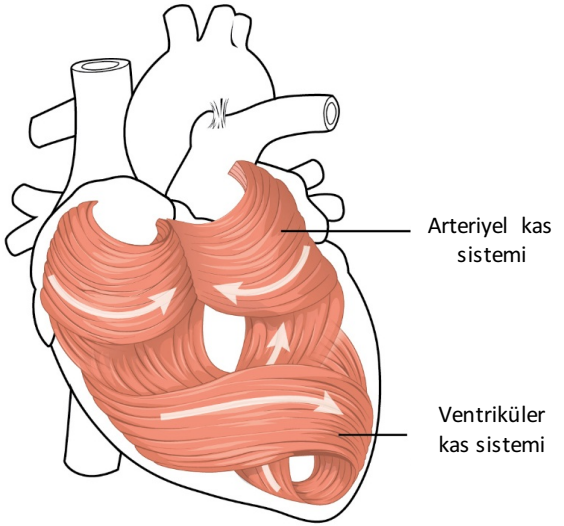
- **Otonom sinir sistemi** tarafından uyarılır ve bu nedenle **istem dışı**, **otomatik** olarak kasılır.
- Çizgili kaslara oranla daha **yavaş**, daha **ritmik** ve **süreklidir**. Genellikle uzun, iğ şeklindedir; ancak dış görünüşleri çevrelerindeki dokulara uyum sağlamak amacıyla belirli bir oranda değişebilir.
- Her lifin yalnız bir çekirdeği vardır ve troponin dışında iskelet kasında bulunan bütün kas proteinleri düz kaslarda bulunur.*



* Vander, A.J., Sherman, J.H., Luciano, D.S. (1990). Human Physiology, The Mechanisms of Body Function, International Edition, 5th edition, New Yor: McGraw-Hill Publishing Companu, S. 283-321

Kalp Kası

- Yalnızca kalpte bulunur ve iskelet kası gibi **sarkomer** içeren çizgili bir yapıya sahiptir. Ancak kalp kası lifleri daha kısadır ve dallanma gösterir.
- **Mitokondrileri** daha büyük ve fazladır.
- Yapısal olarak kalp kası diğer kas liflerinden temelde **sintisyum** adı verilen ağ örgüsü şeklinde birbiriyle iletişim halinde olan kas lifleri ile ayrılır.
- Kalp kası dışardan herhangi bir uyarı almaksızın **otomatik** ve **ritmik** olarak kasılır. Uyarıya bütün kasa yayılan, dalgalanmaya benzer bir kasılma ile cevap verir. İskelet kasında ise kuvvet oluşumu derecelendirilebilir.*



* Vander, A.J., Sherman, J.H., Luciano, D.S. (1990). Human Physiology, The Mechanisms of Body Function, International Edition, 5th edition, New Yor: McGraw-Hill Publishing Companu, S. 283-321

İskelet Kası

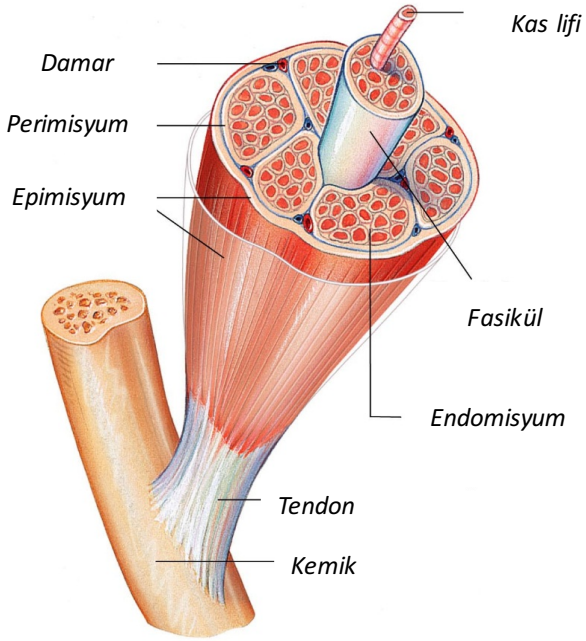
- Vücudunuzda **430**'dan fazla kas bulunur ve bunların her biri **fibröz** bağ dokusundan oluşan çeşitli kılıflara sahiptir. Her kas, **lif** (fibril) adı verilen binlerce silindirik kas hücresinden oluşur.
- Bu uzun, ince, çok nükleuslu lifler birbirlerine paralel olarak uzanırlar. Kasılma kuvveti, lifin uzun ekseni boyunca oluşur. Bir kasta ne kadar las lifinin olacağı kasın büyüklüğü ve yaptığı iş ile bağlantılıdır.*



* Mc Ardle, W.D., Katch, F.I., Katch, V.L. (1981). Exercise Physiology, Energy, Nutrition and Human Performance, Philadelphia: Lea and Febiger, S. 4-47.

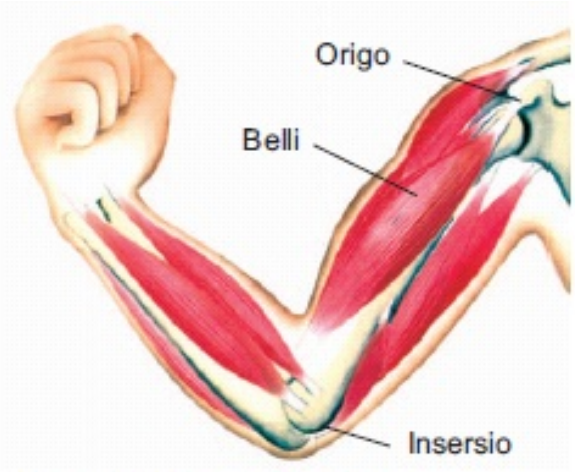
İskelet Kasının Fizyolojisi

- Her kas lifi **endomisyum** adı verilen bir bağ dokusu ile çevrelenerek diğer kas liflerinden ayrılır.
- **Fasikül** adı verilen kas lifi demetlerini çevreleyen bağ dokusu tabakasında **perimisyum** denir.
- **Fasia**, kasın tüm yüzeyini sarar ve bunun hemen altında kasın tamamını çevreleyen fibröz bağ dokudan oluşan dokuya ise **epimisyum** denir.
- Bu koruyucu kılıf distal uçlarda incelir ve kas içi doku tabakalarıyla birleşerek **tendon** adı verilen yoğun ve kuvvetli konnektif (bağ) dokuları oluşturur. Tendonlar kasların sonlandığı ve kemiklere bağlandığı kısımlardır.



İskelet Kasının Fizyolojisi

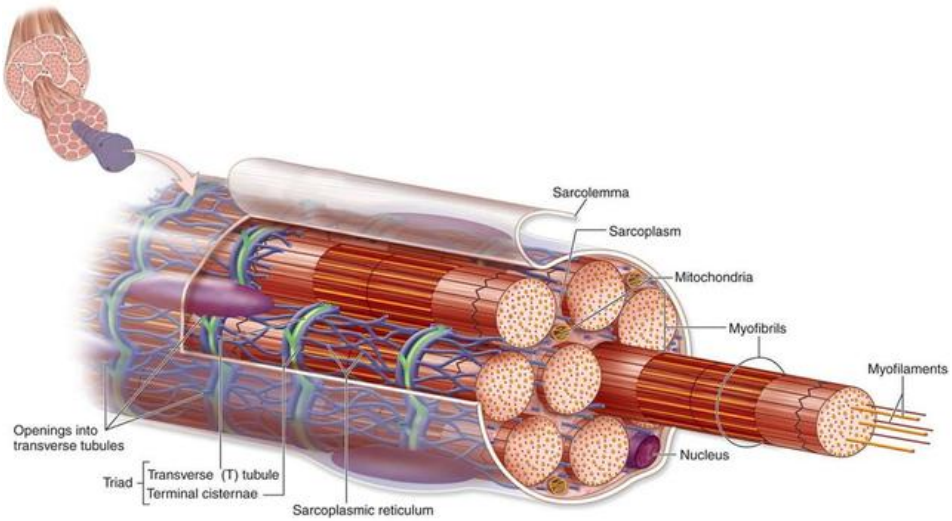
- Kasın kasılma kuvveti, kasın bağ doku tabakası tabakasından doğrudan tendonlara iletilir ve tendonlar kemiğe tutundukları noktada çekme etkisi oluştururlar.
- Tendonun daha sabit olan kemik kısmına tutunduğu yere kasın **origo**su, kemiğin hareket eden kısmına tutunan parçasına ise kasın **insersio**su adı verilir.



* Mc Ardle, W.D., Katch, F.I., Katch, V.L. (1981). Exercise Physiology, Energy, Nutrition and Human Performance, Philadelphia: Lea and Febiger, S. 4-47.
Wilmore, J.H., Costill, D.C. (1994). Physiology of Sport and Exercise, Champaign, IL: Human Kinetics, S. 107-119, 350-357.
Vander, A.J., Sherman, J.H., Luciano, D.S. (1990). Human Physiology, The Mechanisms of Body Function, International Edition, 5th edition, New Yor: McGraw-Hill Publishing Companu, S. 283-321.

İskelet Kasının Fizyolojisi

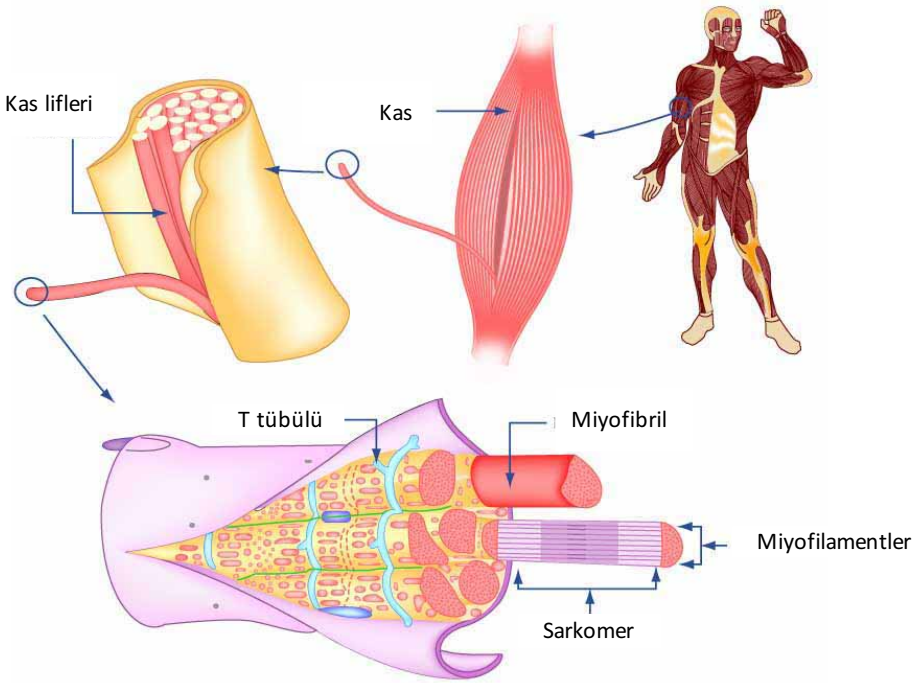
- Endomisyumun altında, herbir kas lifini saran zara **sarkolemma** denir. Bu ince elastik membran liflerin hücresel içeriğini (sarkoplazma) çevreler.
- **Sarkoplazma**, kasılmada rol oynayan proteinler, enzimler, yağ ve glikojen partikülleri ile nükleus (çekirdek) ve çeşitli özelleşmiş hücresel organelleri (mitokondri ve sarkoplazmik retikulum gib) içerir.
- Bu son derece özelleşmiş sistem hücrenin yapısal bütünlüğünün sağlanmasında ve kasın kasılmasında önemli rol oynar.



İskelet Kasının Kimyasal Bileşimi

- Kas **%75 su**, **%20 protein** ve geriye kalan **%5 inorganik tuzlar**, **yüksek enerjili fosfatlar**, **üre** ve **laktik asit** gibi maddelerden, **kalsiyum**, **magnezyum** ve **fosfor** gibi minerallerden, çeşitli **enzim** ve **pigmentler**, **sodyum**, **potasyum** ve **klor iyonları**, **aminoasit**, **yağ** ve **karbonhidratlardan** oluşur.*

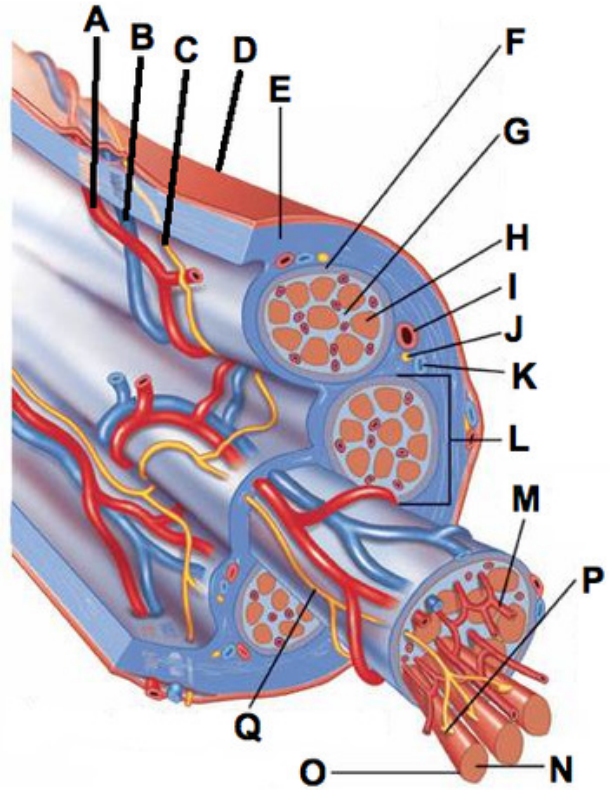
- En önemli kas proteinleri **miyozin**, **aktin** ve **tropomiyozin**dir. Bu proteinler kasın toplam protein içeriğinin sırasıyla **%52**, **%23** ve **%15**'ini oluştururlar. Ayrıca 100 gr kas dokusunda, **miyoglobin** adı verilen yaklaşık 700 mg bağlanmış protein bulunur.*



* Mc Ardle, W.D., Katch, F.I., Katch, V.L. (1981). Exercise Physiology, Energy, Nutrition and Human Performance, Philadelphia: Lea and Febiger, S. 4-47.

İskelet Kasının Kan Kaynağı

- **Arterler** ve **venler** bağ dokusu boyunca kasa girerler ve her bir kas lifine **paralel** uzanırlar.
- Arterler ve venler sırasıyla **arteriollere** ve **venüllere** ayrılarak **endomisyum** içinde ve çevresinde geniş bir **kapiller** ağ örgüsü meydana getirirler.
  - Bu şekilde kas lifleri **arterial** sistemden gelen **oksijenle** beslenirken, **venöz** sistem yoluyla da **karbondioksit** gibi artık maddeleri uzaklaştırır.



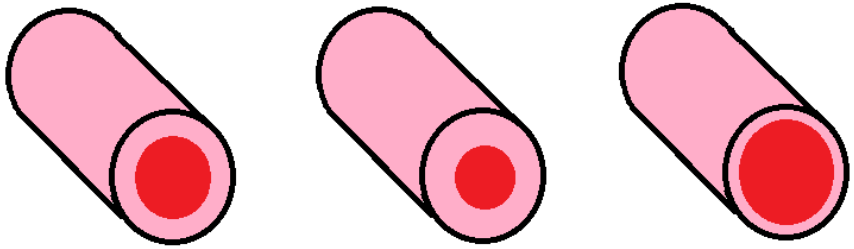
A, I: Arterler
B, K: Venler
C, J: Sinirler
G: Endomisyum
H, N: Kas lifi
M: Kapiller
D: Fasia
F: Perimisyum
L: Fasikül
O: Sarkolemma
P: Sinaps
Q: Motor nöronun aksonu

İskelet Kasının Kan Kaynağı

- **Sedanter** kişilerde her kas lifi ortalama **3 – 4 kapiller** tarafından çevrilirken, **sporcularda** bu sayı **5 – 7 kapiller** damara çıkmaktadır.
  - İskelet kasının gereksini[duğu kan miktarı, kasın aktivite düzeyine bağlıdır. Maksimal egzersiz sırasında kas, istirahat [ ] duyabilir.

- Aktif kasların kasılıp gevşe[ ]k sıkıştırılmasına neden olur.
  - Kan akımı kas kasılması sıras[ ]r. Bu pompalama hareketi, kalbe olan kan akışını hızlandıraral[ ]n miktarının artmasını sağlar. Sindirim sistemi, böbrekler [ ]esleyen arterlerin **konstrüksiyon**u (daralması) [ ]**asyon**u (genişlemesi) de kasın kan akışını düzenlemeye [ ]

Bir kas kuvvet oluşturma kapasitesinin %60'ı oranında kasılırsa, artan kas içi basınç nedeniyle kasa olan kan akışı engellenir.
Ayrıca uzun süreli, statik ve izometrik kasılmada, kasılmanın kompresif kuvveti kan akışını durdurur.
Bu koşullarda, kas çalışmasının devamı için gerekli olan enerji temel olarak depo edilmiş fosfojenlerden ve anaerobik glikoliz sisteminden sağlanır.*

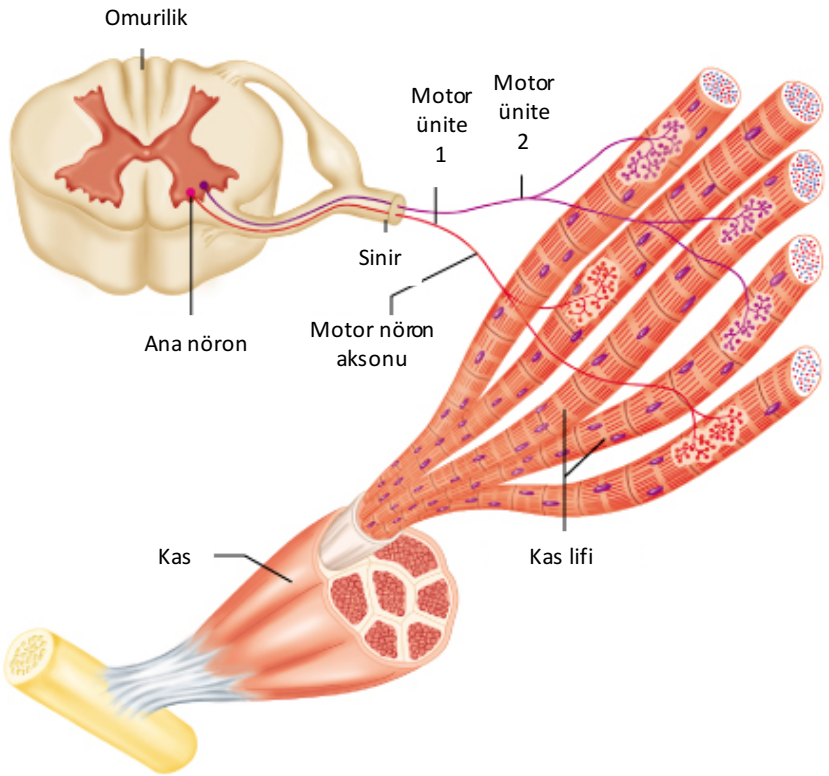


Normal kesit yüzeyi | Vazokonstrüksiyon | Vazodilatasyon

* Mc Ardle, W.D., Katch, F.I., Katch, V.L. (1981). Exercise Physiology, Energy, Nutrition and Human Performance, Philadelphia: Lea and Febiger, S. 4-47.
Fox, E.L., Bowers, R.W., Foss, M.L. (1989). The Physiological Basis of Physical Education and Athletics, 4th edition, Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers, S. 40-57

İskelet Kasının Uyarılması

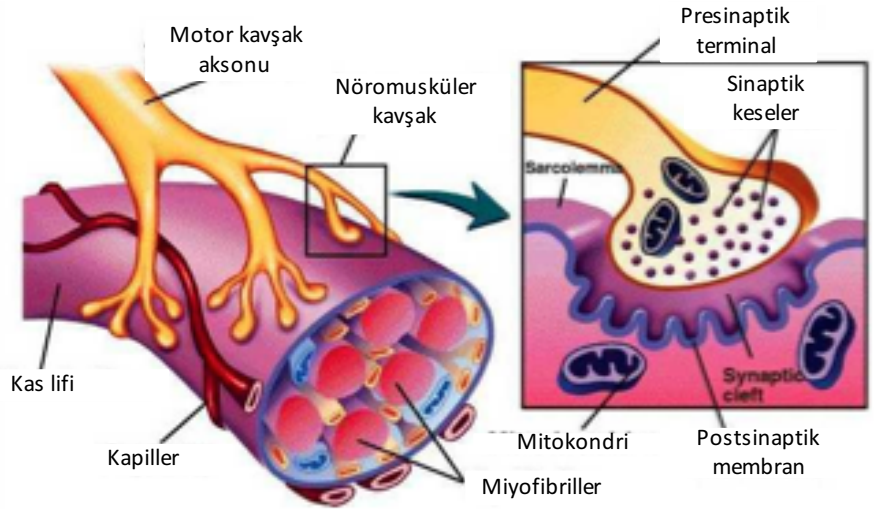
- Her kas lifi, diğer kas liflerinden **sarkolemma** ile ayrıldığından, bir kas lifinin uyarılması komşu kas liflerini de doğrudan uyarmaz.
- Her bir kas lifi, her biri omuriliğin ayrı bir sinir hücresinden başlayan, hem **afferent** (duyu) hem de **efferent** (motor) sinir lifleri içeren ve genellikle kasa kan damarları boyunca giren birçok sinir lifiyle uyarılır.*
- Uyarıldıklarında kasın kasılmasına neden olan motor sinirler, merkezi sinir sisteminden (beyin ve omurilik) başlarlar.



