Antrenman ile anaerobik sistemde oluşan değişiklikler ve ölçülmesi: *DAYANIKLILIK ANTRENMANINA UYUM*

PROF.DR. MİTAT KOZ

Dayanıklılık - Endurans

- Dayanıklılık bir işi veya aktiviteyi uzun süre yapabilmektir.
  - Uzun mesafe koşu, yüzme, bisiklete binme gibi
- Dayanıklılık,
  - kas dayanıklılığı ve
  - dolaşım-solunum (kardiorespiratuvar) sistemi dayanıklılığı olmak üzere iki şekilde açıklanabilir.
- Her ikisi de sportif performansa oldukça önemli katkıda bulunurlar ve her birinin önemi değişik sporlar için farklıdır.

Kas dayanıklılığı

- Kas dayanıklılığı, 1-2 dakika süren şiddetli statik veya dinamik egzersizler sırasında (örneğin, 100-200 m koşu veya halter kaldırma gibi) özel bir kas grubunun çalışma kapasitesidir.
- Bu daha çok belli bir kas grubunun gücü ve anaerobik enerji üretme kapasitesinin gelişimi ile ilgilidir.

Kardiyorespiratuvar dayanıklılık

- Kardiorespiratuvar dayanıklılık ise tüm vücudu ilgilendiren bir durumdur.
- Özellikle vücudun uzun süreli, tempolu bir egzersizi (örneğin, bisiklet çevirme, uzun mesafe koşu veya uzun mesafe yüzme egzersizleri gibi) devam ettirebilme becerisidir.
- Kardiorespiratuvar dayanıklılık, dolaşım ve solunum sistemlerinin antrenmana olan adaptasyonları ile ilgilidir.

Dayanıklılık antrenmanlarında oluşan değişiklikler

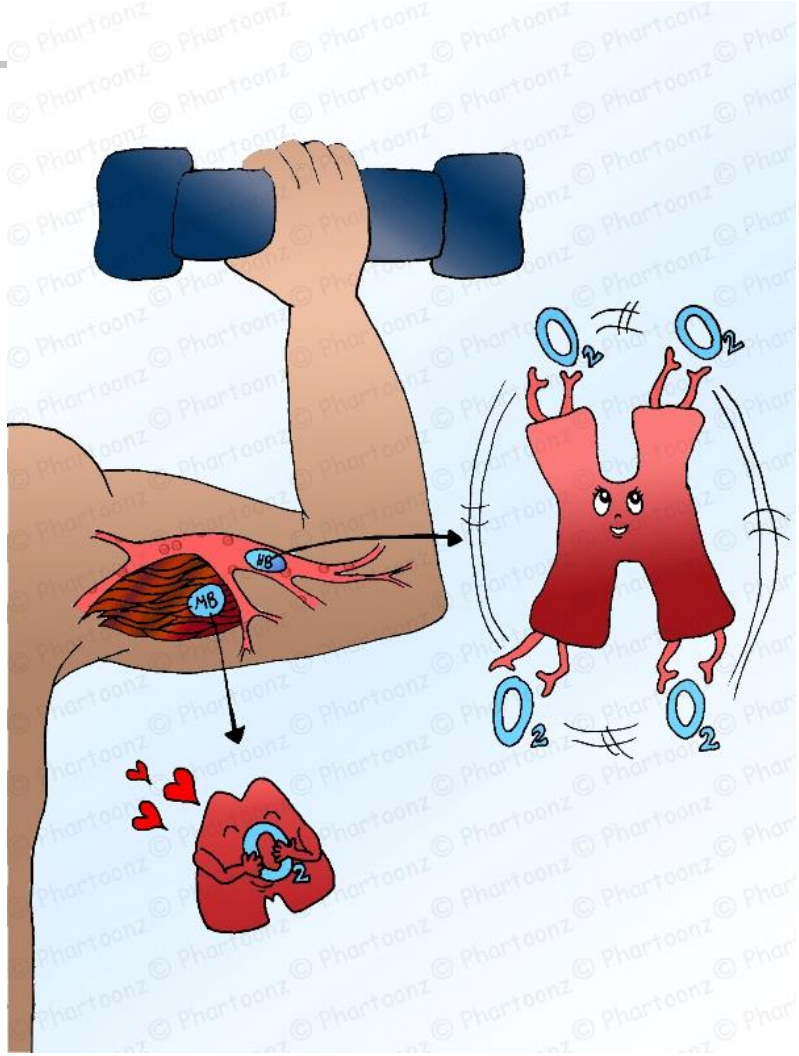
- Uzun süreli aktivitelerde enerji aerobik yollardan sağlanır
  - Oksijen gereklidir.
- Dayanıklılık antrenmanlarında aerobik egzersizler ya da antrenmanlar kullanılır.
- Bu egzersizlere adaptasyonlar oksijen metabolizmasında meydana gelir.
  - Kasta meydana gelen uyumlar
  - Solunum sistemindeki uyumlar
  - Kalp-dolaşım sistemindeki uyumlar
  - Hormon sistemindeki uyumlar

Dayanıklılık antrenmanları ile kasta oluşan uyumlar

- Miyoglobin miktarında oluşan değişiklikler
- Mitokondri fonksiyonunda oluşan değişiklikler
- Oksidatif (aerobik sistem) enzimlerde oluşan değişiklikler
- Kas lif tipinde meydana gelen değişiklikler
- Kapiller(kılcal) damarlarda meydana gelen değişiklikler
- Enerji kaynaklarının kullanımında meydana gelen değişiklikler

Miyoglobin miktarında oluşan değişiklikler-1

- Miyoglobin, hemoglobin benzeri bir bileşiktir ve kas lifine gelen oksijene bağlanır.
- Miyoglobin oksijeni depolar ve egzersiz sırasında gerekli olduğunda serbest bırakır.
- Bu depolanan oksijen, özellikle istirahatten egzersize geçiş döneminde kullanılır.
- Egzersizin başlangıcı ile kardiovasküler sistemin oksijen sağlamada gecikmesi aşamasında (oksijen açığı) mitokondriye gereken oksijen, miyoglobinde depolanan oksijenden sağlanır.

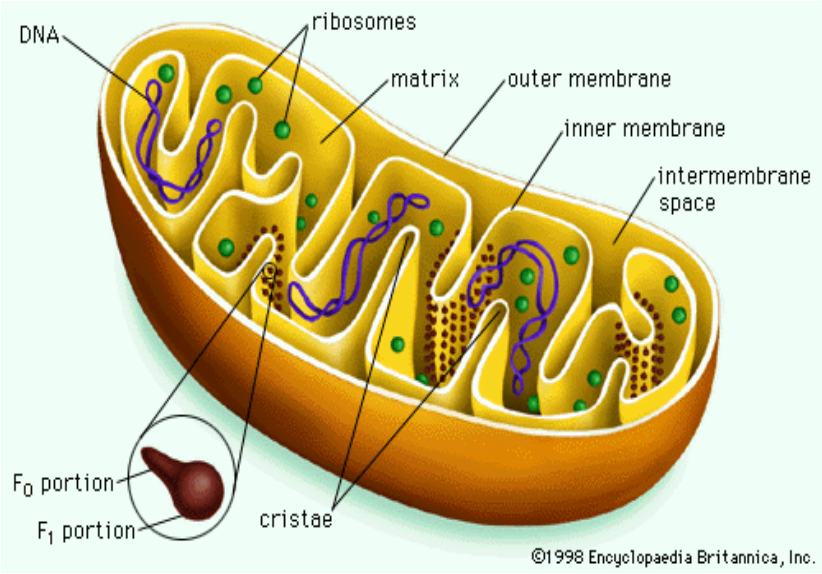


Miyoglobin miktarında oluşan değişiklikler-2

- Yavaş kasılan kas liflerinde (ST), bol miktarda miyoglobin bulunur.
- Hayvan deneylerinden elde edilen sonuçlar, dayanıklılık antrenmanları ile iskelet kasının miyoglobin içeriğinin % 75-80 oranında artırılabileceğini göstermiştir.
- Dolayısıyla, aerobik antrenmanlar sonucunda mitokondriye oksijen sağlamada bir artış meydana gelir.
- Miyoglobin içeriğindeki artış, yalnızca antrenmana aktif olarak katılan kaslarda oluşur ve antrenmanın frekansı (sıklığı) ile doğru orantılıdır.