* Fox, E.L., Bowers, R.W., Foss, M.L. (1989). The Physiological Basis of Physical Education and Athletics, 4th edition, Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers, S. 40-57

İskelet Kasının Uyarılması

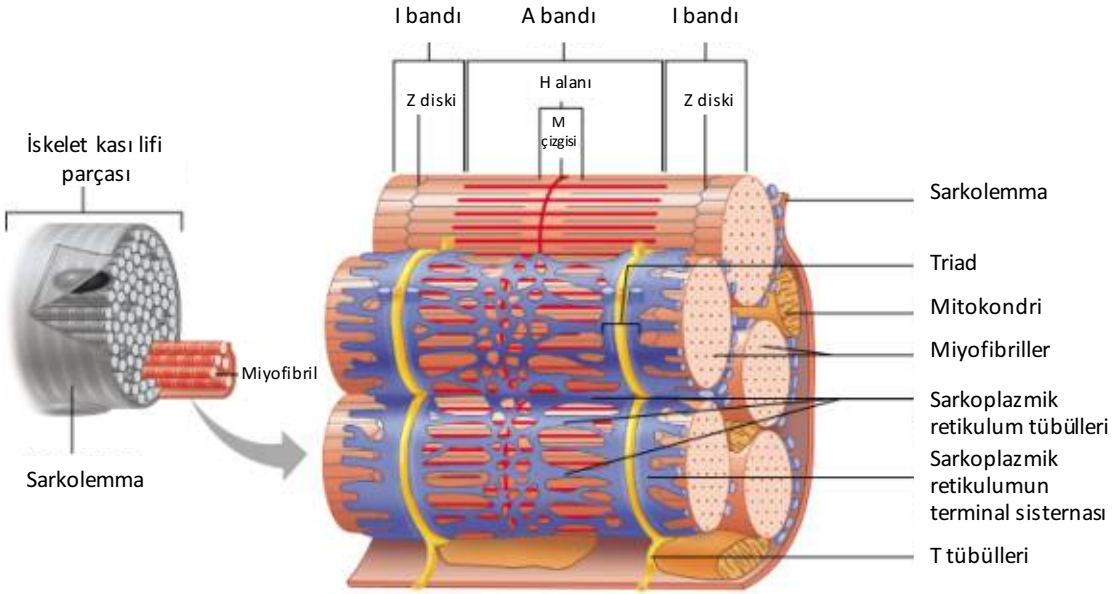
- Motor sinirin kasta sonlandığı noktaya **nöromusküler kavşak** veya **miyonöral kavşak** veya **motor son plak** denir.
- Omurilikteki tek bir motor sinir hücresi, bir kasa uyarı gönderdiğinde o sinir yan dalları tarafından uyarılan **bütün kas lifleri aynı anda** uyarılır ve kasılırlar.
- Kası uyaran sinirlerin **%60**'ını **motor** sinirler, **%40**'ını da **duyu** sinirleri oluşturur.
  - Duyu sinirleri kasın duyu organlarından aldığı, ağrı ve vücut kısımlarının algılanışına ait bilgileri merkezi sinir sistemine iletir. Bu uyarılar kas tonusunun devam ettirilmesinde ve kas hareketlerinin hızının ve miktarının ayarlanmasında önemli rol oynar.*



* Fox, E.L., Bowers, R.W., Foss, M.L. (1989). The Physiological Basis of Physical Education and Athletics, 4th edition, Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers, S. 40-57

İskelet Kasının Mikroskobik Yapısı

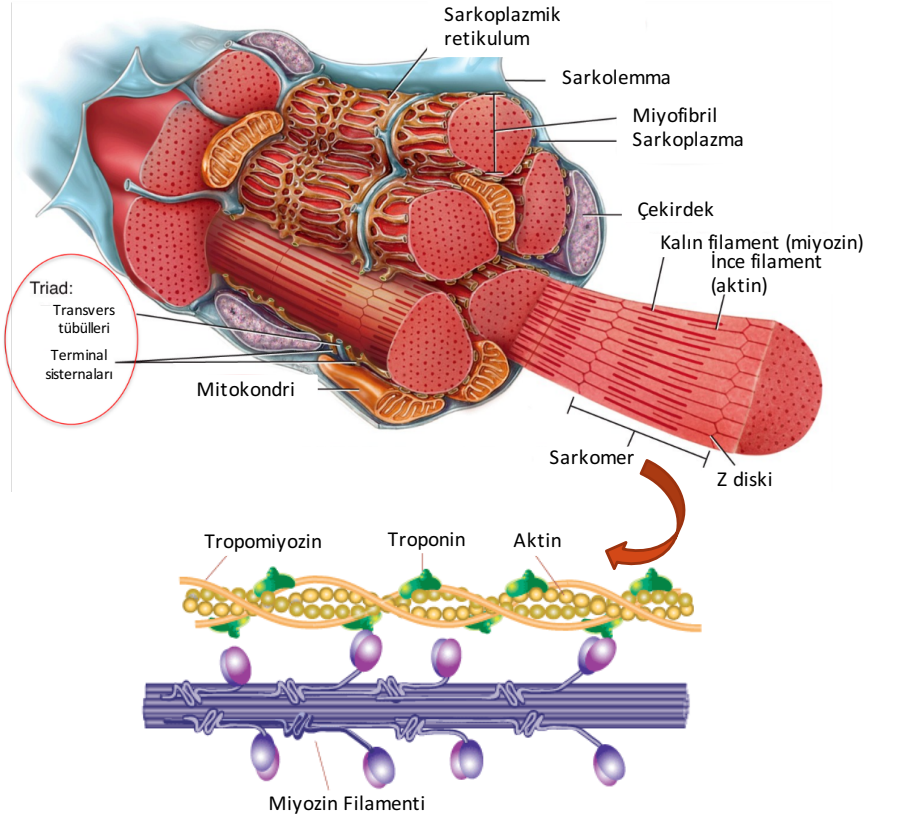
- Her bir **miyofibril** (kas lifi) **miyofilament** adı verilen protein liflerinden oluşur.
- Miyoflamentler **ince (aktin)** ve **kalın (miyozin)** filamentler olmak üzere ikiye ayrılır. Kas lifi boyunca **açık (I bandı)** ve **koyu (A bandı)** bantlar halinde çizgilenmeler görülür. I bandının ortasında bulunan **Z çizgisi** sarkolemmaya yapışarak bütün yapının stabilitesini sağlar.*
- İki Z çizgisi arasında **sarkomer** adı verilen, kas hücresinin fonksiyonel ünitesi bulunur.
- Sarkomerdeki **aktin** ve **miyozin** filamentleri kas kasılması sırasında önemli rol oynarlar.



* Fox, E.L., Bowers, R.W., Foss, M.L. (1989). The Physiological Basis of Physical Education and Athletics, 4th edition, Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers, S. 40-57
Wilmore, J.H., Costill, D.C. (1994). Physiology of Sport and Exercise, Champaign, IL: Human Kinetics, S. 107-119, 350-357.

İskelet Kasının Mikroskobik Yapısı

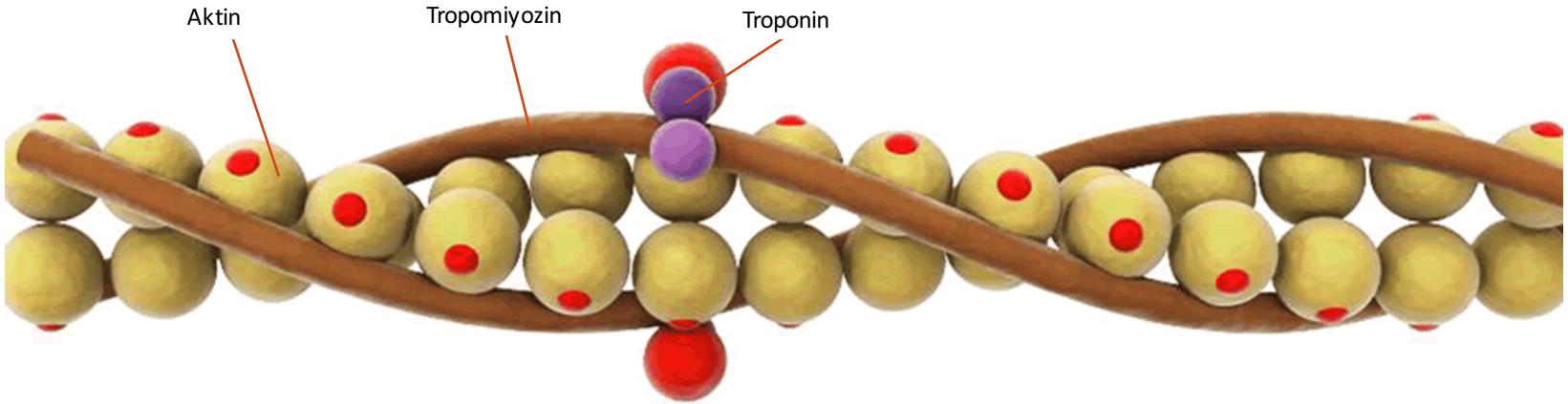
- Kas protein molekkülleri **aktin** ve **miyozin**dir. Her bir **miyofibril**, yaklaşık 3000 aktin filamenti ve 1500 miyozin filamenti içerir.
- Büyün kas proteinlerinin 2/3'ü miyozindir. Her bir miyozin filamenti ortalama 200 miyozin molekülünün bir araya gelmesinden oluşur.
- Miyozin molekülü içerisinde 2 protein parçası birbiri üzerine dolanmış haldedir. Bu burgunun bir ucu yuvarlaklaşarak **miyozin başı**nı oluşturur. Bir miyozin filamenti çok sayıda başa sahiptir ve bu yapı miyozin filamentinden dışarı doğru uzanarak, kas kasılması sırasında aktin filamenti üzerindeki aktif bölgelere temas eden **çapraz köprü**leri meydana getirir.*



* Wilmore, J.H., Costill, D.C. (1994). Physiology of Sport and Exercise, Champaign, IL: Human Kinetics, S. 107-119, 350-357.

İskelet Kasının Mikroskobik Yapısı

- Her bir aktin filamenti üzerinde miyozin başının bağlanabileceği bir aktif bölge vardır. Bir aktin filamenti üç değişik protein molekülünden oluşur: (1) **Aktin**, (2) **Tropomiyozin**, (3) **Troponin**.
- **Tropomiyozin** ve **troponin**, **Ca^{++}** ile birlikte çalışarak **kas kasılmasını** ve **gevşemesini** koordine ederler.*



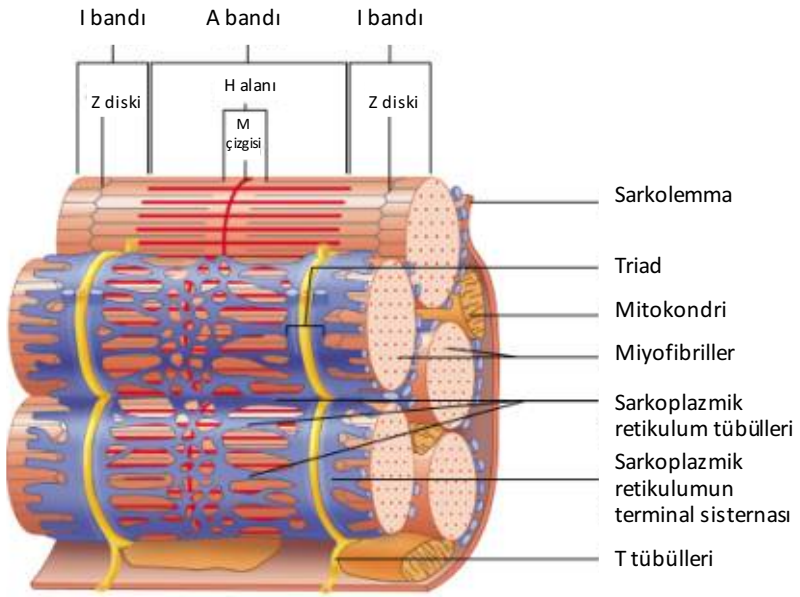
* Wilmore, J.H., Costill, D.C. (1994). Physiology of Sport and Exercise, Champaign, IL: Human Kinetics, S. 107-119, 350-357.

İskelet Kas Fibrilinin Diğer Bileşenleri

❖**Sarkolemma**: Kas hücresi membranına sarkolemma denir. Sarkolemmanın Transvers tüpler (T tüpleri) denilen ve hücre içine uzanan periodik kanalları vardır. Sarkolemma ve T tüplerinin görevi sarkolemmada oluşan aksiyon potansiyelini hücre içine ileterek kasılmanın başlamasını sağlamaktır.

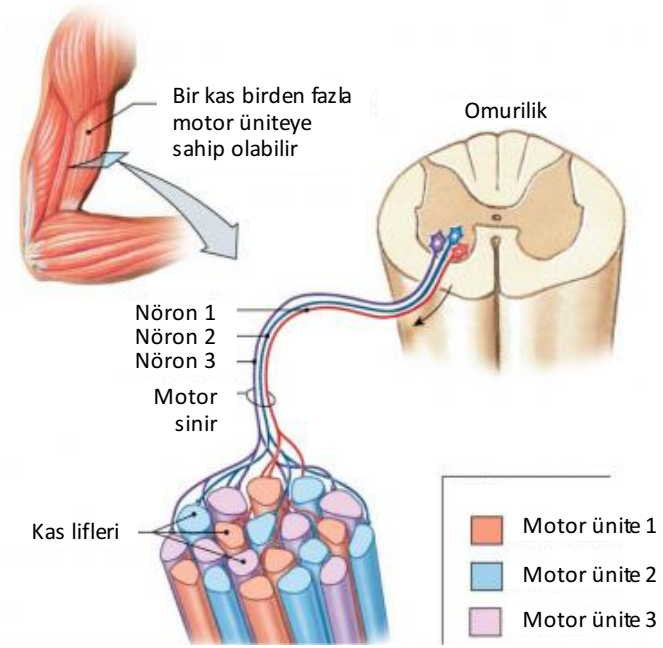
❖**Transvers Tüpler (T-Tübülleri):** Kas içine doğru bükülerek giren ve kasın bir tarafından diğer tarafına doğru enine keserek (transvers) ilerleyen tübüler bir sistemdir. Sinirsel uyaranların, glikozun, O2 'nin ve iyonların hücre içine daha hızlı girmesini sağlar.

❖**Sarkoplazmik Retikulum:** T-tüplerinin devamı olan bir düz endoplazmik retikulumdur. Kas hücresi içinde yaygın bir kanal ağı oluşturur. SR da kasılmayı başlatacak olan kalsiyum iyonunun (Ca+2) depoları vardır.



Motor Ünite

- İnsanlarda motor sinir sayısı yaklaşık 420000'dir. Tek bir motor sinir birçok dala ayrılarak birden fazla kas lifini uyarır (örn; 1, 5, 150 veya daha fazla).
- Aynı motor sinir tarafından uyarılan bütün kas lifleri aynı zamanda kasılır ve gevşer ve tek bir ünite (birim) olarak çalışır. Bu nedenle tek bir motor sinir ve bu sinirin uyardığı kas liflerine bir **motor ünite** adı verilir.
- Tek bir motor sinirin uyardığı kas lifi sayısı, kasın büyüklüğü ile değil, bir kasın yaptığı hareketin inceliği, becerisi ve koordinasyonu ile belirlenir.
  - Örneğin, göz kasları gibi ince beceri gerektiren kaslarda bir motor ünitede bir sinire düşen kas lifi sayısı bir taneye kadar düşebilir. Fakat quadriceps gibi daha kaba ve ince beceri gerektirmeyen hareketleri yapan kaslarda, bir motor ünite başına düşen kas lifi sayısı yüzlerce hatta binlerce olabilir.



Hep ya da Hiç Kanunu

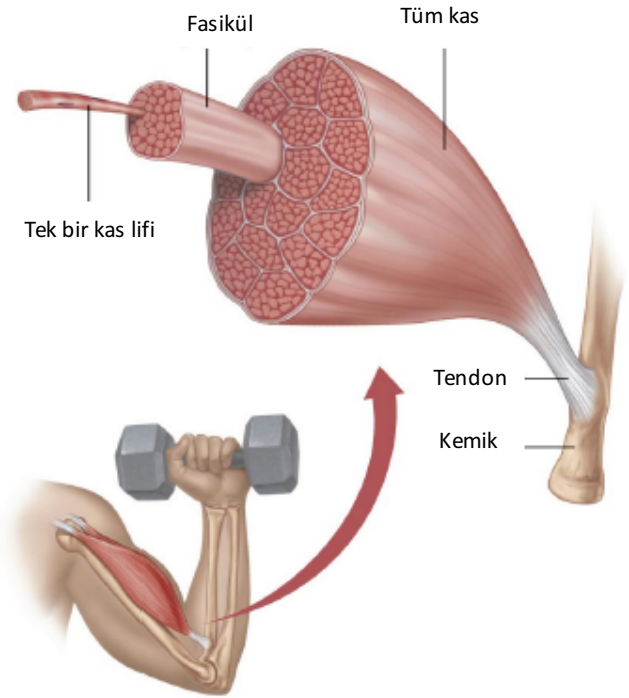
- Bir kas lifi (ya da bir motor ünite) uyarılma eşiğinde veya üzerinde uyarıldığında beslenme düzeyi, ısı vb. faktörlere bağlı olmaksızın **maksimal düzeyde kasılır**.
- Eşik düzeyinden çok daha yüksek uyaranlarla uyarmak kasın kasılma miktarında ve kasılma kuvvetinde artışa neden olmaz. Kas lifi **ya maksimal** olarak kasılır, **ya da hiç** kasılmaz ve bu durum kas kasılmasında **hep ya da hiç kanunu** olarak bilinir.
- Hep ya da hiç kanunu kasın tamamı için değil **motor ünite için** geçerlidir. Çünkü kasın tamamı birden fazla sinir tarafından uyarılır. Kasın **dereceli kuvvet** üretmesi bu sayede mümkündür.



Kas Kuvvetinin Şiddetinin Ayarlanması

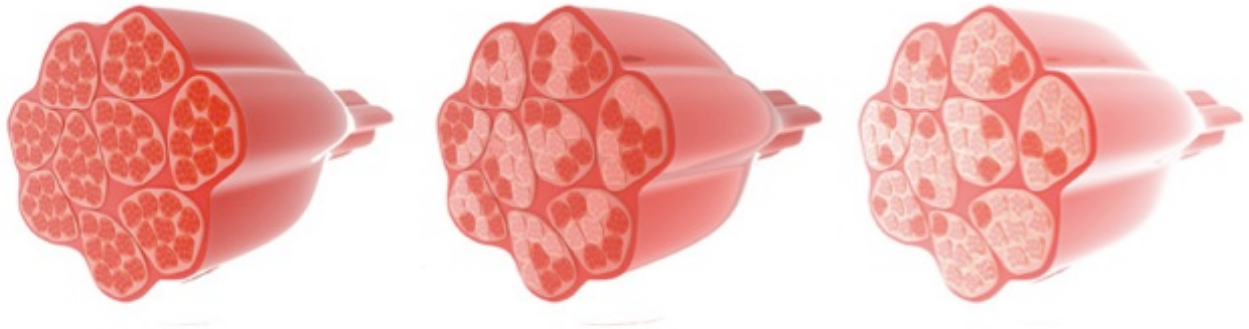
1. Çok sayıda motor ünite sumasyonu (spatial sumasyon): Herhangi bir anda kasılan motor ünite sayısının değiştirilmesiyle kas kuvvetinin şiddeti ayarlanır. Uyarılan motor ünite sayısı arttıkça oluşturulan kuvvet de artar.

2. Dalga sumasyonu (temporal sumasyon): Kasılan her motor ünitenin kasılma frekansının (uyarıların sıklığı) değiştirilmesiyle kas kuvvetinin şiddeti ayarlanır. Daha sık uyarı daha yüksek frekansa neden olup, daha fazla kuvvet oluşumu meydana getirir.



Kas Lifi Tipleri

Kas liflerinin kasılma hızı, aerobik kapasite, anaerobik kapasite, içerdikleri mitokondri sayısı, sahip oldukları kapiller damar sayısı, kasılma kuvveti, ATPaz aktivitesi ve yorulma sürelerinde fonksiyonel farklılıklar vardır.



KIRMIZI KAS	KARIŞIK KAS	BEYAZ KAS
Yüksek mitokondriyel içerik	Orta mitokondriyel içerik	Düşük mitokondriyel içerik

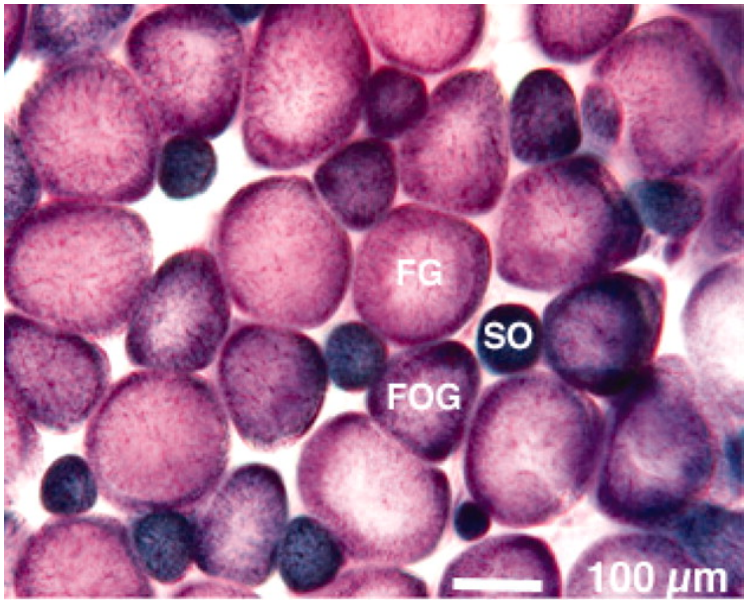
Hızlı Kasılan (Fast-twitch) Kas Lifleri

- Hızlı kasılan kas lifleri yüksek düzeyde **miyozin ATPaz** aktivitesine sahiptir.
  - Miyozin ATPaz, kas kasılması için gerekli olan enerjiyi ATP'yi parçalayarak sağlar. Bu nedenle bu lifler **hızlı** ve **yüksek kasılma gücü** gerektiren kasılmalar için çok çabuk bir şekilde enerji üretebilir.
- Bu kas liflerinin kasılma hızı (50 milisaniye), yavaş kasılan kas liflerine (110 milisaniye) oranla yaklaşık 2 kat daha fazladır.
- Bu kas lifleri genellikle **anaerobik enerji metabolizması**na dayanan **kısa süreli**, **sürat** tipindeki aktivitelerde kullanılır.
  - Bu hızlı kasılma özelliklerini belirtmek amacıyla kısaca **FG (fast-glycolytic = hızlı glikolitik)** olarak sembolize edilirler.



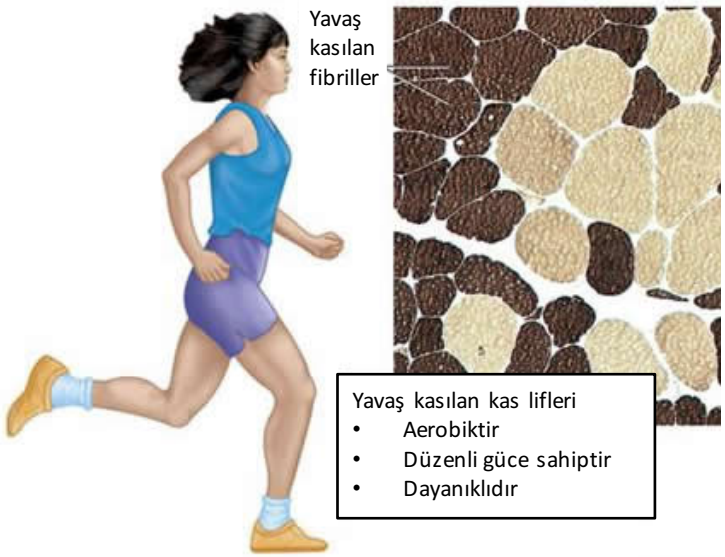
Hızlı Kasılan (Fast-twitch) Kas Lifleri

- Genellikle yavaş kasılan kas lifleri tip I, hızlı kasılan kas lifleri de tip II olarak sınıflandırılmıştır. Hızlı kasılan kas lifleri **tip IIa** ve **tip IIb** olmak üzere alt gruplara ayrılır.
  - Tip IIa: Yüksek kasılma hızına ve orta derecede iyi gelişmiş aerobik ve anaerobik enerji transferi kapasitesine sahiptir. Hızlı kasılan, oksidatif-glikolitik (FOG) lifler olarak da bilinir.
  - Tip IIb: Tip IIa liflerine oranla daha fazla anaerobik kapasiteye sahiptir. Hızlı kasılan, glikolitik (FG) lifler olarak da bilinir.



Yavaş Kasılan Kas Lifleri

- Yavaş kasılan kas lifleri, **düşük miyozin ATPaz aktivitesi**, **yavaş kasılma hızları** ve hızlı kasılan kas liflerine oranla daha az gelişmiş olan glikolitik kapasiteleri ile bilinmektedir.
- ATP sentezi için gerekli olan enerjiyi genel olarak uzun süreli **aerobik enerji sistemi** yoluyla sağlar. Nispeten daha büyük ve fazla sayıda mitokondriye sahiptir.
  - Aerobik metabolizmanın çalışması için gerekli olan mitokondrial enzim konsantrasyonları yüksektir. Bu nedenle, yavaş kasılan kas lifleri uzun süreli **aerobik tipteki egzersizler** için uygundur.
- Yavaş kasılma hızları ve büyük oranda oksidatif metabolizmaya dayandıklarını belirtmek için **SO (slow-oxidative = yavaş-oksidatif)** sembolüyle gösterilir.



Kas Lif Tipleri

- Tek yumurta ikizleri üzerinde yapılan çalışmalar kas lif tiplerinin büyük ölçüde **genetik** olduğunu ve çocukluktan orta yaşlara kadar fazla **değişmediğini** ortaya koymuştur.*
- Hangi tip motor nöronların kas liflerini uyaracağı, **genetik** olarak belirlenir. Nöronların innervasyonları tamamlandıktan sonra, uyaran sinirin tipine göre (hızlı veya yavaş) lifler özelleşmeye başlar. Zamanla bu değişebilir ve kişiler yaşlandıkça kasları **FT liflerini kaybeder** ve bu da ST liflerin oranını artırmış olur.*



* Mc Ardle, W.D., Katch, F.I., Katch, V.L. (1981). Exercise Physiology, Energy, Nutrition and Human Performance, Philadelphia: Lea and Febiger, S. 4-47.
Fox, E.L., Bowers, R.W., Foss, M.L. (1989). The Physiological Basis of Physical Education and Athletics, 4th edition, Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers, S. 40-57
Golnick, P.D., Hadgson, D.R., (1986). The identification of fiber types in skeletal muscle: A continual dilemma. Exerc. Sport Sci. Rev., 14: 81-104.