Mitokondri fonksiyonunda oluşan değişiklikler

- Oksijeni kullanma ve ATP üretme becerisi,
  - kasta bulunan mitokondrilerin sayısı,
  - büyüklükleri ve
  - membran yüzey alanlarında oluşan artışla ilgilidir.
- Enzimlerin miktarında ve aktivite düzeylerinde de artış meydana gelir .
- Bunun sonucu olarak, iskelet kasındaki mitokondrilerin oksidatif fosforilasyonla aerobik olarak ATP üretme kapasiteleri artar.



Oksidatif enzimlerde oluşan değişiklikler

- Mitokondri sayısında ve büyüklüğünde oluşan artış, kasın aerobik kapasitesinde artışa neden olur.
- Besinlerin oksidatif olarak parçalanmaları ve ATP üretilmesi mitokondrideki aerobik enzimlerin aktivitesine bağlı olduğundan mitokondri fonksiyonlarının artması aerobik kapasiteyi geliştirir.
- Dayanıklılık antrenmanları bu enzimlerin aktivitelerini artırır.

Kas lif tipinde meydana gelen değişiklikler-1

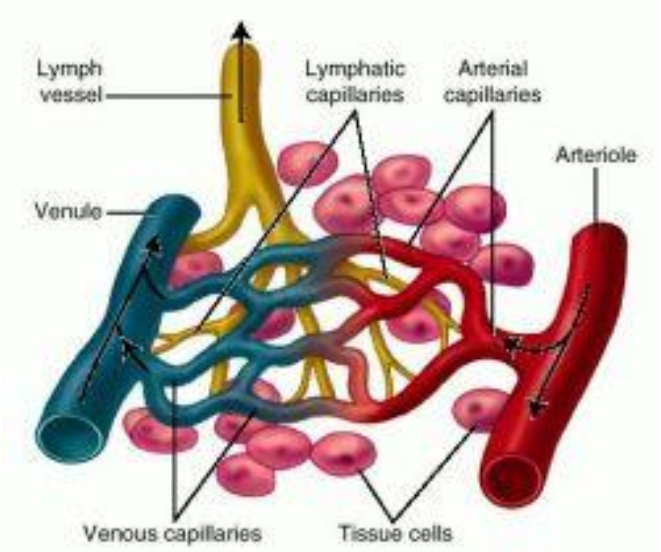
- Yapılan antrenmana bağlı olarak, tip I (yavaş kasılan) ve tip II (hızlı kasılan) liflerde oluşan değişiklikler aynı değildir.
- Bir başka deyişle, tip I ve tip II liflerinin antrenmana adaptasyonları farklıdır.

Kas lif tipinde meydana gelen değişiklikler-2

- Antrenmanlar sonucunda tip I ve tip II liflerinde seçici hipertrofi (hacim artışı) meydana gelir.
- Aerobik aktivitelerin yavaş kasılan kas liflerinde, hızlı kasılan liflere göre % 7 - 22 oranında daha fazla genişleme sağlar.
- Sürat koşucularında, gülle ve disk atan sporcularda ise tip II lifleri daha fazla bir alana sahiptir.
- Bu bilgiler ışığında, seçici hipertrofinin yapılan spor aktivitesine ve/veya antrenman çeşidine bağlı olduğu söylenebilir

Kapiller-kılcal damarlarda meydana gelen değişiklikler

- Aerobik antrenmanlar sonucu oluşan en önemli adaptasyonlardan biri, her bir kas lifini çevreleyen kapiller sayısındaki artıştır.
- Antrenmanlı bir erkeğin bacak kasında, antrenmansız birine oranla % 5-10 daha fazla kapiller bulunmuştur.
- Uzun süreli dayanıklılık antrenmanları sonucu kapiller damar sayısı % 15 kadar artabilir.
- Kas lifinin etrafında daha fazla kapiller olması ile, kan ve çalışan kas lifi arasında daha fazla gaz, ısı, atık madde ve besin değişimi gerçekleşir.
- Bu durum, daha fazla enerji üretilmesine, atıkların daha süratli atılmasına ve kasların daha uzun süreli çalışmasına olanak sağlar.



Enerji kaynaklarının kullanımında meydana gelen değişiklikler-1

- Aerobik antrenmanlar sonucunda iskelet kasının karbonhidratları kullanma kapasitesi artar.
- Oksijenli ortamda glikojen CO_2 ve H_20'ya parçalanarak daha fazla ATP üretilir.
- Bu durum, antrenmanlı kasta glikojen depolanması ve mitokondrilerin oksidatif kapasitesindeki artış ile de uyumludur.
- İnsanlarda 1 kg kasa düşen glikojen miktarı 13-15 gr' dır.
- Antrenmanla bu miktar 2.5 kat artar
- Kasın glikojen depolarındaki artış, mitokondri ve enzimatik değişikliklerle beraber maksimal aerobik güçte artmaya neden olur

Enerji kaynaklarının kullanımında meydana gelen değişiklikler-2

- Aerobik antrenmanlar sonucunda iskelet kasının yağları kullanma kapasitesi de artar.
- Kasların glikojen kullanımında olduğu gibi, yağları oksijenli ortamda CO_2 ve H_2O'ya parçalayarak ATP üretebilme kapasiteleri gelişir.
- Bu değişikliğin nedeni kaslara olan kan akışının, yağları mobilize ve metabolize eden enzimlerin aktivite düzeylerinin artmasıdır.

Enerji kaynaklarının kullanımında meydana gelen değişiklikler-3

- Dayanıklılık aktiviteleri sırasında yağ önemli bir enerji kaynağı olduğundan, yağları kullanma kapasitesinde oluşan artma, bu aktivitelerde performansın geliştirilmesi açısından avantajlıdır.
- Dayanıklılık antrenmanları ile serbest yağ asitlerinin depolandıkları yerden serbest bırakılmaları ve uzun süreli egzersizlerde kasların kullanımına hazır hale gelmeleri sağlanır.

Enerji kaynaklarının kullanımında meydana gelen değişiklikler-4

- Aynı submaksimal iş yükünde, antrenmanlı kişiler antrenmansız kişilere göre enerji üretiminde daha fazla yağ kullanırlar.
- Submaksimal şiddette bir egzersiz sırasında daha fazla yağ oksidasyonu, daha az glikojen tüketimi ve dolayısıyla daha az laktat birikimi gerçekleşir.
- Bunun sonucu kasta daha az yorgunluk oluşur
- Dayanıklılık antrenmanı sonrası kasların yağları kullanma kapasitesinde oluşan artış, yağ asitlerinin parçalanması, taşınması ve aktive edilmesinde rol alan enzimlerin aktivitelerinin artması ile gerçekleşmektedir.
- Sonuç olarak, aerobik antrenmanlar kas içinde enerji üretiminde yağların daha fazla kullanılmasını geliştirir.
- Bu da kas ve karaciğer glikojeninin daha yavaş kullanılmasına, laktik asit oluşumunun daha az olmasına ve dolayısıyla yorgunluğun daha geç oluşmasına neden olur.

Antrenman ile Dolaşım ve Solunum Sistemlerinde (kardiyorespiratuvar) Oluşan Adaptasyonlar

- Kardiorespiratuvar sistemde meydana gelen değişiklikler, temel olarak oksijen taşıma sistemini etkileyen değişikliklerdir.
- Oksijen taşıma sistemi, dolaşım, solunum ve doku düzeyindeki birçok faktörü içerir.
- Bu faktörler birlikte çalışarak, oksijenin çalışan kaslara taşınmasını sağlarlar
  - Dolaşım sistemindeki değişiklikler
  - Solunum sistemindeki değişiklikler

Kardiyovasküler (kalp-damar) sistemde oluşan uyumlar

- Antrenman sonucu kardiyovasküler sistemde birçok adaptasyon oluşur.
- Bunlar,
  - kalbin hacmi,
  - kalbin atım volümü-hacmi (strok volüm),
  - kalp atım sayısı,
  - kalbin dakika atım volümü-hacmi (kardiyak output veya kardiyak debi),
  - kan akımı, kan basıncı ve kan miktarında olan değişiklikler olarak tanımlanabilir.