Kas Lif Tipleri

	Tip I	Tip Iıa	Tip IIb
Kasılma hızı	Yavaş	Hızlı	Hızlı
Kasılma kuvveti	Düşük	Yüksek	Yüksek
Yorulma hızı	Geç yorulur	Yorulur	Çabuk yorulur
Aerobik kapasite	Yüksek	Orta	Düşük
Anaerobik kapasite	Düşük	Orta	Yüksek
Lif büyüklüğü	Küçük	Büyük	Çok büyük
Kılcal damar yoğunluğu	Yüksek	Yüksek	Düşük

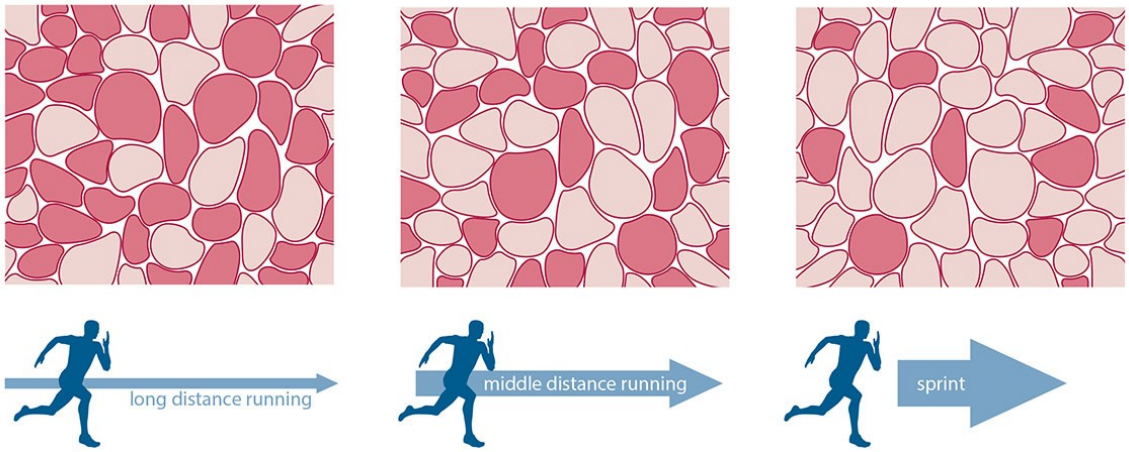
Kas lifi sınıflandırması ve özellikleri.*

* Komi, P.V. (1992). Strength and power in sport, Oxford: Blackwell Scientific Publications, S. 39-62

Kas Lifi Tipleri ve Sportif Performans

- Kas lif tipi dağılımında yaş ve cinsiyet açısından belirgin bir **fark yoktur**. Normal sedanter erkek ve kadınlar, hatta çocuklar %45-55 oranında yavaş kasılan kas lifine sahiptir.
- Hızlı kasılan kas liflerinin dağılımı incelendiğinde, tip IIa ve tip IIb liflerinin **eşit** dağılım gösterdiği bulunmuştur.
- **Dayanıklılık** sporcularında büyük oranda **ST** oranı, **sürat** koşucuları ve **güç** gerektiren sporlarla uğraşan sporcularda ise **FT** liflerinin oranı yüksektir.

- Dünya şampiyonu maratoncuların gastroknemius kasında %93-99 oranında ST lifleri, dünya şampiyonu sürat koşucularında ise sadece %25 oranında ST lifi bulunmuştur. Ancak aynı spor branşında aynı düzeyde başarılı olan sporcuların kas lifi dağılımları farklı da olabilir.



Kas Lifi Tipleri ve Sportif Performans

- Yapılan çalışmalar, dayanıklılık antrenmanı ile hızlı kasılan kas liflerinin tamamen yavaş kasılan kas liferine dönüştürülmesinin söz konusu olmadığını göstermiştir.
  - Ancak dayanıklılık antrenmanı kas lifi tiplerinin oksidatif kapasitesinde artışa neden olmakta, metabolik ve biyokimyasal özelliklerini de değiştirmektedir.
  - Kuvvet ve güç geliştirici antrenmanlar ise, hızlı kasılan kas liflerinin anaerobik gücünü geliştirmektedir.
- Bütün aktivitelerde hem tip I hem de tip II lifleri çalışmaktadır. Yalnız bazı aktivitelerde bu kas lifi tiplerinden birine daha fazla oranda gereksinim duyulur.



Kas Lifi Tipleri ve Sportif Performans

SPORCU	ST LİF ORANI (%)	FT LİF ORANI (%)
Mesafe Koşucusu	60-90	10-40
Sürat Koşucusu	25-45	55-75
Halter sporcusu	45-55	45-55
Gülle atıcı	25-40	60-75
Sporcu olmayan	47-53	47-53

Değişik spor branşlarında performans gösteren elit sporcuların ve sporcu olmayan kişilerin genel kas lifi yapısı.*

* Powers, S.K., Howley, E.T. (1990). Exercise Physiology. Theory and Application to Fitness and Performance, Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers, S. 61-65.

Sunum sonu ☺

Sinir Sistemi ve Egzersiz

Sinir Sistemi

- Sinir sistemi, vücut aktivitelerinin uyum ve bütünlüğünden, istemli hareketlerin kontrol edilmesinden, deneyimlerin depolanıp-saklanmasından ve öğrenilen cevap şekillerinin geliştirilmesinden sorumludur.
- Sinir siteminin temel fonksiyonları şu şekilde sıralanabilir:
  1. Vücut içi koşulların kontrol edilmesi (endokrin sistem ile birlikte)
  2. İstemli hareketlerin kontrolü
  3. Omurilik reflekslerinin programlanması
  4. Hafıza ve öğrenme için gerekli olan deneyimlerin özümsenmesi



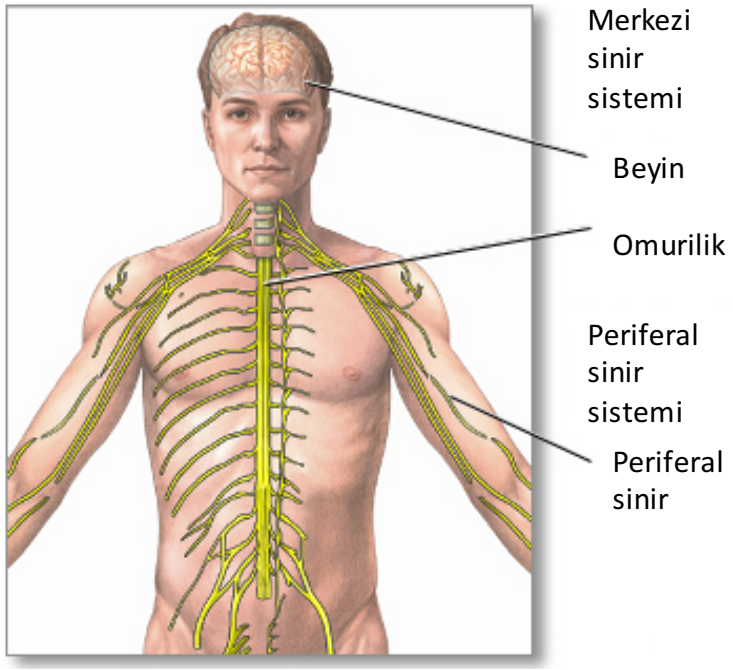
Sinir Sistemi

Sinir sistemi anatomik olarak ikiye ayrılır;

❖**Merkezi sinir sistemi (MSS):** Beyin ve spinal kord (omurilik),

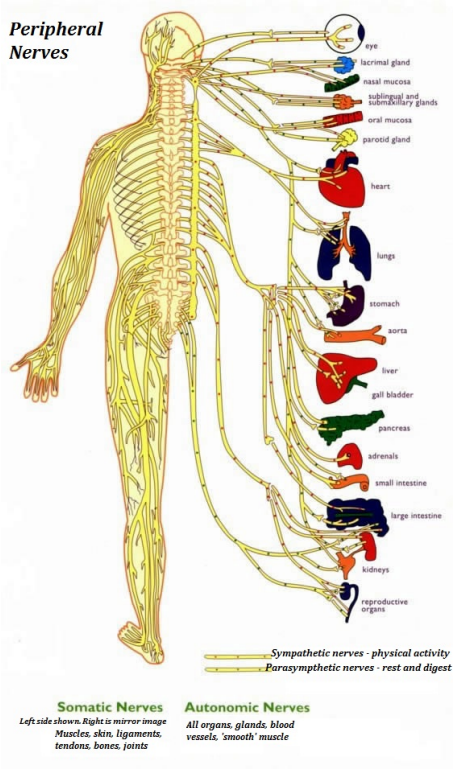
❖**Periferal sinir sistemi (PSS):** MSS'nin dışındaki sinir hücreleri.

- ➢ PSS iki kısma ayrılır:
  1. Duyusal sinir sistemi (afferent sistem)
  2. Motor sinir sistemi (efferent sistem)
- ➢ Motor sinir sistemi de iki kısma ayrılır:
  a. Somatik (istemli) sinirler
  b. Otonomik (istemsiz) sinirler

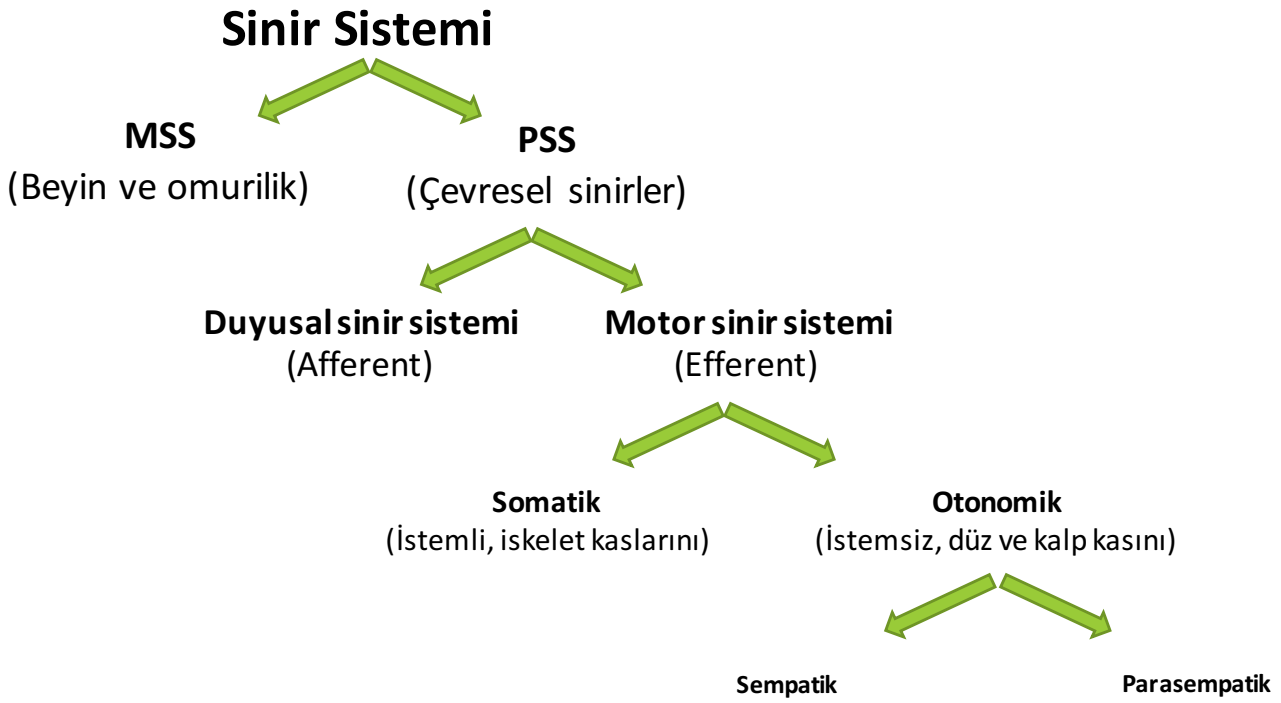


Sinir Sistemi

- **Duyusal sinir sistemi**, duyu organları tarafından alınan duyuların (sinir uyarılarının) MSS'ye gönderilmesinden sorumludur.
  - Sinir uyarılarını dokulardan MSS'ye gönderen sinir liflerine **afferent sinirler** denir.
- **Motor sinir sistemi**, uyarıları MSS'den dokulara gönderilmesinden sorumludur.
  - Sinir uyarılarını MSS'den dokulara gönderen sinir liflerine **efferent sinirler** denir.
  - **Somatik motor sinirler** iskelet kaslarını, **otonomik motor sinirler** ise düz kasları ve kalp kasını uyarırlar.
  - Otonomik sinir sistemi de **sempatik** ve **parasempatik** sinir sistemi olmak üzere ikiye ayrılır.

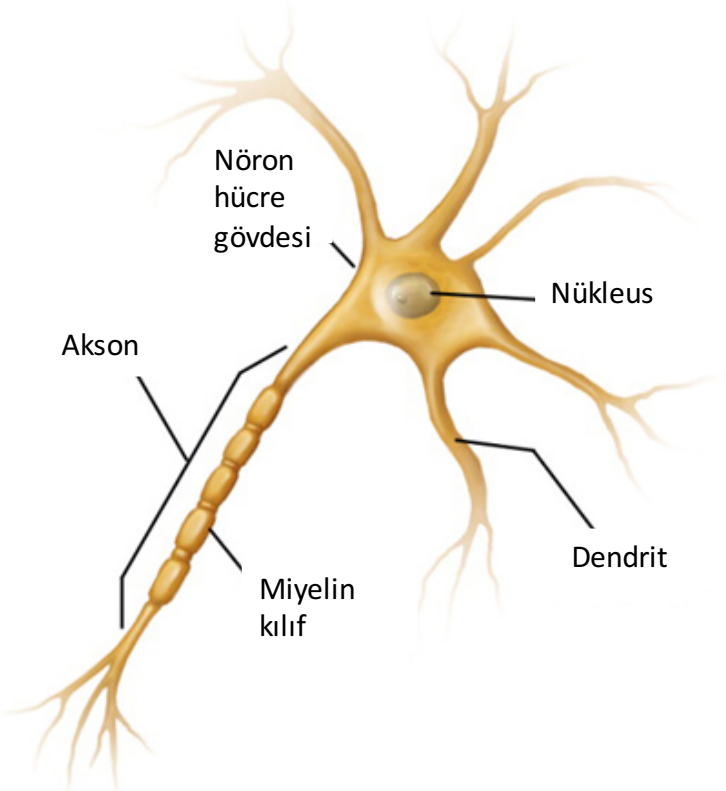


Sinir Sisteminin Organizasyonu



Sinir Sisteminin Anatomik Yapısı

- Sinir sistemi **nöron** ve **nöroglia** adı verilen iki tip hücreden yapılmıştır.
  - Nöronlar sinir hücresi, nöroglialar ise nöronları destekleyici hücrelerdir.
- Birkaç milyar sinir hücresi birbirleriyle farklı şekillerde bağlantılar kurarak merkezi sinir sistemini oluştururlar.
- Bir sinir hücresi **dendrit** denen uzantıları olan bir hücre gövdesi (soma), bir **akson** ve bir **nükleus**tan (çekirdek) oluşur.
  - Dendritler uyarıları hücre gövdesine doğru iletirken, akson uyarıları hücre gövdesinden uzaklaştırır. Her bir sinir yalnızca bir aksona sahipken, birkaç dendrite sahip olabilir. Aksonlar, dendritler veya diğer sinirlerle fonksiyonel bağlantılar (**sinaps**) yaparlar veya kas ve bezler gibi effektör organlarda sonlanır.



Sinir Uyarısı

- Duyu ve motor sinirler tarafından iletilen bilgiler, **sinir uyarısı** olarak adlandırılan **elektrik enerjisi** şeklindedir.

- Sinir uyarısının oluşumu şu şekilde özetlenebilir:
  - Sinir lifi istirahat halindeyken **sodyum (Na^+) iyonları** sinir hücre membranının dışında konsantre olur ve hücre dışının elektriksel olarak **pozitif** yüklenmesini sağlar.
  - Hücrenin iç kısmı ise **negatif** yüklüdür. Böylece iç ve dış kısımlar arasında potansiyel bir fark oluşur. Buna **istirahat membran potansiyeli** denir.
  - Sinir uyarıldığı zaman, sinir membranı **Na^+** iyonlarına karşı **geçirgen** olur ve iyonlar sinirin içine geçer. Böylece, sinirin dışı **negatif**, içi ise **pozitif** yüklü olur. Yani yeteri kadar bir uyarı, sinirin polaritesini tam tersi yönde değiştirir.
  - Polaritedeki bu değişim **aksiyon potansiyeli** olarak adlandırılır ve bu bir elektrik akımıdır; bu da sinir uyarısı olarak görev yapar.



Sinaps Bağlantıları

- Bir sinir hücresinin **aksonu**nun, diğer bir **sinirin hücre gövdesi** veya **dendritleri**yle veya her **hangi bir başka hücre membranı** ile birleştiği noktaya **sinaps** denir.
- Uyarıyı sinapsa getiren ilk nöron **pre-sinaptik nöron**, diğeri ise **post-sinaptik nöron** adını alır.
- Sinirle ilgili bilgi, **nörotransmitter** madde (kimyasal iletim sağlayan madde) aracılığıyla sinaptik aralıktan iletilir.
- Serbest bırakılan nörotransmitter maddenin tipine bağlı olarak post-sinaptik nöronun membranı uyarılır ve elektrik potansiyeli oluşturulur veya uyarı engellenir.

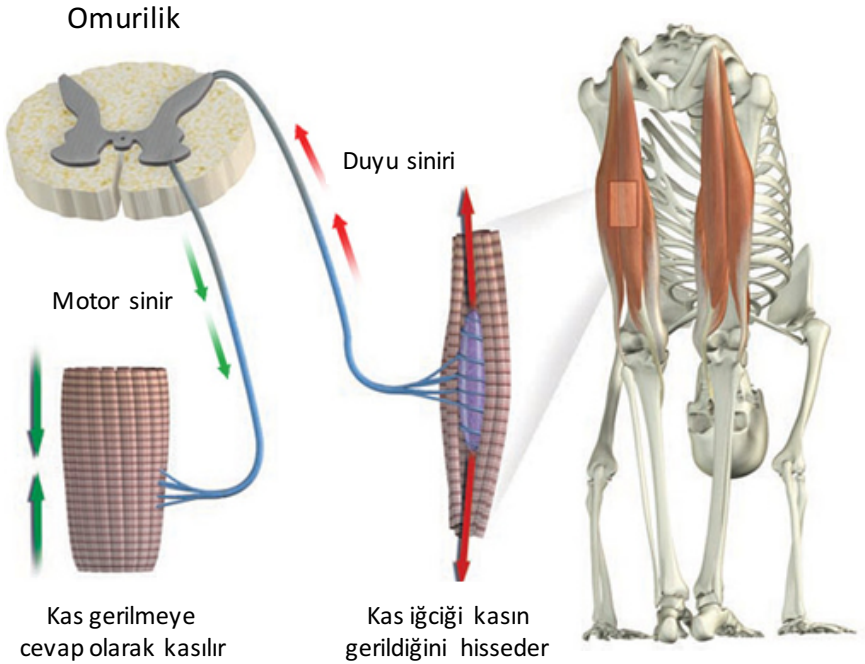


Kasın Duyu Organları

- Kas, ligament ve eklemlerdeki özelleşmiş duyu reseptörleri, uzama, gerilme ve basınca karşı duyarlıdırlar.
- **Proprioseptör** olarak bilinen bu duyu organları kas dinamiği ve ekstremite hareketleri hakkındaki bilgileri MSS'ye gönderir.
- Proprioseptörlerin yardımıyla hareketlerimizi daha yumuşak tarzda ve koordineli yaparız. Ayrıca normal vücut postürü ve kas tonusunun sağlanmasında da yardımcı olurlar.
- Kinestetik duyuyu alan üç önemli kas duyu organı vardır:
  - Kas iğciği
  - Golgi tendon organı
  - Eklem reseptörleri

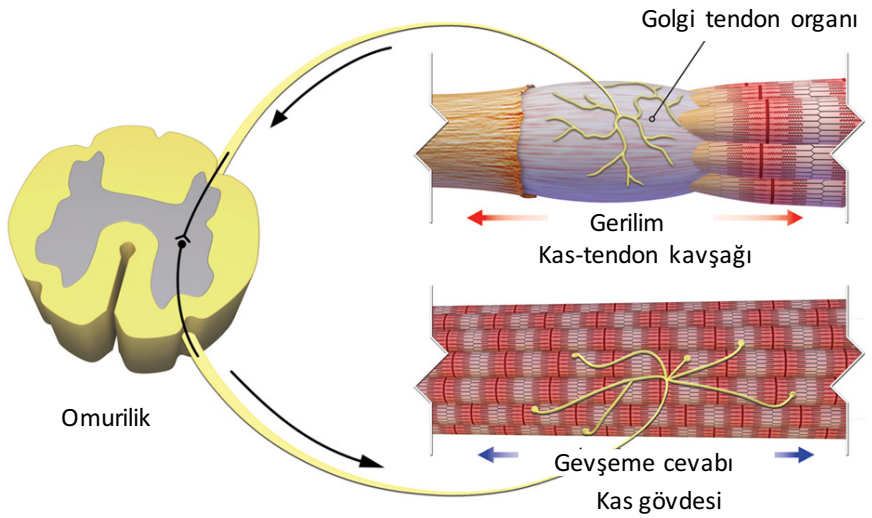
Kas İğciği

- **Kas iğciği**, kas liflerinin gerilme ve uzunluk değişimleri hakkında bilgi verirler ve kasta en fazla bulunan proprioseptördür.
- Bu organ herhangi bir dirence karşı koymak için kasılması gereken motor ünite sayısının belirlenmesinde kasa yardımcı olur.
- Kasın tamamı gerildiğinde kas iğciğinin merkezi de gerilir. Bu gerilme orada bulunan duyu sinirini aktive eder ve uyarılar MSS'ye iletilir.



Golgi Tendon Organı

- **Golgi tendon organı**, tendon lifleri içinde kas ve tendon liflerinin birleştiği noktada bulunur.
- Kas iğciği gibi gerilmeye karşı duyarlıdır ancak daha az duyarlıdır. Bu nedenle aktive olabilmesi için **daha kuvvetli bir gerilme gereklidir**.
- Kas iğciğinin tersine golgi tendon organın uyarılması bulunduğu **kasın inhibisyonu ile sonuçlanır**.
- Bu kasın gevşeme durumu, travmaya yol açabilecek olan çok ağır yükleri kaldırma sırasında koruyucu bir fonksiyondur.

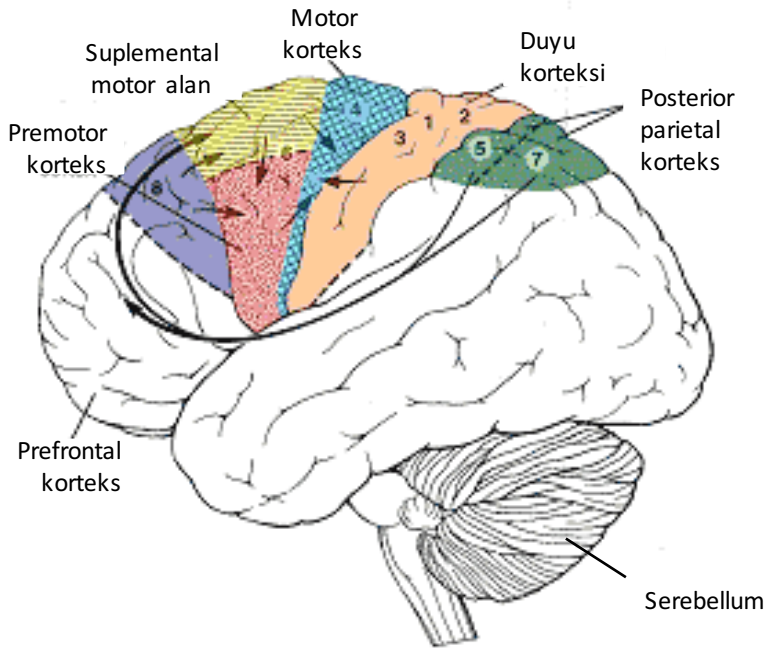


Eklem Reseptörleri

- **Eklem reseptörleri** tendonlarda, ligamentlerde, kemikte, kasta ve eklem kapsülünde bulunur.
- Eklem açısı, eklemin ivmelenmesi ve basınç sonucu meydana gelen değişikliklerle ilgili bilgileri MSS'ye gönderir.
- Vücut ve ekstremitelerin pozisyonundan haberdar olma ve postürle ilgili otomatik refleksler hakkında bilgi sağlar.

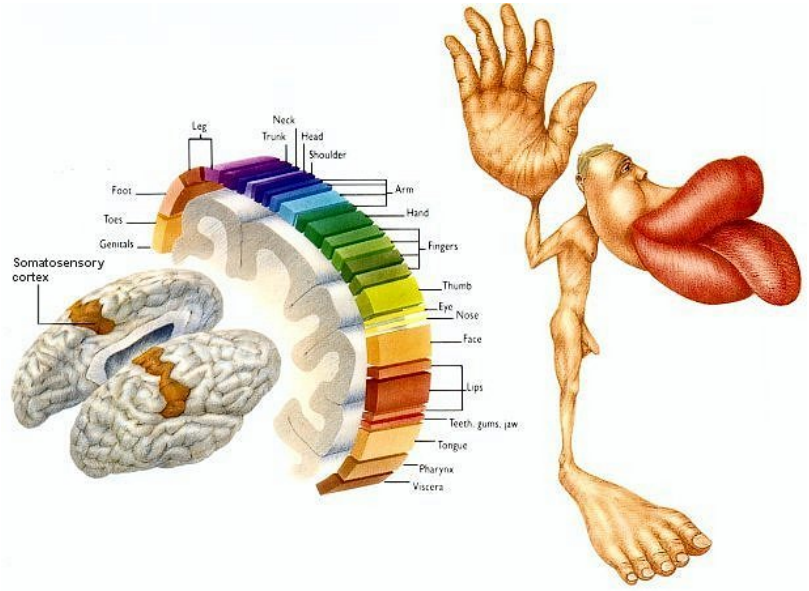
Kas Aktivitelerinin Nöral Kontrolü

- İyi bir sporcuyu belirleyen önemli özelliklerden biri, karmaşık ve zor kas aktivitelerini gerçekleştirme becerisidir ve bu beceri büyük oranda MSS'ye bağlıdır.
- Basit hareketler (sıcak bir yüzeyden parmağın çekilmesi gibi) **omuriliğin refleks merkezleri**, daha karmaşık hareketler ise **omuriliğin daha üst seviyeleri** ve **beyin** tarafından kontrol edilir.
- Yeni becerilerin öğrenilmesinde **serebral (beyin) korteks** ve **serebellum (beyincik)** rol oynarlar. Serebral korteksin motor hareketlerde birinci derecede rol alan kısımları şunlardır;
  - **Duyu korteksi;** çeşitli duyusal reseptörlerden gelen afferent bilgilerin çoğunu almak, bu bilgileri değerlendirmek ve uygun hareketleri başlatmakta doğrudan rol almaktadır.
  - **Motor korteks;** baş parmak, işaret parmağı, ayaklar ve dudaklar gibi spesifik kasların çalışmasını gerektiren ince, farklı hareketlerin kontrolüyle ilgilidir.
  - **Premotor korteks;** büyük kas gruplarını da içeren karmaşık hareketlerin kontrolü ve koordinesinde görevlidir.



Kas Aktivitelerinin Nöral Kontrolü

- Serebellumun en önemli motor fonksiyonu, kas hareketlerinin düzenlenmesi, koordinasyonu, ayarlanması ve yumuşak bir tarzda yapılmasının sağlanmasıdır.
- Serebellum hareketi başlatmayıp; motor korteks ve reseptörlerden afferent uyarıları alırken, serebral korteks, beyin sapı ve omurilikteki daha düşük seviyedeki motor nöronlara efferent uyarılar gönderir.
- Vücut bölgelerini kontrol eden motor korteks alanlarının büyüklüğü, temsil ettikleri bölgenin yaptığı hareketin zorluk düzeyine göre değişir.
  - Dil, baş parmak, parmaklar, dudaklar ve boğaz geniş alanlarla temsil edilir.



Eğer vücut kısımlarımız beyinde temsil edildikleri alanlar kadar büyük olsaydı vücut şeklimiz bu şekilde olurdu.

Sunum sonu ☺

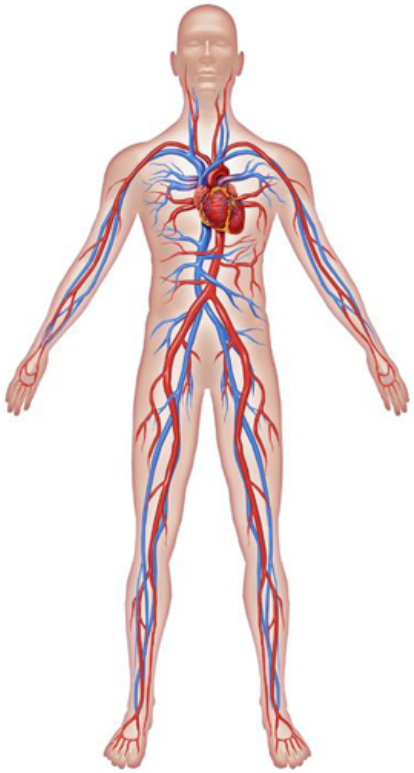
Kardiyovasküler Sistem ve Egzersiz

Dolaşım Sistemi

- Dolaşım sistemi kanı tüm vücut dokularına ulaştıran sistemdir.
- Egzersiz sırasında kaslara daha çok oksijen sağlanması ve atık maddelerin (laktik asit, CO_2 gibi) kaslardan uzaklaştırılması gerektiğinden, kardiyovasküler sistemin işi de artar.

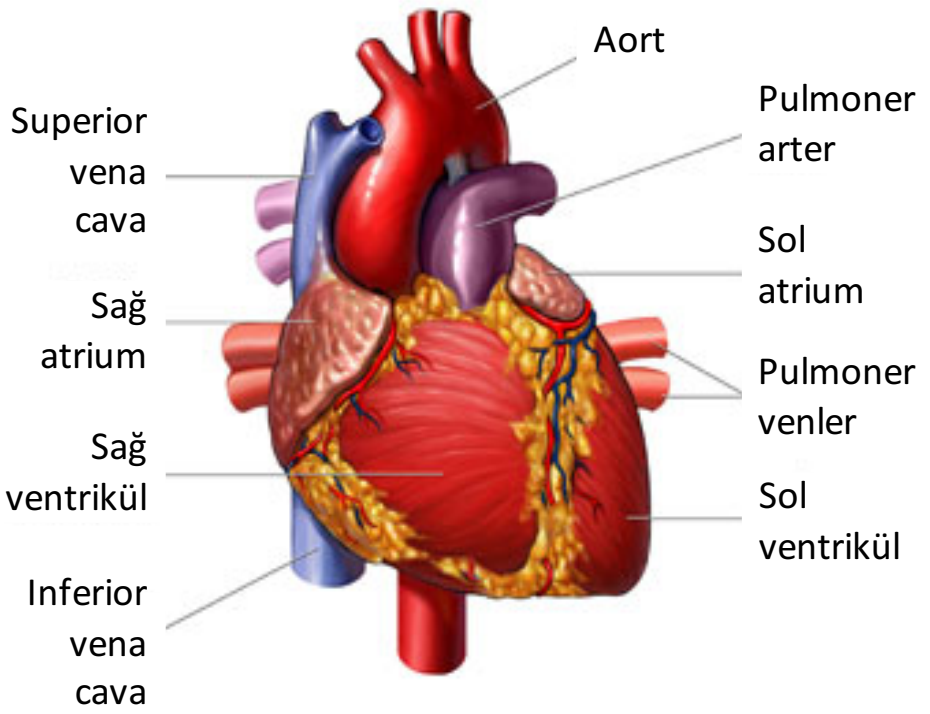
Animasyon:





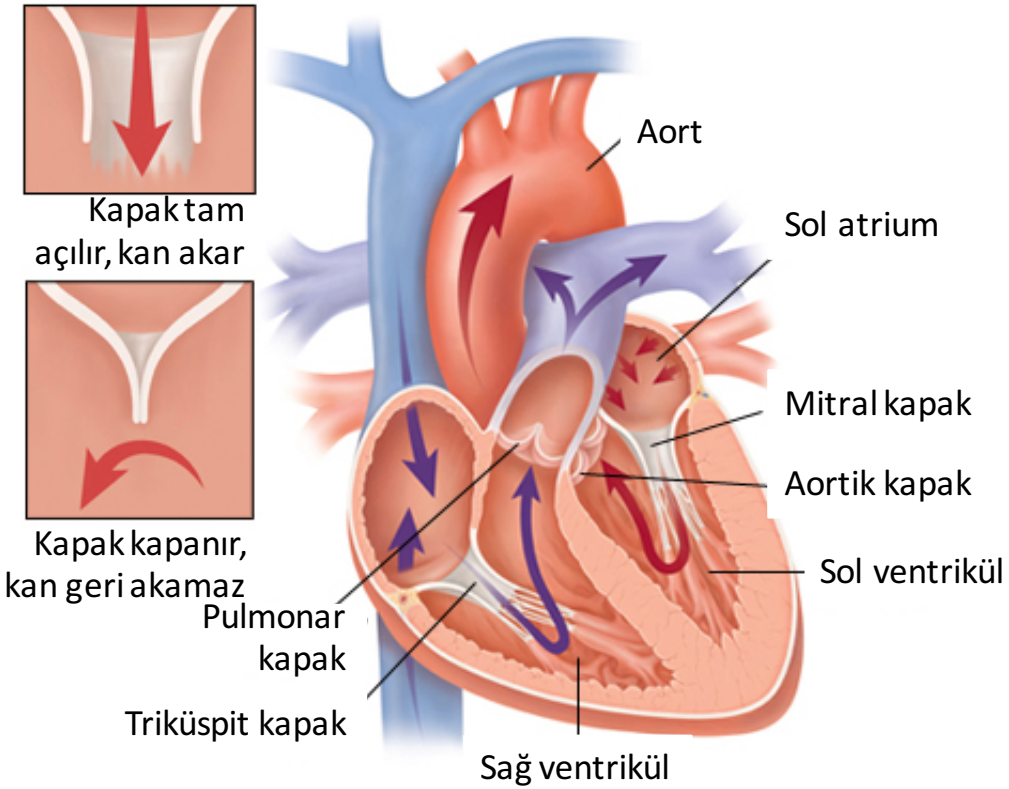
Kalp

- Kardiyovasküler sistem **kalp** ve **damar**lardan oluşur.
- Kalpte **atrium** (kulakçık) ve **ventrikül** (karıncık) adı verilen boşluklar bulunur.
- Kalbi **interventriküler septum** isimli kas bir duvar sağ ve sol olmak üzere ikiye ayırır. Sağ atrium ve sağ ventrikülün oluşturduğu sağ pompa ve sol atrium ile sol ventrikülün oluşturduğu sol pompa olmak üzere iki pompa şeklinde çalışır.



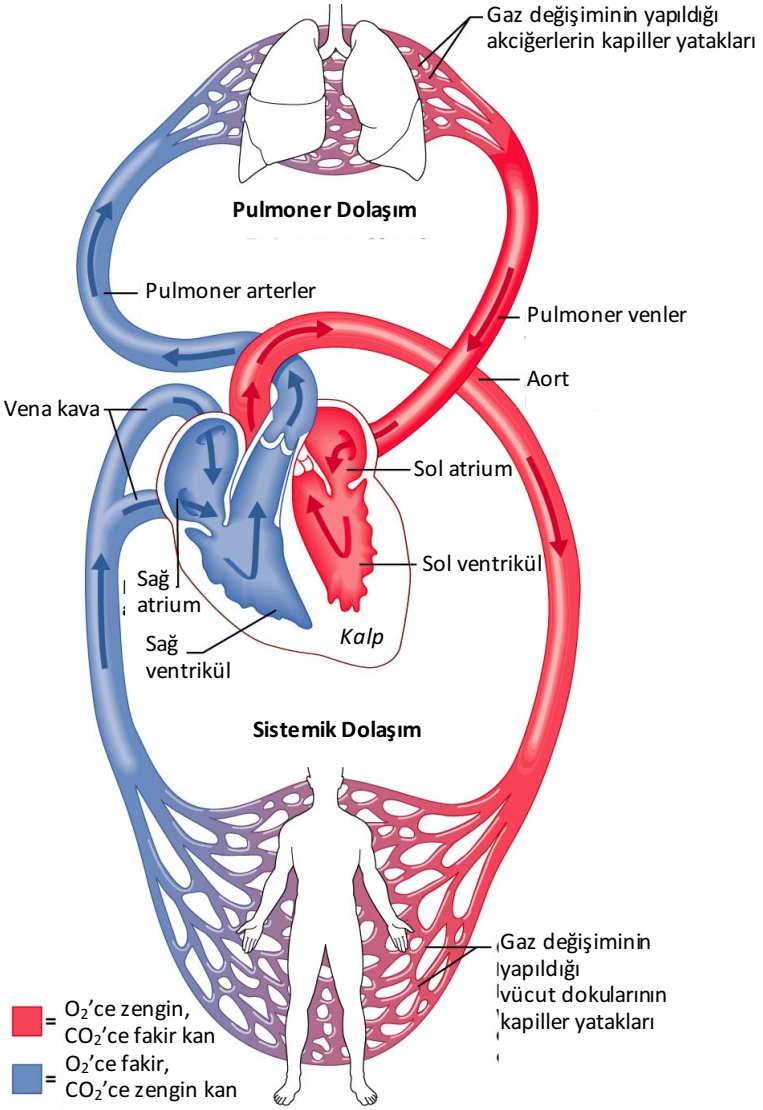
Kalp

- Kalpteki kan atriadan ventriküllere doğru hareket eder.
- Ventriküllerdeki kan ise arterlere (atardamar) doğru pompalanır.
- Hareket eden kanın geri dönüşünü engellemek için kalpte kapakçıklar bulunur.
  - Atriumlar ile ventriküller arasındaki kapakçıklara **atrioventriküler kapak**, ventriküller ile arterler arasındakilere ise **semilünar kapak** denir.
- **Aort**, sol ventrikülden çıkan ve bütün vücuda oksijenli kan götüren en büyük atardamardır.



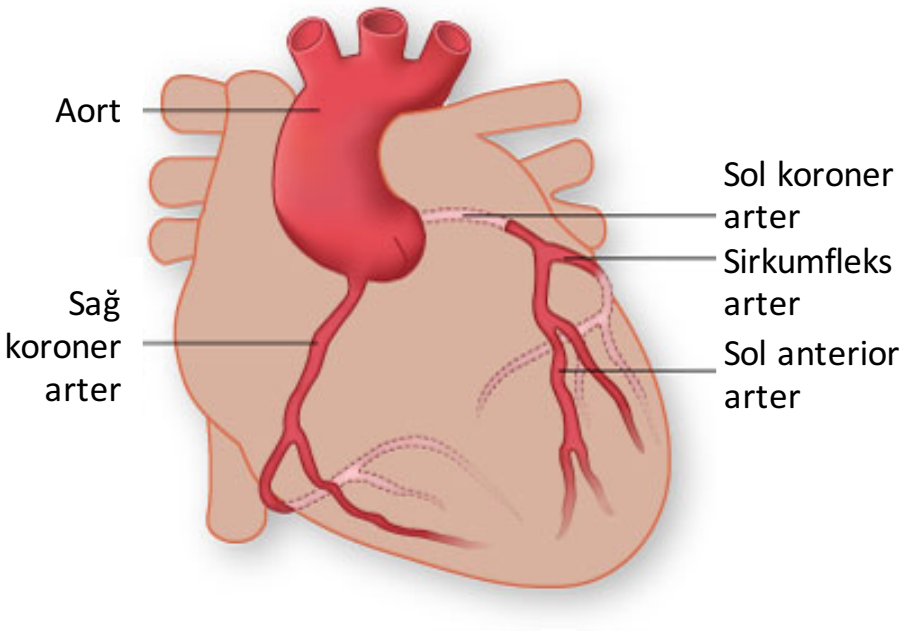
Pulmoner ve Sistemik Dolaşım

- Kalbin **sağ bölümü** oksijen miktarı az, karbondioksit miktarı fazla olan kanı akciğerlere gönderir.
  - Akciğerde kanın oksijen miktarı normale döner ve tüm vücuda pompalanmak üzere kalbin **sol bölümüne** geri gelir.
  - Bu dolaşıma **pulmoner dolaşım (küçük dolaşım)** denir.
- Kalbe geri dönen oksijenli kan ise, sol atriumdan sol ventriküle ve oradan da **aort** yoluyla bütün vücuda pompalanır.
  - Dokularda, oksijen enerji için kullanılırken karbondioksit üretilir ve karbondioksit miktarı yüksek olan kan **venöz dönüşler**, **vena kava** (en büyük toplardamar) yolu ile **sağ atriuma** geri döner.
  - Bu dolaşıma **sistemik dolaşım (büyük dolaşım)** denir.



Koroner Dolaşım

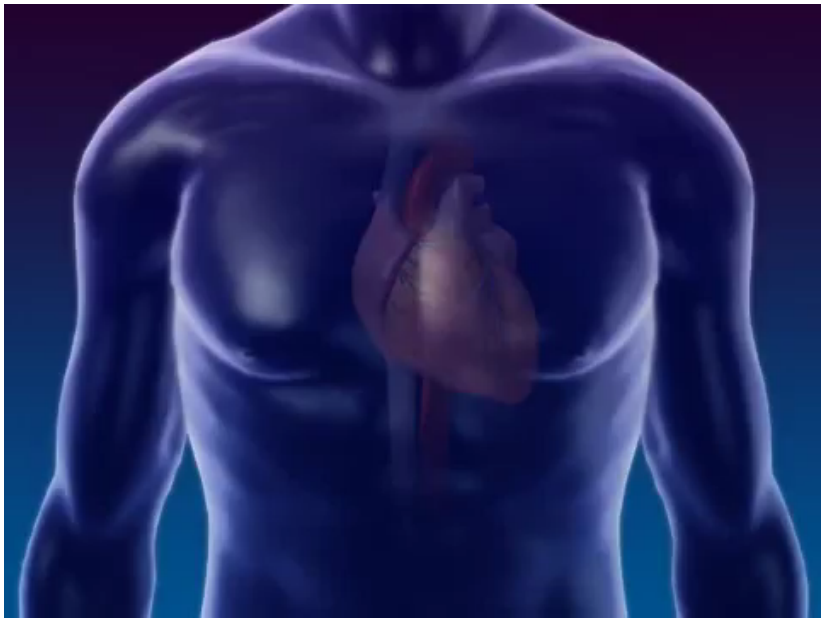
- Kalp kası olarak bilinen **miyokardiyum** kalbin kasılmasından ve kanın kalpten çıkışından sorumludur.
- **Miyokardiyum**, ihtiyacı olan kanı koroner arterlerden (kalbin kendi atardamarı) alır ve böylece kendisine gerekli olan oksijeni elde etmiş olur.
- Kalp kasının kendisine sağlanan bu dolaşıma **koroner dolaşım** denir.
  - Sağ ve sol koroner arterler bu işlemi yerine getirirler. Koroner arterler aorttan çıkarlar ve kalbi çevrelerler. Kalbin etrafında koroner arterlere paralel olarak koroner venler de bulunur ve bu venler kanı büyük toplardamara (vena kava) boşaltırlar. Bu damar da kanı sağ atriuma boşaltır.



Kalbin Uyarılması

- Kalp bağımsız bir kasılma ritmine sahiptir. Bu otoritmi, kalbin sağ atriumunda bulunan **sinoatrial düğüm (SA düğüm)** adı verilen, kalpteki özel bir doku alanı sağlar.
  - Sinirsel uyarı SA düğümden atria boyunca dağılır ve böylece ilk önce atria kasılır ve içindeki kanı ventriküllere boşaltır.
  - Atriadaki bu uyarı, atria ile ventriküllerin birleştiği yerde bulunan ve atrioventriküler düğüm (AV düğüm) adı verilen alanı harekete geçirir.

Animasyon:



Kardiyak Debi

- **Kardiyak debi** (CQ, kardiyak output veya kalp dakika atım volümü) kalpten bir dakikada pompalanan kan miktarıdır.
- **Kalp atım hızı** (KAH; kalbin bir dakika içindeki kasılma sayısı) ve **kalp atım volümünün** (KAV; ayrıca strok volüm (SV) de denir, kalpten bir atımda pompalanabilen kan miktarıdır) bir ürünüdür:

$$CQ = KAV \; x \; KAH$$

- Örneğin; istirahat sırasında bir insanın kalp atım hızının dakikada ortalama 70 atım olduğu ve strok volümün ise 0,75 litre olduğu varsayıldığında;

$$\text{I}stırahat \; CQ = 0{,}75 \; x \; 70 = 5{,}2 \; L/dak$$

Strok Volüm ve Egzersiz

Strok volümün egzersize cevabı ile ilgili şu sonuçlara varılmıştır;

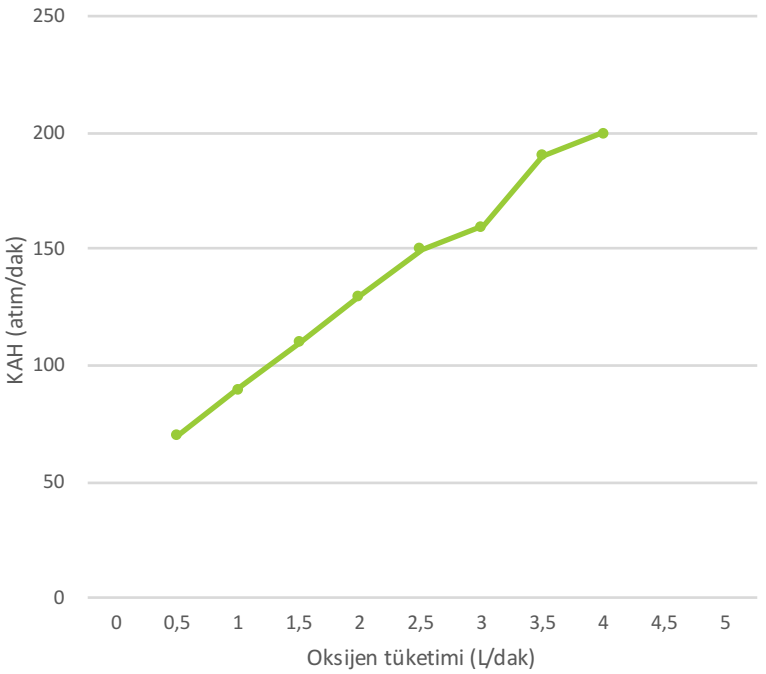
1. **Antrenmanlı kişiler** aynı yaştaki antrenmansız kişilere göre istirahat ve **egzersiz sırasında daha yüksek strok volüme sahiptirler**.
2. Antrenmanlı ve antrenmansız kişilerde strok volümdeki **en büyük artış istirahatten orta şiddetli egzersize geçerken** görülmektedir. Egzersizin şiddeti arttıkça kalp atım volümündeki artış daha az olmaktadır.
3. **Maksimal strok volüme**, **VO_2maks'ın %40-50'sinde** ulaşılmaktadır. Bu da genç yetişkinlerin 110-120 atım/dak kalp atımına denk düşmektedir.
4. **Sedanter bireylerde**, istirahatten egzersize geçiş sırasında **strok volümde çok küçük bir artış** gözlenmektedir.
5. Dayanıklılık sporcularının çok yüksek kardiyak debiye sahip olmalarının temel nedeni, artan **maksimum strok volüm**dür.

Kalp Atım Hızı (KAH) ve Egzersiz

❖**Normal KAH:** Dinlenme sırasında KAH, sağlıklı kişilerde ortalama 60-80 atım/dak'tır. Orta yaş, sedanter bireylerde 100 atım/dak kadar yüksek olabilir. Dayanıklılık sporcularında 30-40 atım/dak'a kadar düşebilir.

❖**Maksimum KAH (KAH_{maks}):** Egzersiz sırasında kalp atımları egzersiz şiddetine bağlı bir artış gösterir. Kullanılan O_2 miktarı , egzersizin şiddeti ile direkt olarak ilgilidir. Egzersiz şiddetinin KAH'a bakılarak tahmin edilmesi pratik bir yöntemdir.

- Yorgunluk noktasına gelindiğinde kalp atımlarının artışında bir yavaşlama olur ve belli bir seviyede kalır. Bu ulaşılan en yüksek kalp atım sayısına **maksimum kalp atım hızı** denir.



Kalp Atım Hızı (KAH) ve Egzersiz

Bir antrenör kalp atım sayısını kullanarak;

1. **Egzersizin şiddeti**ni belirleyebilir,
2. **Antrenmanın etkisi**ni değerlendirebilir,
3. İlk iki madde sonuçlarına dayanarak, yükleme prensibine göre **en etkili antrenman programı**nı geliştirebilir.





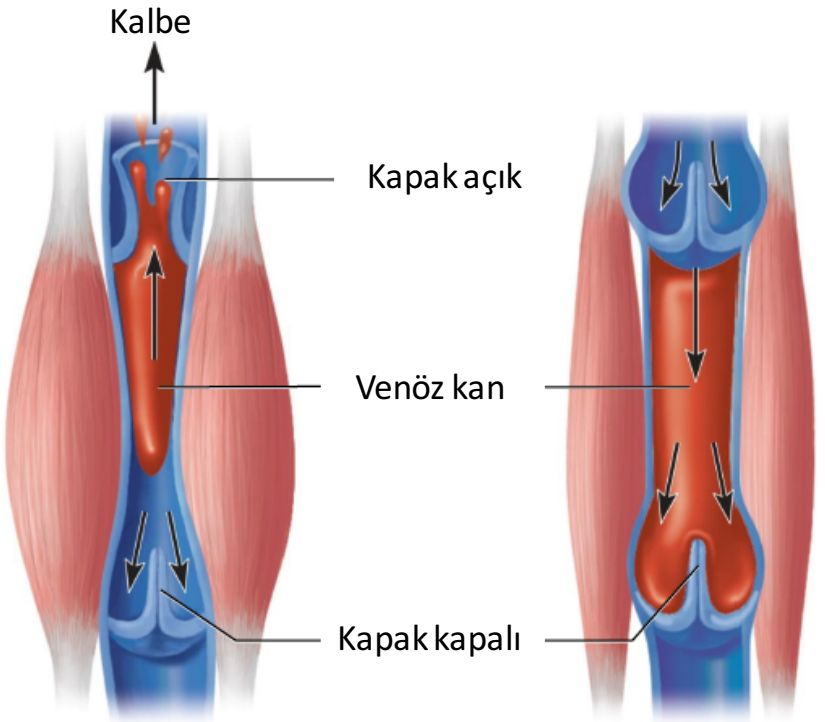




Venöz Dönüş

Egzersiz sırasında venöz kan dönüşünü artıran 3 mekanizma vardır:

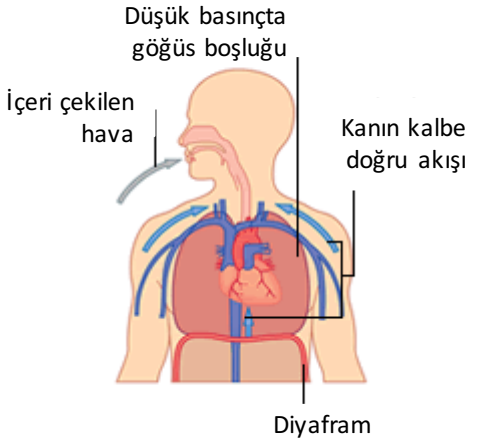
- **Kas pompası:** kas kasılırken, kaslardaki venler sıkıştırılır ve bu kanın kalbe doğru akmasına neden olur. Egzersiz sırasında kas kasılmasının artması nedeni ile, bu artmış kas pompası sayeseinde kalbe gelen venöz kan dönüşü miktarı da artar.



a) Kasılmış iskelet kası b) Gevşemiş iskelet kası

Venöz Dönüş

❖**Solunum pompası:** Nefes alma sırasında intratorasik (göğüs kafesi içi) basıncın artması ile göğüsteki venlerin kanın ve diyaframın düzleşip abdominal basıncın artması ile karındaki venlerin kanının kalbe boşaltılması sağlanır. Nefes verme sırasında da basınçlardaki tam tersi durumla birlikte venler tekrar kanla dolar. Egzersiz sırasında solunum miktarı arttığından, venöz kan dönüşü de o doğrultuda artmaktadır.



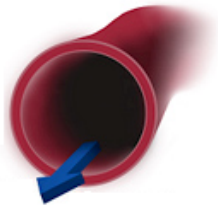
❖**Vazokonstriksiyon:** Kaslarda bulunan venlerin refleks kasılmasıdır (venlerin daralmasıdır). Sistemik dolaşımın volüm kapasitesini düşürerek, kanı kalp yönünde gitmeye zorlar.



Kan Akışının Dağılımı

- **Dinlenme** sırasında kardiyak debinin yaklaşık **%20'si iskelet kaslarına**, geri kalan bölüm ise iç organlara gitmektedir.
- **Egzersiz** sırasında ise, çalışan kasların dinlenme durumunda göre 10-20 kat daha fazla oksijene ve dolayısıyla kana ihtiyacı olduğundan, kan dolaşımının çok büyük bir bölümü kaslara gider.
- **Maksimal** bir egzersizde bu miktar, kardiyak debinin **%85-90'ına** ulaşabilir.
  - **Miyokardiyuma** giden kan miktarında da **artış** olurken, **beyine** giden kan miktarı **sabit** kalır. **Diğer bölgelere** giden kan miktarında **azalma** olur.
- Bu yeni kan dağılımı ise şu şekilde olur: Egzersiz sırasında aktif olmayan iç organlar ve derideki arteriollerde refleks **vazokonstriksiyon**, aktif kaslardaki arteriollerde ise **vazodilatasyon** olur.

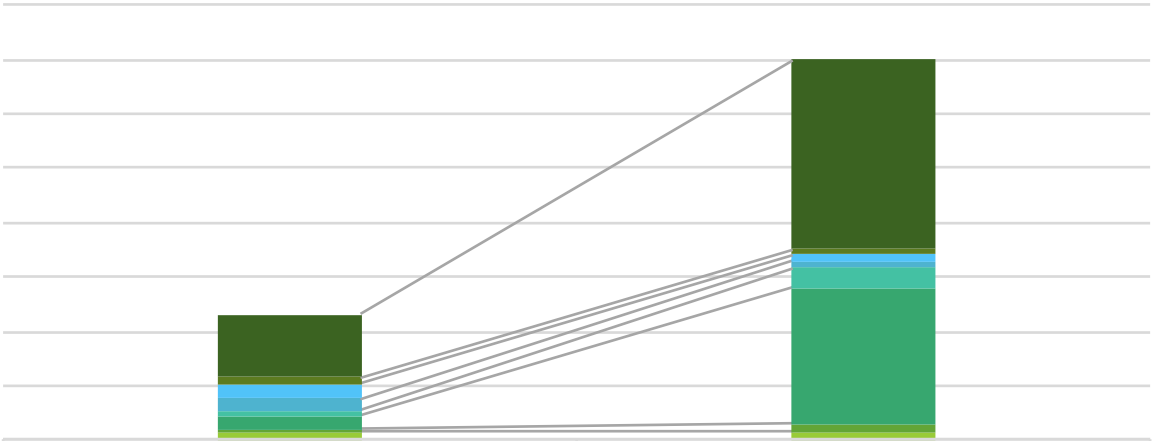
Vazodilatasyon



Vazokonstriksiyon



Kan Akışının Dağılımı



	Dinlenme durumu (mL/dak)	Şiddetli egzersiz (ml/dak)
Toplam	5800	17500
Diğerleri	600	400
İç organlar	1400	600
Böbrek	1100	600
Deri	500	1900
Kas	1200	12500
Kalp	250	750
Beyin	750	750

Sistemik kardiyak debinin dinlenme ve şiddetli egzersizler sırasında dağılımı

Arterio-Venöz O_2 Farkı

- Artan O_2 ihtiyacını karşılamak ve O_2 kullanma kapasitesini artırmak için kardiyak debiyi artırmanın yanı sıra bir diğer mekanizma ise dokuya ulaşan O_2'nin daha büyük bir kısmını kullanmaktır. Buna **arterio-venöz oksijen farkı**nı (**a-v O_2 farkı**) artırmak denir.

- **İstirahat** sırasında kandaki O_2 miktarı, her 100 ml arterial kanda **20 ml O_2** ve her 100 ml venöz kanda **14 ml O_2**'dir.
  - **a-v O_2 farkı 6 ml** (20 ml – 14 ml = 6 ml) olur. Bu değer kanın dokulardan geçerken dokular tarafından ne kadar O_2 kullanıldığını ifade eder.

- **Egzersiz** sırasında kaslar arterial kandan daha fazla O_2 alacağından venöz kandaki O_2 miktarı düşecek yani **a-v O_2 farkı artacaktır**.
  - Maksimal egzersiz sırasında kalbin sağ atriumuna gelen her 100 ml venöz kanda **4-5 ml O_2** kalır. Bu durumda a-v O_2 farkı, dokuların daha fazla O_2 kullandığını gösterir şekilde **15 ml** (20 ml – 5 ml = 15 ml) kadardır.

Oksijen Taşıma Sistemi

Vücutta kullanılan maksimal oksijen tüketimi, kardiyak debi ve a-v O_2 farkı arasındaki ilişki şu şekilde açıklanabilir:

$$Maksimal\ oksijen\ tüketimi\ (maksVO_2) = kardiyak\ debi\ (CQ) x\ a - v\ O_2 farkı$$

Bu ilişki; maksimal oksijen tüketiminin, kalpten bir dakikada pompalanan kan miktarı ile dokuların kullandığı oksijen miktarı tarafından belirlendiğini açıklamaktadır.

Oksijen Taşıma Sistemi

Antrenman durumu	VO2 (ml/dak)	=	Strok volüm (L/atım)	x	KAH (atım/dak)	x	a-v O2 farkı (ml/L)
Antrenmansız							
a. Dinlenmede	300	=	0,075	x	82	x	48,8
b. Maksimal egzersizde	3100	=	0,112	x	200	x	138,0
Antrenmanlı							
a. Dinlenmede	300	=	0,105	x	58	x	49,3
b. Maksimal egzersizde	3440	=	0,126	x	192	x	140,5
Dayanıklılık sporcuları							
a. Maksimal egzersizde	5570	=	0,189	x	190	x	155,0

Antrenmanlı ve antrenmansız kişilerde ve dayanıklılık sporcularında dinlenme ve maksimal egzersiz sırasında oksijen taşıma sisteminin bölümleri

Sunum sonu ☺

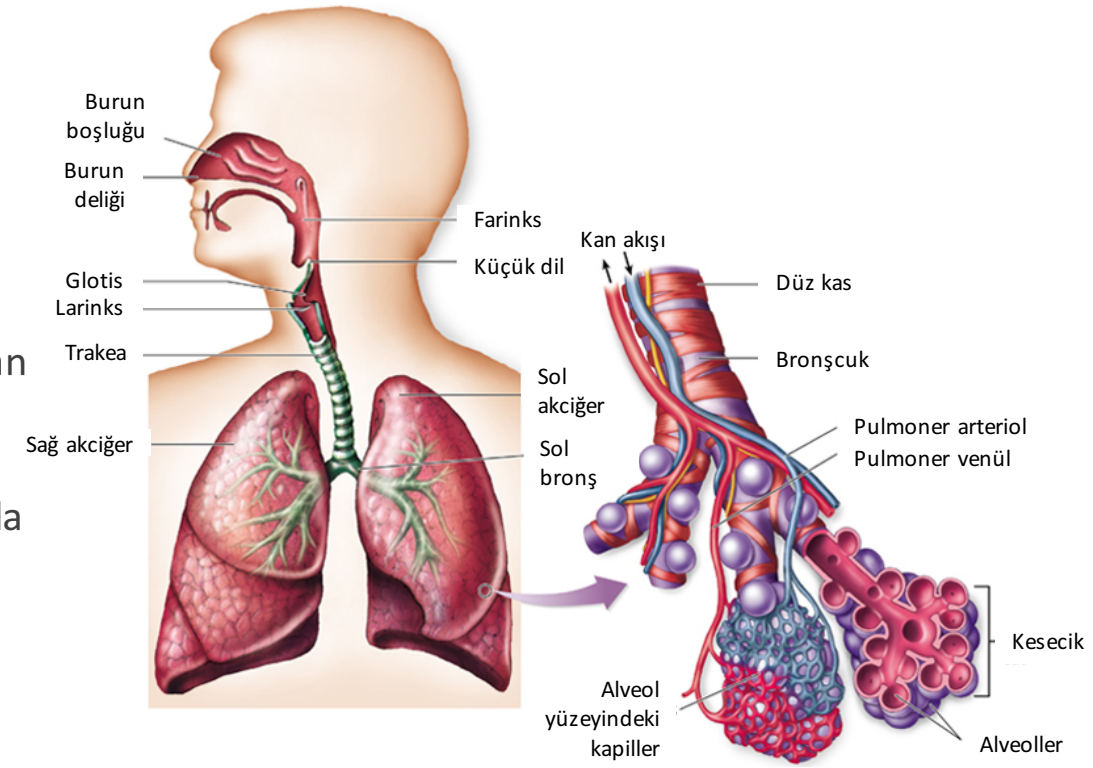
Solunum Sistemi ve Egzersiz

Solunum Sistemi

- Solunum sisteminin temel görevi, dış ortam ile vücut arasındaki **gaz değişimini** sağlamaktır.
- Kaslar, ihtiyaç duydukları enerji için **O_2** kullanır ve **CO_2** üretir. Akciğerler O_2'nin kana transferini, CO_2'nin de vücuttan atılmasını sağlar.
- Akciğerler ve kan arasındaki O_2 ve CO_2 değişimi **ventilasyon** ve **difüzyon** sonucu olur.
  - Havanın akciğerlere mekanik olarak girip çıkması işlemine **ventilasyon**,
  - Moleküllerin yüksek konsantrasyondan düşük oldukları konsantrasyona doğru yaptıkları rastgele hareketlere de **difüzyon** denir.
  - **Ventilasyon** ile akciğerlere alınan havadaki O_2 miktarı, venöz kandaki O_2 miktarından daha yüksek olduğu için O_2 akciğerlerden kana geçer (difüze olur). Benzer şekilde venöz kandaki CO_2 miktarı akciğerdekinden daha fazla olduğu için CO_2'de kandan akciğere doğru difüze olur ve **ekspirasyon** ile dışarı atılır.

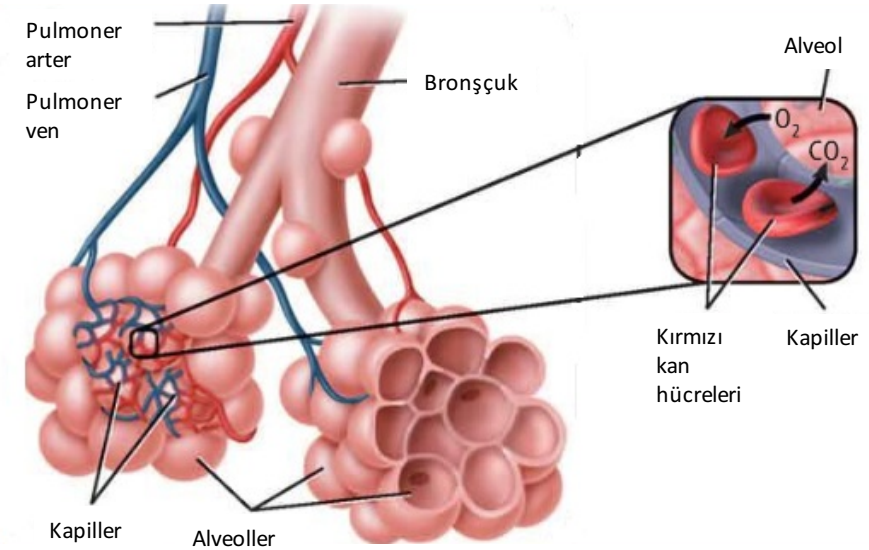
Akciğerlerin Temel Anatomisi

- Göğüs boşluğu içerisinde sağ ve sol olmak üzere iki akciğer yer alır.
- Her akciğer **plevra** adı verilen ve aralarında **plevral sıvı** bulunan iki kat zar ile çevrilidir.
  - Akciğerler ve kaburgalar arasında yer alan bu iki zar ve aralarındaki sıvı, ventilasyon sırasında meydana gelebilecek sürtünmeyi önler.
- Hava, **burun** veya **ağız** yoluyla **farinks**e, oradan ses tellerini de içeren **larinks**e ve oradan da **trakea**ya ulaşır.
- Trakea akciğerlerde **bronş**lara ve daha sonrada **bronşiol**lere ayrılır.
- Bronşioller, gaz değişiminin meydana geldiği hava kesesi şeklindeki **alveol**lerde sonlanır.



Akciğerlerin Temel Anatomisi

- Vücutta 300 milyondan fazla alveol vardır.
- Alveollerin elastik, ince zarımsı duvarları, akciğerler ve kan arasındaki **gaz değişimi** için çok önemli bir yüzey alanı sağlar.
- Bu kesecikler vücuttaki organların hepsinden daha fazla kapiller damara sahiptir.
- Alveollerde bulunan O_2 kapiller kana, kapiller kandaki CO_2 de alveollere geçer.



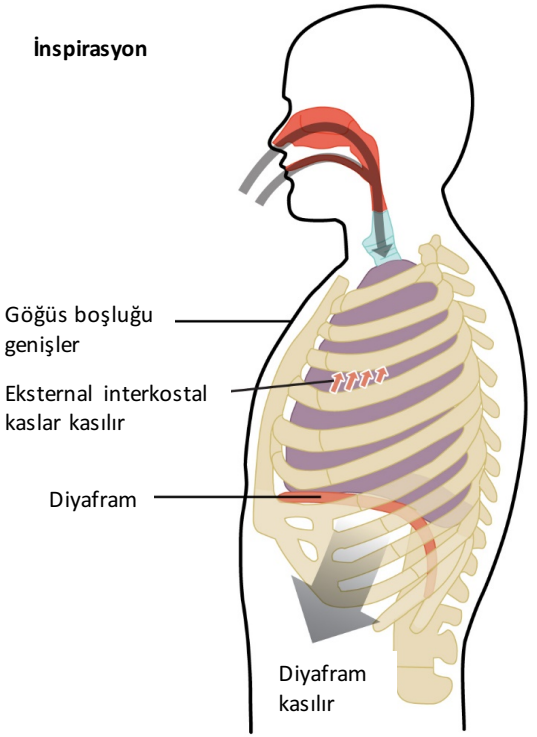
Ventilasyon

Havanın akciğere girip-çıkması işlemine ventilasyon denir ve iki bölümden oluşur:

1. İnspirasyon (nefes alma):

- Kaburgalar ve sternum (göğüs kemiği), **eksternal interkostal kaslar** tarafından yukarı, ileri veya dışarı doğru kaldırılır ve **diyafram** kasılır ve aşağı doğru düzleşir.

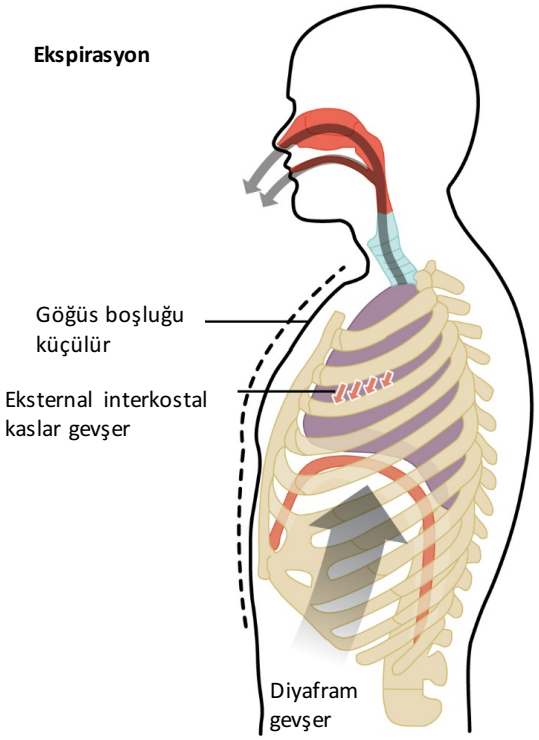
- Bu hareketler göğüs kafesini büyütür ve akciğerin hacmini genişleterek akciğerlerin içindeki basıncı düşürür ve daha yüksek olan atmosferik basınç dolayısıyla dışardan akciğerlere hava dolar.



Ventilasyon

2. Ekspirasyon (nefes verme):

- İnspirasyon sırasında kasılan kasların gevşemesi ve akciğerlerin elastik geri çekilimi ile ekspirasyon gerçekleşir. Kaburgalar ve sternum aşağı doğru inerek başlangıç pozisyonuna geri döner.
- Diyafram gevşediğinde yukarı doğru bombeli pozisyonuna geri döner.
- Böylece göğüs kafesi içindeki basınç artar ve akciğerlerdeki hava dışarı itilir.
- Dinlenme sırasında ekspirasyon pasif bir harekettir.



Ventilasyon

❖**Maksimum dakika ventilasyonu (MDV):** Bir dakika içinde akciğerlere giren veya çıkan hava miktarıdır. Tidal volüm (TV) ve solunum frekansının (SF) bir ürünüdür;

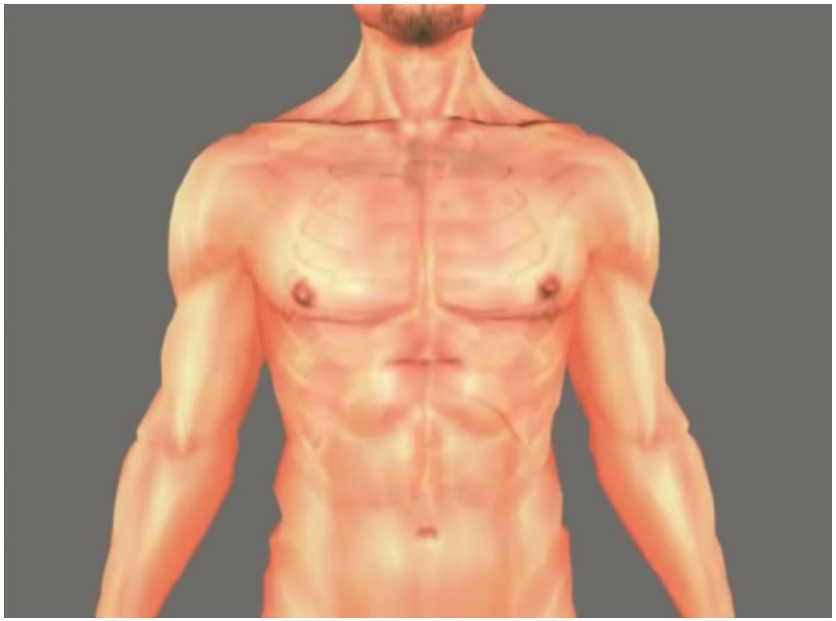
$$MDV\ \left(\frac{L}{dak}\right) = TV\left(\frac{L}{soluk}\right)\ x\ SF\ \left(\frac{soluk}{dak}\right)$$

- Tidal volüm (TV), bir solukta verilen hava miktarı,
- Solunum frekansı (SF) da bir dakikadaki solunum sayısıdır.

Ventilasyon

- **İstirahat ventilasyonu:** Dinlenme sırasındaki MDV cinsiyet ve vücut büyüklüğüne göre değişiklik gösterir. Ortalama TV 0,50 L/soluk, SF ise 12 soluk/dak'dır. Bu durumda MDV = 6 L/dak olur.
- **Egzersiz ventilasyonu:** Artan O_2 ihtiyacı ve CO_2 üretimi nedeniyle egzersiz sırasında MDV artar. Uzun süreli dayanıklılık egzersizleri sırasında erkeklerde 80-100 L/dak, kadınlarda 45-80 L/dak'ya; kısa süreli maksimal egzersizlerde ise 120-140 L/dak'ya ulaşmaktadır.

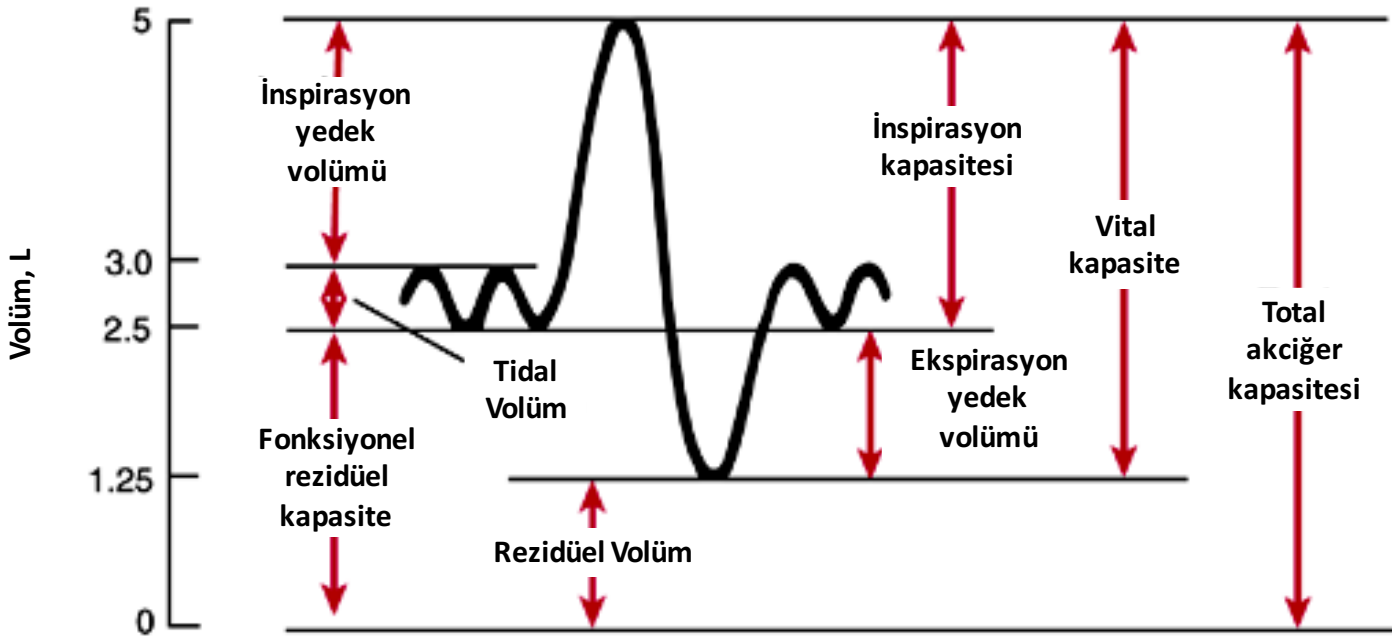
Animasyon: Ventilasyon



Ventilasyon

- Her solukta alınan havanın tümü alveollere ulaşmaz ve böylece gaz değişimine katılamaz. Alveollere ulaşan ve gaz değişimine uğrayan hava miktarına **alveolar ventilasyon** denir.
- Ventilasyon sırasında bir miktar hava burun, ağız, farinks, trakea, bronşlar ve bronşiollerde kalır ve gaz değişimine katılmaz. Bu hava hacmine **anatomik ölü boşluk** denir. Bu hacim erkeklerde yaklaşık 0,15 L, kadınlarda ise 0,10 L kadardır.
  - Genellikler 0,50 L'lik bir solunum volümünden, sadece 0,35 L'si alveol yüzeylerine ulaşır.
- **İnspirasyon yedek volümü (İYV),** normal bir inspirasyonun ötesinde yapılan derin bir inspirasyon ile solunabilen maksimal hava volümüdür.
- **Ekspirasyon yedek volümü (EYV),** derin bir ekspirasyonla ekspire edilebilen hava volümüdür.
- **Rezidüel volüm (RV),** maksimal bir ekspirasyondan sonra akciğerlerde kalan hava volümüdür.
- **Vital kapasite (VK),** maksimal bir inspirasyondan sonra ekspire edilebilien maksimal hava hacmidir. TV, İYV ve EYV'nin toplamından oluşur.
- **Total akciğer kapasitesi (TAK),** maksimal bir inspirasyondan sonra akciğerlerde bulunan hava volümüdür.
- **İspirasyon kapasitesi (İK),** istirahat ekspirasyon düzeyinden sonra, maksimal bir inspirasyonla alınan hava volümüdür.
- **Fonksiyonel rezidüel kapasite (FRK),** normal ekspirasyondan sonra akciğerlerde kalan hava hacmidir.
- **Zorlu vital kapasite (ZVK),** maksimal inspirasyondan sonra süratle ve zorlu olarak yapılan ekspirasyon hacmidir.

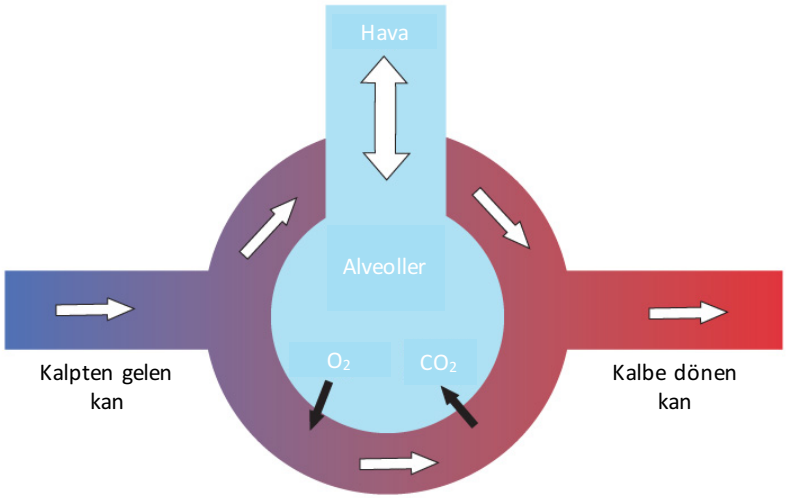
Ventilasyon



Akciğer volüm ve kapasiteleri

Akciğerlerdeki Gaz Değişimi

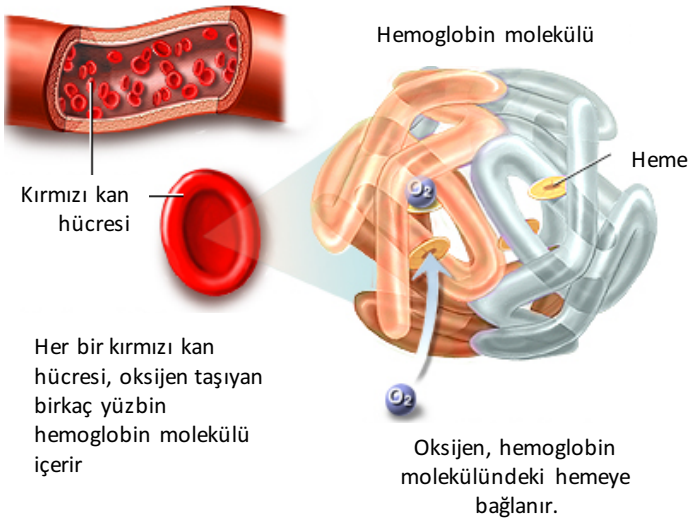
1. Akciğerlerde meydana gelen gaz değişimine **pulmoner difüzyon** denir.
2. Akciğerlere O_2 getiren **hava** ve akciğerlerden O_2 alarak CO_2 bırakan **kan** olmak üzere iki kısımdan oluşur.
3. Hava pulmoner ventilasyon ile akciğerlere getirilir.
4. Vena kava yoluyla kalbin sağ yarısına gelen kan, sağ ventrikülden pulmoner artere pompalanarak akciğer kapiller damarlarına kadar iletilir.
5. Kapiller, alveollerin etrafını çevreler. Kapiller damarların ve alveollerin duvarı gaz değişimine olanak sağlayacak biçimde incedir.
6. Alveoller ve kandaki **gazların kısmi basınçları arasındaki fark** gaz değişimi için ortam oluşturur.
7. Standart atmosfer basıncında **PO_2 159 mmHg**'dir. Hava solunum ile vücuda alındığında ve alveollere geldiğinde **PO_2 100-105 mmHg**'ye kadar düşer.
8. O_2'nin büyük kısmını dokulara bırakan kan akciğer kapiller damarlarına geldiğinde **PO_2 40-45 mmHg** düzeyindedir.
9. Alveol ve kan arasındaki oksijenin kısmi basınç farkı sayesinde O_2, **kısmi basıncı yüksek olduğu alveollerden, düşük olduğu kana doğru**, PO_2 dengelenene kadar geçer.
10. Gaz değişiminin başladığı kapiller damarların arterial kısmında PO_2 40 mmHg iken, venöz ucuna doğru ilerledikçe 105 mmHg'ye eşitlenir. Böylece akciğerden ayrılan pulmoner vendeki kan dokulara O_2 götürebilmek için O_2'ce zengin hale gelir.
11. Alveollere gelen kanda PCO_2 45-46 mmHg, alveollerde ise yaklaşık 40 mmHg'dir. Bu basınç farkı sayesinde CO_2'nin kandan alveollere geçişi hemen gerçekleşir.



Oksijenin Kanda Taşınması

- Oksijen kanda kırmızı kan hücrelerinde (=alyuvar, eritrosit) bulunan **hemoglobine (Hb) bağlı olarak** (%98) ve **kanın sıvı kısmında çözünmüş olarak** (%2) iki şekilde bulunur.

- Kanın O_2 taşıma kapasitesi temel olarak **hemoglobin** miktarına bağlıdır.
  - Her 100 ml kanda, erkeklerde 14-18 gr, kadınlarda 12-16 gr hemoglobin bulunur.
  - Alyuvarlarda bulunan, **demir atomu (heme)** ve **proteinden (globin)** oluşan kompleks bir moleküldür.
  - Hb molekülünde 4 heme grubu bulunur ve her bir heme grubu bir O_2 molekülü ile bağlanır. Yani bir Hb molekülü **4 O_2 molekülü** ile birleşebilir.
  - Bir gram Hb 1,34 ml O_2 ile birleşir. Bir başka deyişle 100 ml kanda ortalama 15 gr Hb ve 20 ml O_2 bulunur.
  - Hb'nin O_2 ile birleşmesine oksihemoglobin (HbO_2), O_2'den ayrılmasına deoksihemoglobin adı verilir.



Oksijenin Kanda Taşınması

- Egzersiz sırasında artan CO_2 ve laktik asit üretimi, kasın ve kanın pH seviyesinin düşmesine; egzersiz sırasında artan ısı üretimi ise vücut ısısının artmasına neden olur.
- Düşük pH, vücut ısısı ve CO_2 miktarındaki artış, Hb'nin O_2 ile doygunluğunu azaltıp O_2'nin Hb'den ayrılarak serbest kalmasına ve O_2'ye ihtiyacı olan hücrelere girmesine neden olur.
  - Akciğerlerde pH düzeyi yüksek olduğundan akciğerlerden geçen Hb'nin O_2'ye bağlanma isteği yüksektir.
- 2,3-DPG alyuvarlarda doku hipoksisi oluştuğunda üretilen bir enzimdir ve görevi O_2'nin doku düzeyinde Hb'den ayrılmasına yardımcı olmaktır.
  - 2,3-DPG konsatrasyonunda oluşan artış, O_2'nin Hb'den ayrılıp dokulara gitmesine neden olur.

Animasyon:



Karbondioksitin Kanda Taşınması

❖ CO_2 de O_2 gibi kanda taşınır ve kanda 3 değişik şekilde bulunur:

a. **Bikarbonat iyonu (HCO_3) olarak:** CO_2'nin %60-70 gibi büyük bir kısmı kanda bikarbonat iyonu olarak taşınır. Kadndaki CO_2 ve su molekülleri birleşerek karbonik asit (H_2CO_3) molekülünü oluşturur. Bu da hızlı bir şekilde ayrışarak hidrojen iyonu (H^+) ve bikarbonat iyonu (HCO_3) açığa çıkarır.

$$H^+ + HCO_3 \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow CO_2 + H_2O$$

Kan akciğerlere girdiğinde H^+ ve HCO_3 iyonları tekrar birleşerek H_2CO_3 oluşturur ve sonra da H_2O ve CO_2'ye ayrışırlar. Bu CO_2'de alveollere geçerek dışarı atılır.

$$CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3$$

Karbondioksitin Kanda Taşınması

b. **Plazmada çözünmüş CO_2 olarak:** Dokulardan bırakılan CO_2'nin %7-10'luk küçük bir kısmı plazmada çözünmüş olarak bulunur. Akciğerlerde, çözünmüş durumdaki CO_2 kandan alveollere difüze olur ve oradan da dışarıya solunur.

c. **Karbominohemoglobin:** CO_2'nin kanda taşınması Hb aracılığıyla da gerçekleşirken CO_2 Hb'ye bağlandığında karbominohemoglobin adını alır. CO_2 Hb'nin globin kısmına, O_2 ise heme grubuna bağlanır. CO_2 kanda bu şekilde küçük miktarlarda taşınır.

Kaslardaki Gaz Değişimi

- O_2'nin dokulara taşınması ve dokular tarafından alınımı üç değişkene bağlıdır;
  1. Kandaki O_2 miktarı
  2. Kan akımının miktarı
  3. Bölgesel koşullar

- Normal koşullarda Hb, %98 oranında O_2 ile doymuş durumdadır. O_2 ihtiyacı bulunan hücrelere O_2 buradan taşınmaktadır.

- Egzersiz sırasında kaslara giden kan akımında bir artış olur. Bu artış ile kaslara daha fazla O_2 ulaştırılır.

- Kas asiditesi, kas ısısı ve CO_2 konsantrasyonundaki artışlar daha fazla O_2'nin Hb'den ayrılmasını sağlar.

Karbondioksitin Kaslardan Uzaklaştırılması

- CO_2, doku ve kapiller kan arasındaki kısmi basınç farkına bağlı olarak, hücrelerden basit difüzyon yoluyla uzaklaştırılır.
- Oksidatif metabolizma sonucu üretilen CO_2 sebebiyle kaslardaki PCO_2 kandaki PCO_2'ye göre daha yüksektir.
- Bunun sonucunda CO_2 kaslardan kana, oradan akciğere ulaştırılır, oradan da dışarıya solunur.

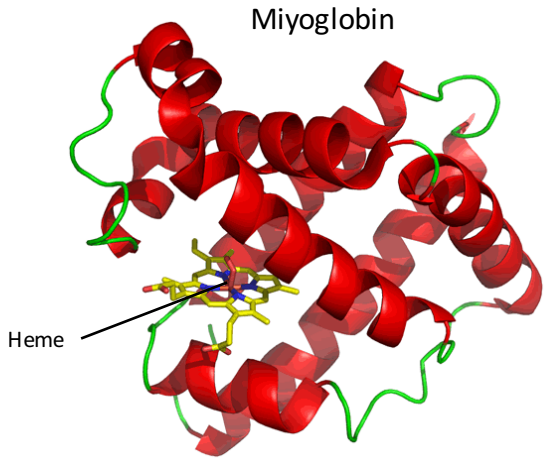
Sunum sonu ☺

Antrenman Adaptasyonları

Aerobik Antrenman Sonucu Kasta Oluşan Adaptasyonlar

Miyoglobin miktarında oluşan değişiklikler:

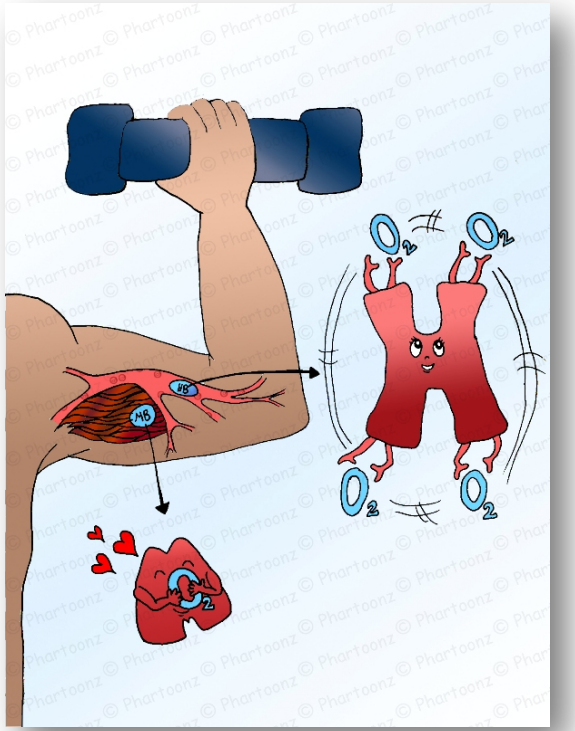
- **Miyoglobin** kas lifine gelen **O_2'yi** hücre membranından alıp **mitokondriye taşır**.
- Egzersizin başlangıcı ile kardiyovasküler sistemin O_2 sağlamada gecikmesi aşamasında mitokondriye gereken O_2 **miyoglobinde depolanan O_2'den sağlanır.**
- O_2 ile bağlandığında kırmızı renge dönüşen bir pigment olduğundan bu kaslara **kırmızı** rengini verir.





Aerobik Antrenman Sonucu Kasta Oluşan Adaptasyonlar

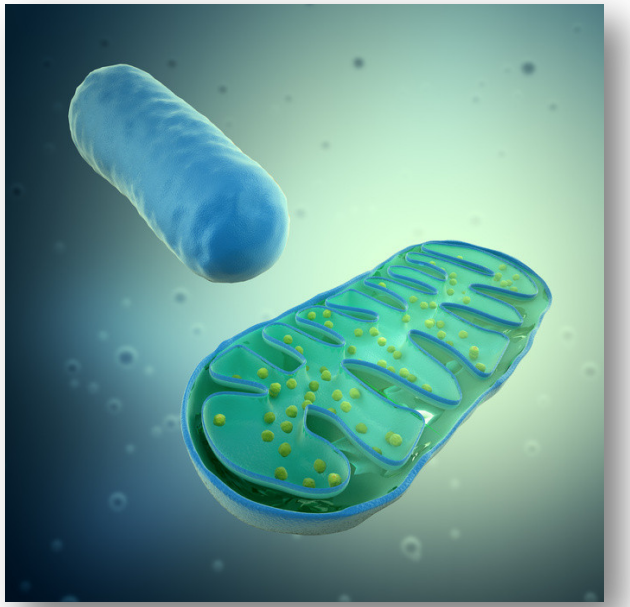
- **ST** kas liflerinde **bol** miktarda **FT** kas liflerinde kısmen daha **az** miktarda miyoglobin bulunur.
- **Dayanıklılık antrenmanlarıyla** iskelet kasının miyoglobin içeriği **%75-80 oranında artırılabilir**.
  - Dolayısıyla, aerobik antrenmanlar sonucunda mitokondriye O_2 difüzyonunda bir artış meydana gelir.
  - Miyoglobin içeriğindeki artış, yalnızca antrenmana aktif olarak katılan kaslarda oluşur ve antrenmanın sıklığı ile doğru orantılıdır.



Aerobik Antrenman Sonucu Kasta Oluşan Adaptasyonlar

Mitokondri fonksiyonunda oluşan değişiklikler:

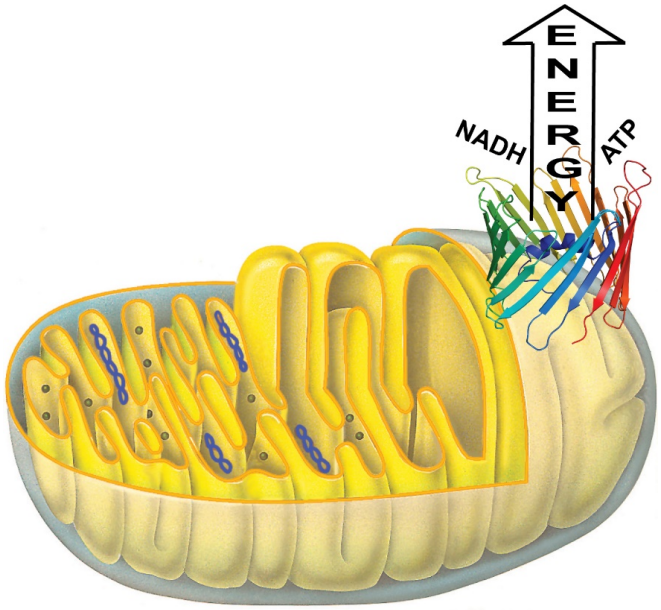
- O_2'yi kullanma ve ATP üretme becerisi, kasta bulunan **mitokondrilerin sayısı**, **büyüklükleri** ve **membran yüzey alanlarında** oluşan artışla ilgilidir.
- Dayanıklılık antrenmanı, mitokondrilerin **sayısında** ve **hacminde** artışa sebep olmaktadır.



Aerobik Antrenman Sonucu Kasta Oluşan Adaptasyonlar

Oksidatif enzimlerde oluşan değişiklikler:

- Dayanıklılık antrenmanlarıyla, aerobik enerji sisteminde rol oynayan **enzimlerin miktarında** ve **aktivite düzeylerinde** artış meydana gelir.
- Bunun sonucu olarak iskelet kasındaki **mitokondrilerin oksidatif fosforilasyonla aerobik olarak ATP üretme kapasiteleri artar.**
- Bu enzimlerin aktivitesindeki artış **maksimum oksijen tüketiminde** de bir artışa neden olur.



Aerobik Antrenman Sonucu Kasta Oluşan Adaptasyonlar

Kas lif tipinde meydana gelen değişiklikler:

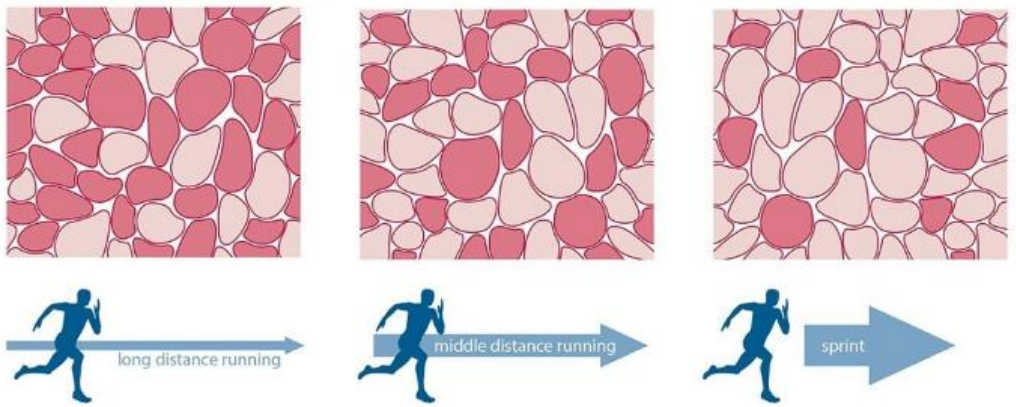
- Antrenmanlar sonucunda tip 1 ve tip 2 liflerinde seçici **hipertrofi** meydana gelir.
  - Örn; dayanıklılık sporcularında tip 1 kas lifleri tip 2 liflerine oranla kasta daha fazla yer kaplar.
  - Çalışmalar, aerobik aktivitelerin ST liflerinde, FT liflerine göre %7-22 oranında daha fazla genişleme sağladığını göstermiştir.
  - Sürat koşucularında, gülle ve disk atmacılarda ise tip 2 lifleri daha fazla alana sahiptir.

Maratoncu



Sprinter

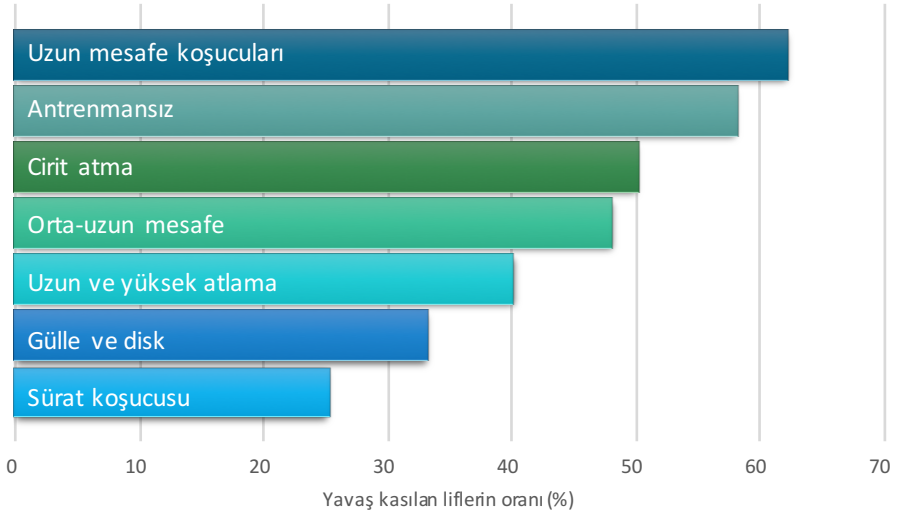




Aerobik Antrenman Sonucu Kasta Oluşan Adaptasyonlar

- Aerobik antrenmanla FTb (hızlı-glikolitik) liflerin FTa (hızlı-oksidatif-glikolitik) lif tipine dönüştüğü kanıtlanmıştır.
- Ancak tip 1 ve tip 2 liflerinin oranlarında büyük bir değişiklik olmamaktadır.

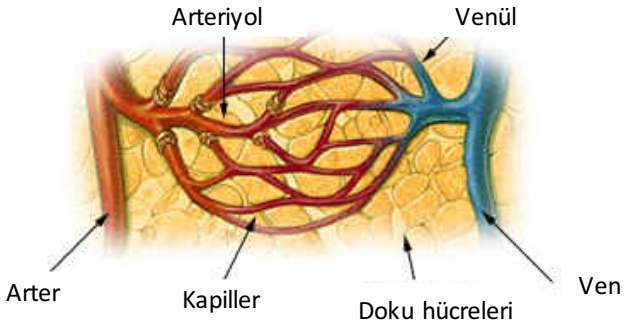
Yani; liflerin sayısı ve oranı doğuştan genetik olarak belirlendiğinden «**sonradan sporcu olunmaz, sporcu doğulur**» tezi de doğrulanmaktadır.



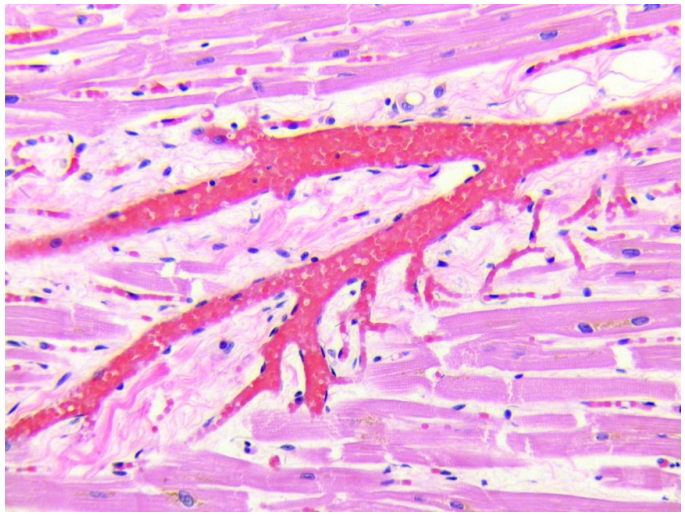
Aerobik Antrenman Sonucu Kasta Oluşan Adaptasyonlar

Kapiller damarlarda meydana gelen değişiklikler:

- Uzun süreli dayanıklılık antrenmanları sonucu **kapiller damar sayısı** %15 kadar artabilir.
  - Kas lifinin etrafında daha fazla kapiller olmasıyla, kan ve kas lifi arasında daha fazla **gaz**, **ısı**, **atık madde** ve **besin** değişimi gerçekleşir.
  - Bu durum, daha **fazla enerji üretilmesine** ve kasların daha **uzun süreli çalışmasına** olanak sağlar.



Kas dokusunda kapiller damarlar



Aerobik Antrenman Sonucu Kasta Oluşan Adaptasyonlar

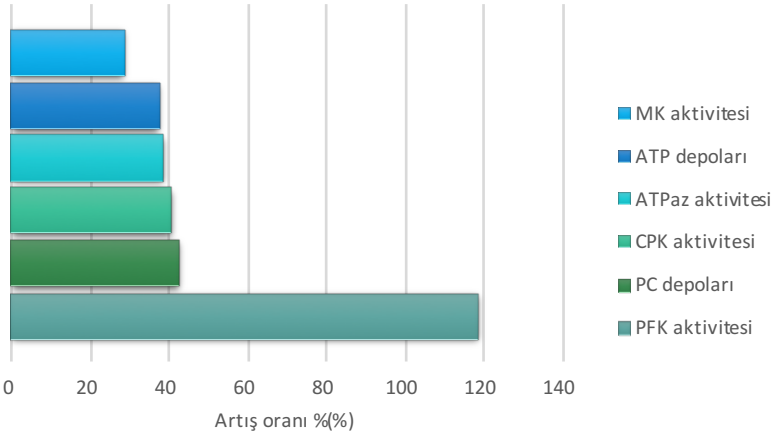
Enerji kaynaklarının kullanımında meydana gelen değişiklikler:

- Aerobik antrenmanla, iskelet kasının **karbonhidratları kullanma kapasitesi** artar.
  - Kasın glikojen depolama ve mitokondrilerin oksidatif kapasitesindeki artış.
- Aerobik antrenmanla, iskelet kasının **yağları kullanma kapasitesi** artar.
  - Kaslara olan kan akışının, yağları mobilize ve metabolize eden enzim aktivitelerindeki artış.
- Aynı submaksimal iş yükünde, **daha fazla yağ oksidasyonu**, **daha az glikojen tüketimi** ve **daha az laktat birikimi** gerçekleşir.
  - Bunun sonucu kasta daha az yorgunluk oluşur.

Anaerobik Antrenman Sonucu Kasta Oluşan Adaptasyonlar

ATP-PC sisteminde meydana gelen adaptasyonlar:

- Anaerobik ve aerobik antrenmanlarla kaslarda bulunan **ATP-PC depoları** artmaktadır.
- ATP-PC sistemini kontrol eden anahtar **enzimlerin miktarlarında** ve **aktivite düzeylerinde** artış olur.
  - Böylece yeniden sentezlenme hızlarında da artış olur.



Antrenman sonucu ATP-PC depoları ve anaerobik enzim aktiviteleri artar.

ATPaz; ATP'nin parçalanmasında,
Myokinaz enzimi (MK); ATP'nin ADP'den sentezlenmesinde,
Kreatinfosfokinaz enzimi (CPK); ATP'nin PC'den sentezlenmesinde rol oynar.

Anaerobik Antrenman Sonucu Kasta Oluşan Adaptasyonlar

Kasın glikolitik kapasitesinin artması:

- Anaerobik antrenman, bir çok glikolitik enzim (özellikle *fosforilaz, fosfofruktokinaz (PFK), laktat dehidrogenaz (LDH)*) aktivitesini artırır.
  - Glikolitik kapasite artar ve kasların yüksek şiddette daha uzun süre çalışabilmesini sağlar.
  - Glikojenin laktik asite parçalanma hızını ve miktarını artırır.
  - Maksimal egzersiz sonrası kan laktik asit düzeyinde önemli artış görülür.
  - Laktik asit sisteminden sağlanan ATP miktarı artar ve bu sisteme dayanan aktivitelerde performans gelişir.

Anaerobik Antrenman Sonucu Kasta Oluşan Adaptasyonlar

- Glikolitik enzim aktivitesi **sürat** ve **güç** sporcularında **dayanıklılık** sporcularına oranla daha fazladır.
- Anaerobik antrenmanlar ile anaerobik enzim fonksiyonları ve kas lifi çapında oluşan değişiklikler **FT kas liflerinde** daha fazladır.



Anaerobik Antrenman Sonucu Kasta Oluşan Adaptasyonlar

Tamponlama kapasitesinin artması:

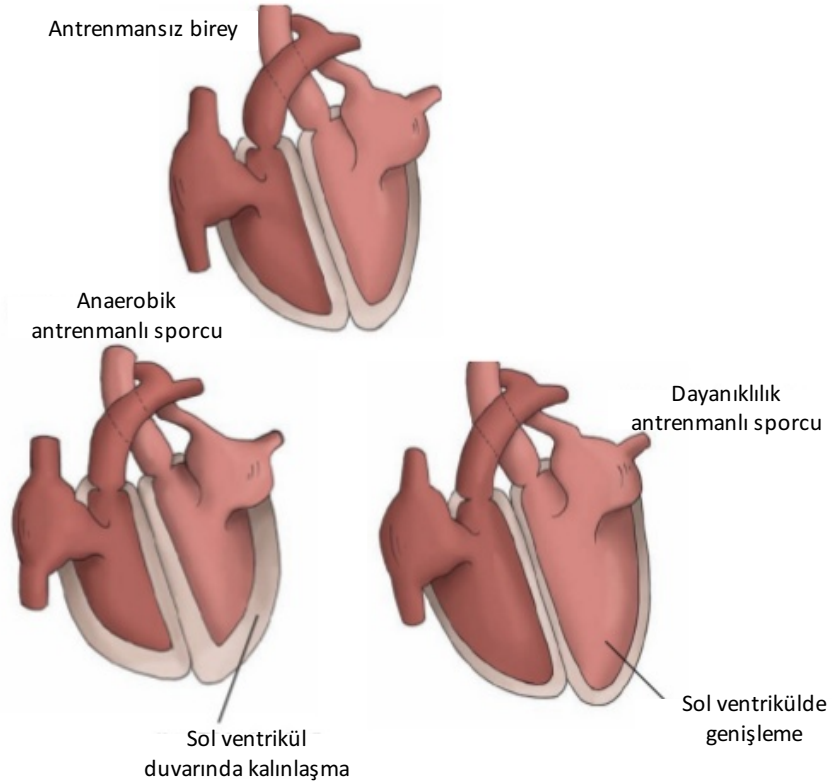
- Anaerobik antrenmanlar, kasların anaerobik glikoliz sırasında ortaya çıkan **laktik asiti tolere etme kapasitesini** artırır.
  - Egzersiz şiddeti yüksek olduğunda CO_2 ve laktik asit miktarındaki artışa paralel oluşan H^+ iyonları uzaklaştırılamaz, pH düşer ve bu durum performansı azaltır.
  - **Bikarbonat** ve **kas fosfatı** gibi tamponlama özelliğine sahip maddelerin H^+ bağlamaları, **asiditeyi** önler ve **yorgunluk** ertelenir.



Kardiyovasküler Sistemde Adaptasyonlar

Kalbin büyüklüğünün artması:

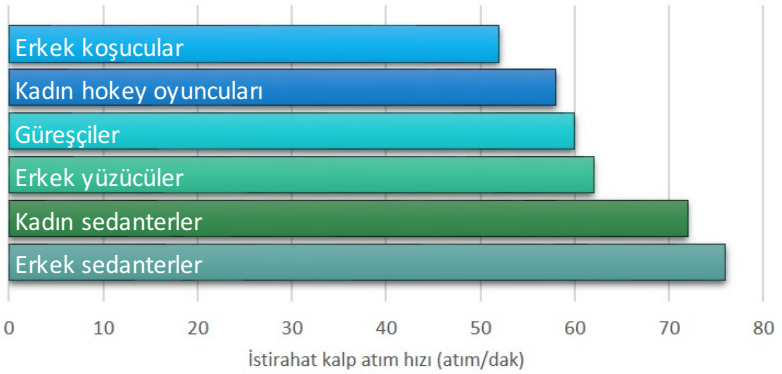
- **Dayanıklılık** sporcularında görülen kardiyak hipertrofi, daha **geniş ventriküler boşluk** ve **normal ventrikül duvar kalınlığı** ile karakterizedir.
  - Kalbin içine alabildiği ve **bir atımda pompalayabildiği kan miktarı artar**.
- **Yüksek şiddette, dirençli** veya **izometrik** aktiviteler yapan sporcularda görülen kardiyak hipertrofi, **normal büyüklükte ventriküler boşluk** ve daha **kalın bir ventrikül duvarı** ile karakterizedir.
  - Atım volümü, sedanterlerden farklı değildir.

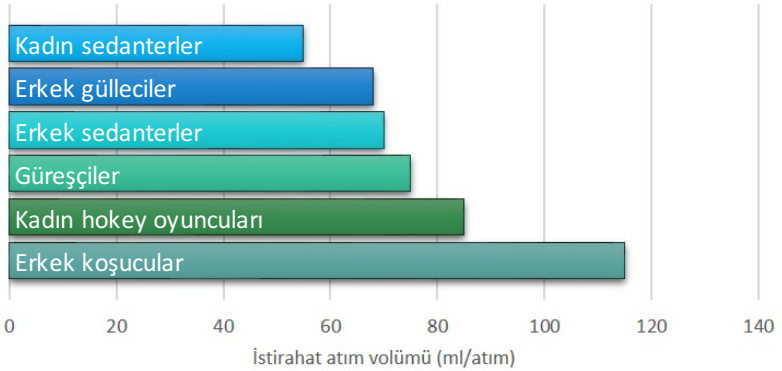


Kardiyovasküler Sistemde Adaptasyonlar

Kalp atım sayısı:

- Dayanıklılık antrenman düzeyi ilerledikçe, sporcunun istirahat ve egzersiz sırasındaki kalp atım sayısında azalma görülür.
  - Bu azalmanın nedeni artan kalp atım volümüdür.
- Kalp daha ekonomik (daha az enerji harcayarak) çalışır.

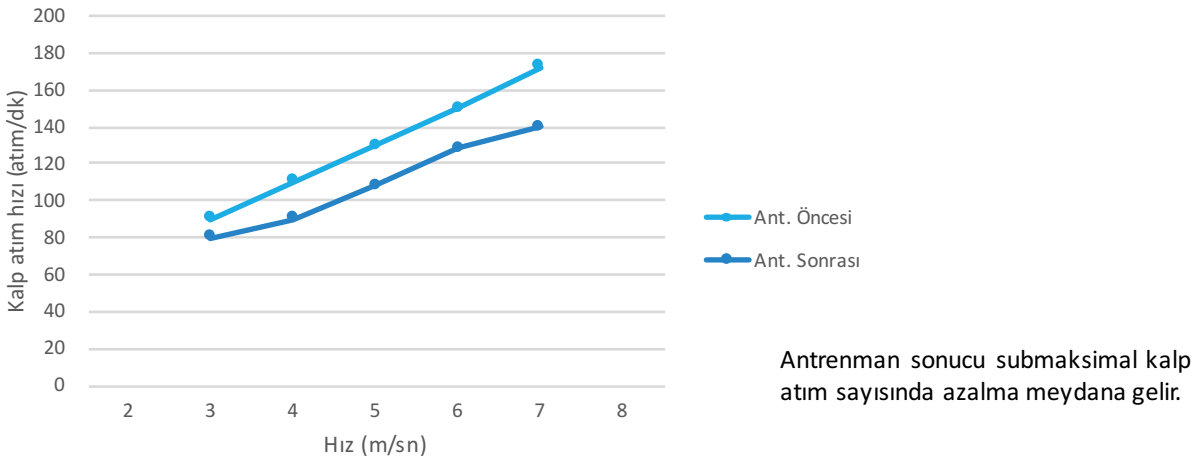




Antrenman sonucu istirahat kalp atım sayısında azalma ve atım volümünde artış meydana gelir.

Kardiyovasküler Sistemde Adaptasyonlar

- Genellikle maksimal kalp atım hızı sabittir.
  - Dayanıklılık sporcularında küçük bir miktar azaldığı görülmektedir.
- Kalp atım sayısının istirahat değerine dönmesi için geçen süre dayanıklılık antrenmanları sonucunda kısalır.



Antrenman sonucu submaksimal kalp atım sayısında azalma meydana gelir.

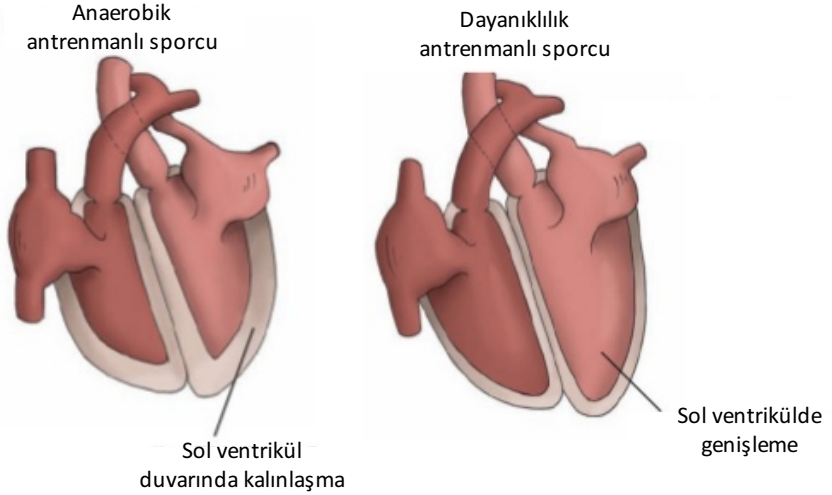
Kardiyovasküler Sistemde Adaptasyonlar

Kalbin atım volümü (strok volüm):

- Kalpte meydana gelen **hipertrofi** ve **ventriküler kavite** artışından dolayı **atım volümü artar**.
  - **Dayanıklılık** sporcularında **daha belirgindir**.

Kardiyak debi (kardiyak output):

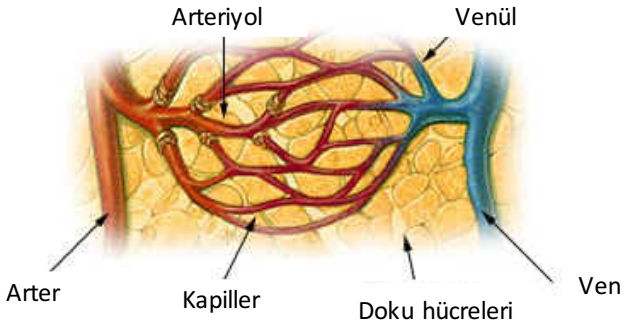
- **İstirahat** ve **submaksimal** bir iş yükü sırasında kardiyak debi de fazla bir **değişim olmaz**.
  - Antrenmanlı kişilerde artan a-v O_2 farkından dolayı daha düşük bile olabilir.
- **Maksimal** kardiyak debi **antrenmanla artar**.
  - KAH_{maks} değişmezken strok volümde artış vardır.



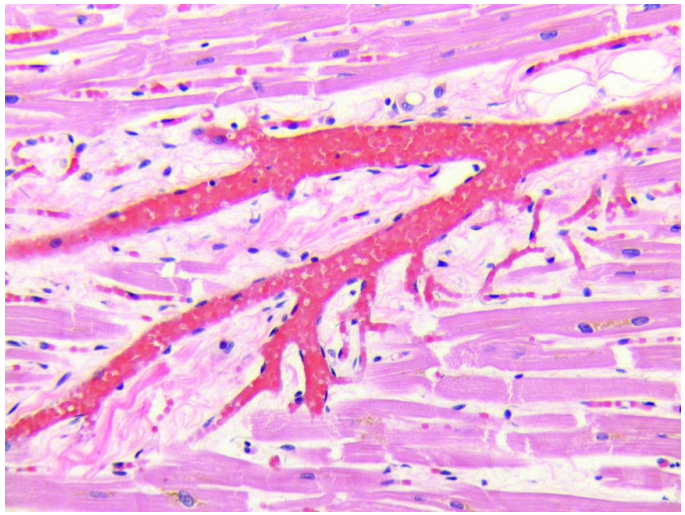
Kardiyovasküler Sistemde Adaptasyonlar

Kan akımı, kan hacmi ve kapillarizasyon:

- Kan akımının daha fazla olabilmesi için antrenmanlı kaslar **yeni kapiller damarlar geliştirirler**.
  - Gazları, ısının, atık maddelerin ve besinlerin değişimi daha iyi bir şekilde yapılır.
- Dayanıklılık antrenmanları kaslarda **var olan** kapiller damarların **daha fazla açılmasına** neden olur.

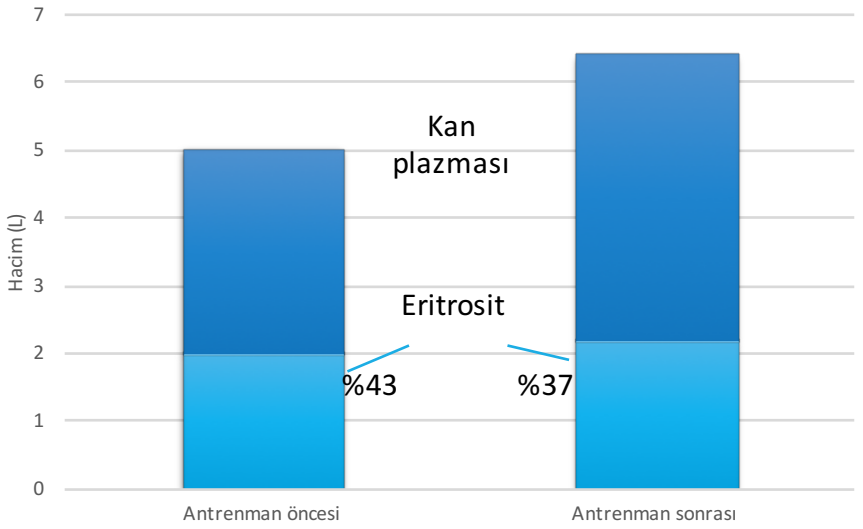


Kas dokusunda kapiller damarlar



Kardiyovasküler Sistemde Adaptasyonlar

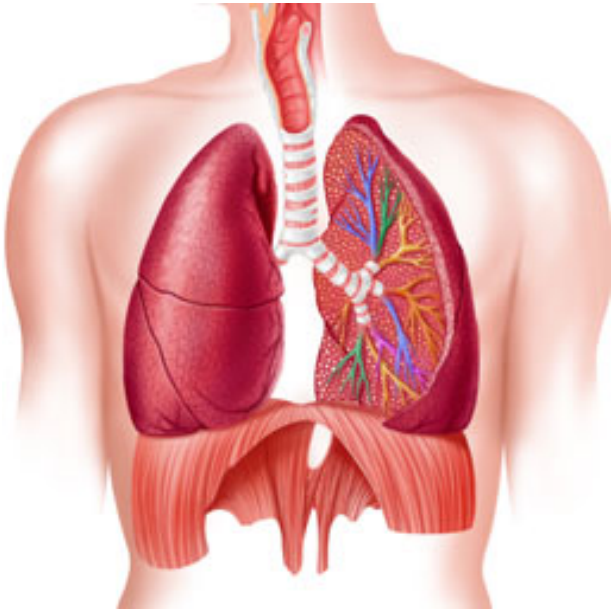
- Dayanıklılık antrenmanları **kan volümünde artış**a sebep olur.
  - Bazı hormonların, eritrositlerin, hemoglobinlerin ve plazma proteinlerinin artması, kanda daha fazla sıvı tutulmasına sebep olur ve kanın plazma volümü artar.
- Antrenman ile, egzersiz sırasında **aktif olmayan** bölgelere **giden kan miktarı azaltılır**.
  - Kanın büyük kısmı aktif kaslara yönlenmiş olur.



Antrenman sonucunda toplam kan volümünde artış meydana gelir.

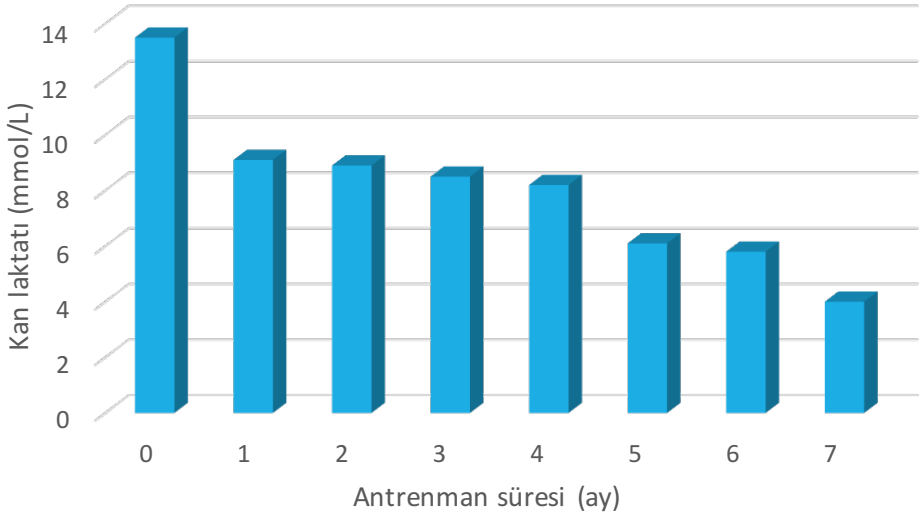
Solunum Sisteminde Adaptasyonlar

- **Solunum sistemi** fonksiyonları genellikle **performansı sınırlamaz**.
  - Egzersizde ventilasyon, kardiyovasküler sistem fonksiyonlarından çok daha fazla artar.
- Akciğer volüm ve kapasiteleri **çok az değişir**.
  - Dayanıklılık antrenmanı sonrası vital kapasite çok az artar, rezidüel volüm çok az azalır ve total akciğer kapasitesi değişmez.
  - Tidal volüm, istirahat ve submaksimal egzersizlerde fazla değişmez, ancak maksimal egzersizlerde artar.
  - Solunum hızı, istirahat ve submaksimal egzersizlerde genellikle azalır, ancak maksimal egzersizlerde artar.
- Sporcular, spor yapmayanlara oranla daha fazla **pulmoner difüzyon kapasitesine sahiptir**.



Laktik Asit Üretimi

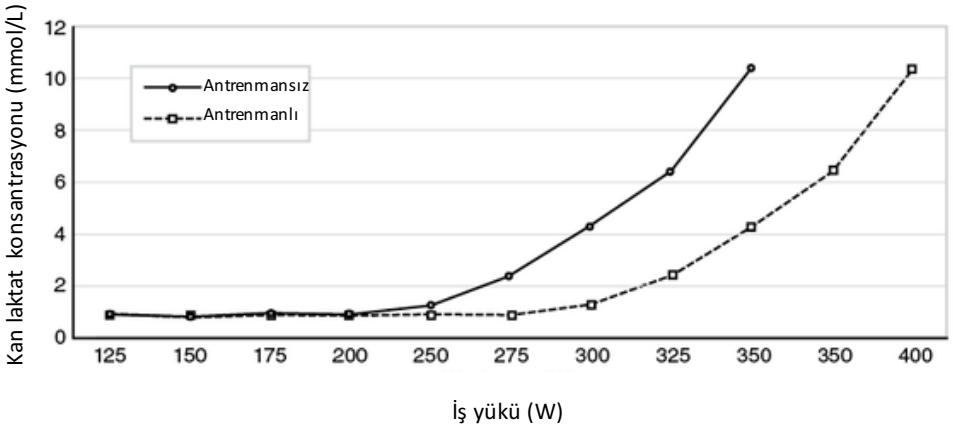
- Özellikle **dayanıklılık** antrenmaları sonucunda **aynı submaksimal iş** yükünde **daha az laktik asit** üretilir.
  - Sporcuların erken dönemde yorgunluk oluşmadan daha yüksek şiddette performans göstermelerini sağlar.



Yaklaşık 7 ay süren antrenman sonrasında egzersiz sırasında üretilen laktik asit miktarı önemli ölçüde azalır.

Laktik Asit Üretimi

- Egzersizde, laktik asit birikiminin azalması, **anaerobik eğişin yükseldiğinin** de bir göstergesidir.
  - Genellikle anaerobik eşik **antrenmanlı** kişilerde maksVO_2'nin **%75'inde**, **antrenmansız** kişilerde **%60'ında** oluşur.
    - ✓ Enerji için yağ asitlerini daha çok kullanmak, glikojen kullanımını azaltır; daha az laktik asit üretilmesine neden olur.
    - ✓ Egzersizin başlangıcında O_2 ihtiyacının daha hızlı karşılanmasıyla daha az O_2 yetersizliği oluşur.
    - ✓ Egzersizde oluşan laktik asitin enerji kaynağı olarak kullanılması toplam laktik asit birikiminde azalmaya neden olur.
    - ✓ Mitokondri sayısının artmasıyla, mitokondri başına ihtiyaç duyulan O_2, ADP ve Pi miktarı az olacaktır.



Uzun süreli antrenmanlar sonucu anaerobik eşik düzeyi yükselir.

Oksijen Tüketimi

- İstirahat O_2 tüketimi çok az yükselir veya değişmez.
- **Aynı** submaksimal iş yükünde **O_2 tüketimi azalır**.
  - Nedeni metabolik ve mekanik verimliliğin artmasıdır.
- **maksVO_2** artar.
  - maksVO_2 kardiorespiratuar sistemin dayanıklılık kapasitesinin iyi bir göstergesidir.
  - Erişkin bir sporcu **ulaşabileceği** en son **maksVO_2** değerine **8-18 ay** süren **dayanıklılık** antrenmanıyla erişebilir.
  - Her sporcunun ulaşabileceği bir **maksVO_2 sınırı vardır**.
  - **En yüksek maksVO_2** değerleri **dayanıklılık sporcularında** gözlenmiştir.

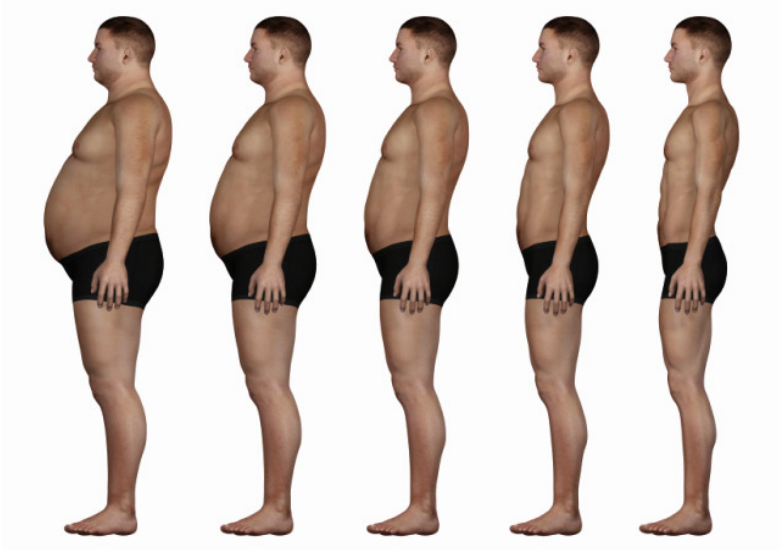


Antrenmana Bağlı Diğer Değişiklikler

❖**Vücut kompozisyonundaki değişiklikler:** Vücuttaki toplam yağ miktarında azalma, yağsız vücut ağırlığında artış olur.

❖**Kolesterol ve trigliserit düzeyindeki değişiklikler:** Özellikle **aerobik** antrenmanlar, toplam **kolesterol** ve **trigliserit** düzeyini **düşürür**, **HDL** düzeyini **artırır** ve **LDL** düzeyini **azaltır**.

- Koroner kalp hastalıkları için; HDL (yüksek dansiteli lipoprotein) karşı koruyucu etkiye sahipken, LDL (düşük dansiteli lipoprotein), VLDL (çok düşük dansiteli lipoprotein) ve trigliseritler risk faktörleridir.



Antrenmana Bağlı Diğer Değişiklikler

- **Kan basıncındaki değişiklikler:** Antrenman sonucunda aynı iş yükündeki kan basıncı antrenman öncesine oranla **daha düşüktür**.
  - Hipertansiyonu olanlarda da antrenmanla istirahat diastolik ve sistolik kan basıncında önemli düşmeler görülmüştür.



Aerobik Antrenman Sonrası Fizyolojik ve Metabolik Adaptasyonlar

Değişkenler	Sedanterlerin normal değerleri		
Kalp-dolaşım sistemi	**Antrenmandan önce**	**Antrenmandan sonra**	**Elit dayanıklılık koşucuları**
İstirahat kalp atım hızı (atım/dak)	71	59	36
Maksimum kalp atım hızı (atım/dak)	185	183	174
İstirahat atım volümü (ml)	65	80	125
Maksimum atım volümü (ml)	120	140	200
İstirahat kardiyak debi (L/dak)	4,6	4,7	4,5
Maksimum kardiyak debi (L/dak)	22,2	25,6	34,8
Kalp volümü (ml)	750	820	1200
Kan volümü (L)	4,7	5,1	6
İstirahat sistolik kan basıncı (mmHg)	135	130	120
Maksimum sistolik kan basıncı (mmHg)	210	205	210
İstirahat diastolik kan basıncı (mmHg)	78	76	65
Maksimum diastolik kan basıncı (mmHg)	82	80	65

Antrenmansız normal bir erkek bireyde antrenman yaptıktan sonra oluşması beklenen değişiklikler ve bu değişikliklerin elit sporcuların değerleri ile karşılaştırılması.*

* Wilmore, J.H., Costill, D.C. (1994). Physiology of Sport and Exercise, Champaign, IL: Human Kinetics, S. 107-119, 350-357.

Aerobik Antrenman Sonrası Fizyolojik ve Metabolik Adaptasyonlar

Değişkenler	Sedanterlerin normal değerleri		Elit dayanıklılık koşucuları
Solunum	**Antrenmandan önce**	**Antrenmandan sonra**	
İstirahat ventilasyon volümü (L/dak)	7	6	6
Maksimum ventilasyon volümü (L/dak)	110	135	195
İstirahat tidal volüm (L)	0,5	0,5	0,5
Maksimum tidal volüm (L)	2,75	3,0	3,5
Vital kapasite (L)	5,8	6,0	6,2
Rezidüel volüm (L)	1,4	1,2	1,2

Antrenmansız normal bir erkek bireyde antrenman yaptıktan sonra oluşması beklenen değişiklikler ve bu değişikliklerin elit sporcuların değerleri ile karşılaştırılması.*

* Wilmore, J.H., Costill, D.C. (1994). Physiology of Sport and Exercise, Champaign, IL: Human Kinetics, S. 107-119, 350-357.

Aerobik Antrenman Sonrası Fizyolojik ve Metabolik Adaptasyonlar

Değişkenler	Sedanterlerin normal değerleri		
Metabolik	**Antrenmandan önce**	**Antrenmandan sonra**	**Elit dayanıklılık koşucuları**
İstirahat a-v O2 farkı (ml/100 ml)	6,0	6,0	6,0
Maksimum a-v O2 farkı (ml/100 ml)	14,5	15,0	16,0
İstirahat O2 tüketimi (ml/kg/dak)	3,5	3,5	3,5
Maksimal O2 tüketimi (ml/kg/dak)	40,5	49,8	76,7
İstirahat kan laktatı (mmol/L)	1,0	1,0	1,0
Maksimum kan laktatı (mmol/L)	7,5	8,5	9,0

Antrenmansız normal bir erkek bireyde antrenman yaptıktan sonra oluşması beklenen değişiklikler ve bu değişikliklerin elit sporcuların değerleri ile karşılaştırılması.*

* Wilmore, J.H., Costill, D.C. (1994). Physiology of Sport and Exercise, Champaign, IL: Human Kinetics, S. 107-119, 350-357.

Aerobik Antrenman Sonrası Fizyolojik ve Metabolik Adaptasyonlar

Değişkenler	Sedanterlerin normal değerleri		Elit dayanıklılık koşucuları
Vücut Kompozisyonu	**Antrenmandan önce**	**Antrenmandan sonra**	
Vücut ağırlığı (kg)	79	77	68
Yağ ağırlığı (kg)	12,6	9,6	5,1
Yağsız vücut ağırlığı (kg)	66,4	67,4	62,9
Göreceli yağ yüzdesi (%)	16,0	12,5	7,5

Antrenmansız normal bir erkek bireyde antrenman yaptıktan sonra oluşması beklenen değişiklikler ve bu değişikliklerin elit sporcuların değerleri ile karşılaştırılması.*

* Wilmore, J.H., Costill, D.C. (1994). Physiology of Sport and Exercise, Champaign, IL: Human Kinetics, S. 107-119, 350-357.

Antrenmanla Oluşan Değişiklikleri Etkileyen Faktörler

- **Antrenmanın şiddeti:** Antrenman etkisinin elde edilebilmesi için gerekli belirli bir egzersiz şiddeti vardır ve bu eşik değer bireyseldir.
- **Antrenman süresi ve sıklığı:** Antrenmanın süresi ve sıklığı antrenmanla elde edilen sonuçların miktarını etkilemektedir.
- **Antrenmanın özelleşmesi:** Antrenman programı, sporcunun antrene edildiği gerçek aktiviteye yönelik olarak; o aktivitede çalışacak kas gruplarını ve kas liflerini, belirli şiddetlerde ve branşa özgü hareketlerle hazırlıyor olmalıdır.



Antrenmanla Oluşan Değişiklikleri Etkileyen Faktörler

- **Genetik limitler:** En iyi programla bile fonksiyonel kapasitedeki gelişme ancak genetik yapının olanak verdiği sınırlar içinde gelişebilir.
- **Yaş:** Kişinin yaşı da sportif performansına katkı yapacak bir çok becerisine etki yapmaktadır.
- **Cinsiyet:** Kişinin cinsiyeti, performansını etkileyen unsurlardan biridir.



Sunum sonu ☺

Farklı Ortamlarda Egzersiz

ISI DENGESİ

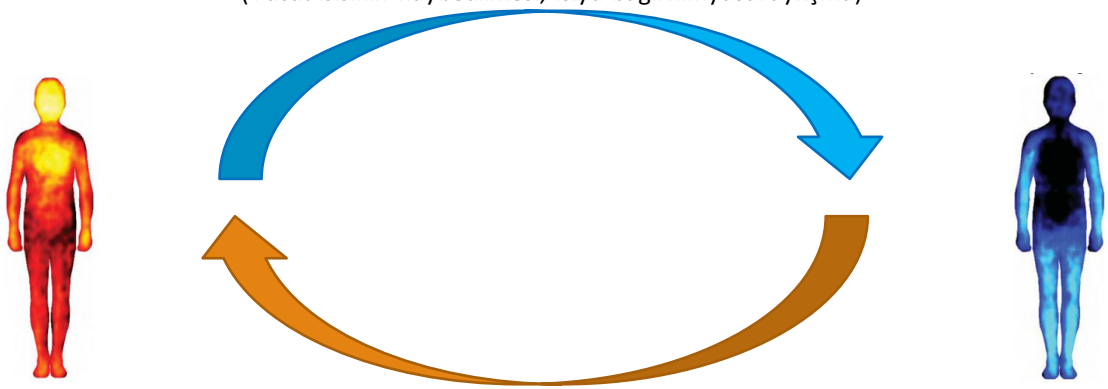
- İç sıcaklık sabittir (37 °C)
- Deri ve ekstremitelerde değişkenlik gösterebilir
- Normal vücut ısısı 36-38 °C
- Rektal 37 °C (çekirdek ısı, en az değişir)Oral 36,5-37 °C
- Isı en düşük gece 2 – 6 saatlerinde (36,6 °C), en yüksek ise akşamüzeri saat 18 civarında (37,5 °C) görülür.
- Çıplak bir kişi kuru havada 12,5 – 55 °C arasındaki sıcaklıklarda vücut iç ısısını sabit tutabilir.

ISI DENGESİ

Isı Dengesi = Termogenez – Termoliz

Termoliz

(Vücut ısısının kaybedilmesi; ısıya bağlı kimyasal ayrışma)



Termogenez

(Fizyolojik işlemler vasıtasıyla ısı üretimi)

ISI DENGESİ

Isı oluşumunu artıran mekanizmalar:

- Metabolizma,
- İstemli kas aktivitesi,
- İstemsiz kas aktivitesi,
- Hormonal etki, (adrenalin, noradrenalin, tiroksin)
- Besinlerin spesifik dinamik etkileri,
- Postür değişiklikleri,
- Çevre ısısı.











ISI DENGESİ

Isı kaybını artıran mekanizmalar:

- Radyasyon (Direkt moleküler temas olmadan elektromanyetik olarak ısı dalgalarının yayılması)
- Konveksiyon (Sıvı, katı ya da gaz molekülleriyle ısı transferi)
- Konveksiyon (Yüzeye iletilen ısının uzaklaştırılması)
- Evaporasyon (Vücut ısısının ortama su ile iletimi, terleme)
- Solunum
- İdrar, dışkı

TERMOREGÜLASYON

Termoregülasyon: Vücut ısısının metabolizma ya da davranış vasıtası ile kontrolü ile sabit vücut ısısı sağlanması.

- Termoregülasyon sisteminin merkezi anterior hipotalamusta preoptik nükleusta bulunmaktadır.
- Termoregülasyon sisteminin reseptörleri; merkezi reseptörler, periferal reseptörler ve vücut derin reseptörleri olmak üzere üç kısımda incelenir.
- Bu reseptörlerden alınan bilgiler yardımıyla vücut ısısı ayarlanır.

VÜCUT SICAKLIĞINI AYARLAYAN MEKANİZMALAR

Soğukta Aktive Edilenler

- Otonomik Etkiler
  - Vazokonstriksiyon
  - Kılların dikleşmesi
  - Ters akım ısı alış-veriş sistemi
- Somatik Etkiler
  - Titreme
  - Vücut hareketlerini artırma
- Endokrin Etkiler
  - Epinefrin ve norepinefrin salgılarının artması
  - Tiroid uyarıcı hormon ve tiroid hormonu salgısının artması
- Davranış Etkileri
  - Vücut yüzeyini azaltma, kıvrılıp büzülme
  - Hayvanların birbirine sokulması



VÜCUT SICAKLIĞINI AYARLAYAN MEKANİZMALAR

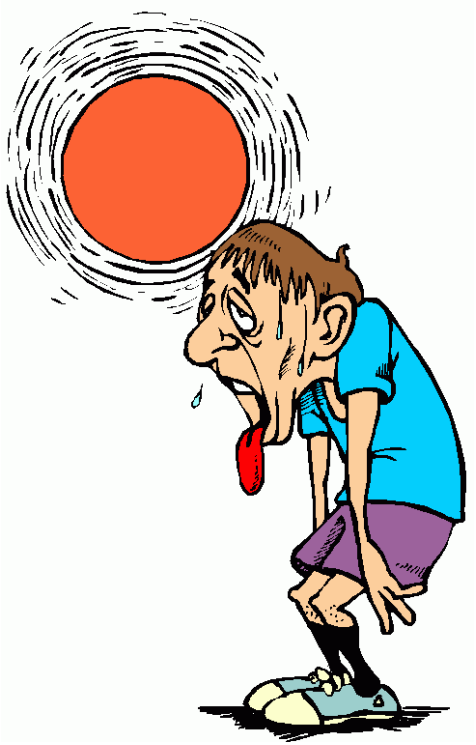
Sıcakta Aktive Edilenler

- Otonomik Etkiler
  - Vazodilatasyon
  - Terleme
  - Solunum yoluyla evoporasyonun artması
- Somatik Etkiler
  - Sıcakta az hareket etme
- Endokrin Etkiler
  - Katekolamin salgılarının azalması
  - Tiroid ve tiroid uyarıcı hormon salgılanmasının azalması
- Davranış Etkileri
  - Serin yer arama



SICAK ORTAM VE EGZERSİZ

- Egzersizde metabolik oran 20 – 25 kat artarak ısı üretimini artırır.
- Her 5 dakikada bir 1 °C – 1,8 °C ısı artışı oluşur.
- Isı kaybı yolları devreye girmezse organizmada büyük sorunlar oluşur.
- Genel anlamda ısı kaybı kondüksiyon, konveksiyon, radyasyon ve evoporasyon ile sağlanır.
  - Büyük oranda vazodilatasyon (damarların genişlemesi) ve terleme (evoporasyon) ile sağlanır.



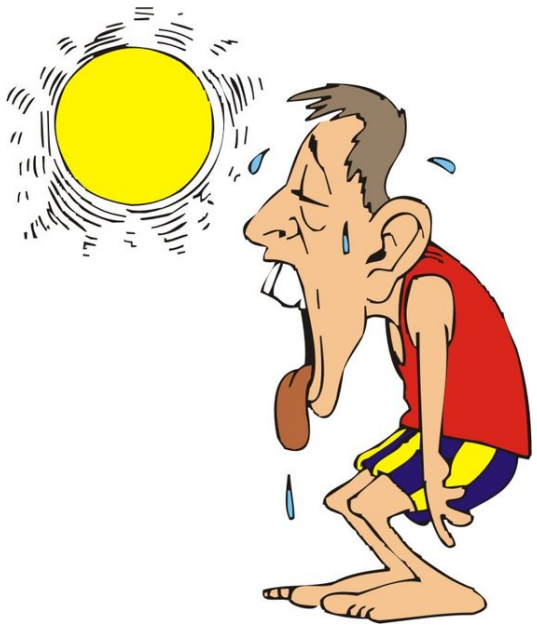
SICAK ORTAM VE EGZERSİZ

Sıcak – Kuru Hava:

- Direkt güneş ışığı yoksa radyasonla artan ısı buharlaşmayla kaybedilir.
- Bu ortamda bol ve açık renkli hafif elbiseler kullanmak ısı dengesinin ayarlanmasına yardımcı olabilir.

Sıcak – Nemli Hava:

- Nem oranı yükseldikçe ısı kaybı zorlaşır.
- Terleme devam etsene ısı kaybını sağlayacak terin buharlaşması gerçekleşemez
  - Su ve tuz kaybı artar



SICAK ORTAM VE EGZERSİZ

Terleme

- Terleme ile ısı kaybı kontrol altında tutulabilir
- Terleme normalden fazla olursa organizmadan su ve tuz kaybına neden olur
- Sıcak bir ortamda şiddetli bir çalışmada salgılanan ter bir günde 8 lt'yi bulabilir.
- Maraton koşularında terlemenin 5 lt'yi bulduğu görülmektedir (Yaklaşık vücut ağırlığını %6 – 10'u)
- Plazma hacmi, kalp debisi ve deri kan akımı azalır, kalp atışı artar.
- Sıvı kaybı vücut ağırlığının;
  - %2'si kadar olduğunda kardiyovasküler sistem olumsuz etkilenir
  - %3'ü kadar olduğunda rekta ısı artıp hipotermiye sebep olabilir
  - %4 – 5'i kadar olduğunda performans olumsuz yönde etkilenir



SICAK ORTAM VE EGZERSİZ

Aklimatizasyon (Sıcağa Uyum Sağlama)

- Aktivitenin yapılacağı ortamın şartlarına uyum sağlamayı içerir.
- 5-10 günlük süreyi içine alır.
- Laboratuvar koşullarında ya da doğal ortamlarda yapılabilir. Doğal ortamlar tercih edilmelidir.
  - İlk gün sadece bölgede bulunmak, ortamı dolaşmak, güneşlenmek yeterlidir.
  - 2. ve 3. günler hafif tempoda düz koşular, istasyon çalışmaları yapılabilir.
  - 4. günden itibaren süresi ve yoğunluğu gittikçe artan bir şekilde antrenmanlara geçilir.
  - Normal antrenman süre ve yoğunluğuna ulaşmak bir haftayı bulmalıdır.
  - İlk 4 – 14 günde belirli bir gelişme görüldüğü ve 8 – 12 haftada tam anlamıyla uyum sağlandığı ortak görüştür.
- Aklimatizasyona vücut bir kez alıştıktan sonra bunu yıllarca muhafaza edebilir.
- Aklimatizasyon süresince gelişen en önemli fizyolojik değişmeler terleme hızının artması, plazma hacminin artması, ter ve idrarla tuz kaybının azalmasıdır

SICAK ORTAM VE EGZERSİZ

Isıya Bağlı Rahatsızlıklar:

Isı Krampları; Genellikle sıvı elektrolit dengesinin bozulmasına bağlı olarak, şiddetli egzersizler sonrası oluşur. İstirahat ve yeterli sıvı alımı gerekir.

Isı Yorgunluğu; Yorgunluk, tansiyon düşmesi, bulanık görme, bayılma ve ısı artışı belirtileridir. Dinlenme ve sıvı alımıyla tedavi edilebilir.

Isı Bitkinliği; Terlemede azalma, büyük kilo kaybı, dilde kuruma, susuzluk, baş ağrısı, kusma, KAH artışı, kan basıncının düşüşü ile gelişir.

Isı Çarpması; Isı düzenleme mekanizmasının tümüyle işlev göremez duruma geçmesi ve acil müdahale gerektiren durumdur. Vücut sıcaklığı 41 °C'ye kadar yükselebilir.

SICAK ORTAM VE EGZERSİZ

Sıcak Ortamda Egzersiz İçin Önlemler;

- Yarışmadan 30 dk öncesine kadar 10 – 15 dk da bir 100 – 200 ml su içirilmeli (1 lt geçirilmemeli)
- Yarışma esnasında 10 – 15 dk'da bir 100 – 200 ml su içilmeli
- Yarışma sonunda kaybedilmiş toplam su yerine konulmalı
- Sıcaklığın fazla olduğu günlerde antrenmanlar sabah 09:00'dan önce akşam 18:00'dan sonra yapılmalı
- Giysiler hafif ve açık renkli, teri emen, vücudu sıkmayan olmalı
- 30 °C üzerindeki sıcaklıklarda çalışma süresi az tutulmalıdır.

SOĞUK ORTAM VE EGZERSİZ

- İnsan organizmasının vücut ısısını bir süre koruduğu ancak derideki aktif soğuma ile iç ısının da düştüğü gözlenmiştir.
- Egzersiz ile soğuk çevrede organizmada meydana gelen etkiler daha azdır.
- Bunun nedeni; çalışmakta olan vücut, enerji üretmek suretiyle ısı üretir ve üretilen ısı vücudun üşümesini önler.



SOĞUK ORTAM VE EGZERSİZ

Isı Kaybı Söz Konusu İse;

- Deri altı kan damarlarının büzülmesi, kanın yüzeye değil iç bölgelere doğru akımı sağlanır.
- Titreme ve kassal aktivite artışı ile ısı üretimi
- Hormon salınımı ile (epinefrin, norepinefrin, tiroid ve tiroksin) bazal metabolik hız yükseltilir.



SOĞUK ORTAM VE EGZERSİZ

Soğuk Ortamın Olumsuz Etkileri;

- Hava ne kadar soğuk olursa olsun, solunum yollarında ısınıp 32 °C'ye kadar yükselir.
- Soğuk hava su tutmaya neden olup ağız ve boğazda kuruluğa sebep olabilir.
- Nefes alma-verme süresi 1/3 kısalır.
- Vücut ısısının normalin altına düşerek tatlı bir uyku ve sonrasında ölüme yol açan hipotermia gerçekleşebilir (Özellikle dağcılık sporunda)
- El ve ayak parmak uçlarında donuklar görülebilir.
- Su ortamında yapılan egzersizlerde soğuğun etkileri daha belirgindir.
- Rüzgarlı ortamlarda soğuğa alışmak daha zordur.

SOĞUK ORTAM VE EGZERSİZ

Soğuk Ortamda Egzersiz Yaparken;

- Giysinin bol ve kat prensibine göre giyilmesi,
- Bol sıcak sıvı alınması,
- Rüzgardan korunma,
- Egzersiz öncesi ısınma gibi faktörlere dikkat edilmelidir.