Kalbin büyüklüğünün artması

- Sporcularda kalbin büyüklüğü (hacmi) sporcu olmayanlara göre daha fazladır.
- Bu büyüme haline "dilatasyon‟ yada “hipertrofi” denir.
- Kalp odacıklarının büyümesi ile kalbin içerisine alabildiği kan miktarı ve her bir atımda pompalayabildiği kan miktarı (kalp atım volümü veya strok volüm) artar.
- Bu nedenle bir dakikada pompalayabildiği kan miktarı da (kalbin dakika atım volümü veya kardiyak output veya kardiyak debi) artar.
- İyi antrene edilmiş sporcularda kalbin egzersiz sırasında pompaladığı kan miktarı, dakikada 35-40 litreye kadar çıkabilir.

- Hacim yükü ve Ventrikül boşluğu büyümesi (kavite dilatasyonu)

İstirahat kalp atım sayısında azalma-1

- Dayanıklılık antrenmanı sonucunda istirahat kalp atım sayısı önemli miktarda azalır.
- Bu adaptasyona **egzersiz bradikardisi** adı verilir.
- Antrenmanlı ve antrenmansız olan kişiler karşılaştırıldığında, istirahat kalp atım sayıları arasındaki fark oldukça belirgindir.
- Antrenmanlı olmayan bir kişide yaklaşık 70-80 atım/dak olan kalp atım sayısı, iyi antrene olmuş dayanıklılık sporcularında 40 atım/dak veya daha az olabilir.
- Antrenman sonucu istirahat sırasında kalp atım sayısında meydana gelen bu azalmanın nedeni, antrenman ile artan istirahat kalp atım volümü (strok volüm)'dür.

Submaksimal kalp atım sayısı

- Antrenmandan sonra gelişen en önemli değişikliklerden biri aynı submaksimal iş yükünde kalp atım sayısının daha az olmasıdır.

Maksimal kalp atım sayısı

- Genellikle maksimum kalp atım sayısı sabittir.
- Dayanıklılık antrenmanlarından sonra da, maksimal egzersizler sırasındaki maksimum kalp atım sayısı fazla değişmez.
- Hatta maksimal kalp atım sayısı dayanıklılık antrenmanlarından sonra biraz düşebilir.

Toparlanma sırasında kalp atım sayısı

- Kalp atım sayısının egzersizden sonra ne kadar sürede istirahat değerine geri döndüğü, kardiyorespiratuvar uygunluğun bir göstergesi olarak değerlendirilir.
- Genel olarak daha iyi antrene olmuş bir kişi daha hızlı normale döner.
- Bu nedenle antrenman programı uygulanırken toparlanma kalp atım sayısının izlenmesi, antrenman ile oluşan adaptasyon hakkında bilgi verir.

Atım hacmi değerleri..

- Sedanter yatar pozisyonda 100 ml
- Sedanter dikey pozisyonda 70-90 ml.
- Sedanter max egzersizde 100-120 ml
- Antrene birey dinlenim 100-120 ml
- Antrene max.egzersiz 150-170 ml
- Çok iyi antrene max.egz. 200-210 ml

İstirahat atım volümü-1

- İstirahat sırasında antrenmanlı kişilerin veya sporcuların atım volümü, spor yapmayanlara oranla daha yüksektir.
- Atım volümündeki artış, dayanıklılık sporu yapan sporcularda daha belirgindir.
- Bu artış, kalpte meydana gelen hipertrofi ve kalbin kasılma gücünün artışına bağlıdır.

Maksimal atım volümü

- Antrenmanla maksimal atım volümü de artar.
- Kardiyak hipertrofi ve miyokardın kasılma kuvvetinin artması.
- Kasılma kuvvetinin ve ventriküler hacmin artması, her atımda daha fazla kanın kalpten pompalanmasını sağlar.

İstirahat veya submaksimal kardiyak debi

- Dayanıklılık antrenmanları sonrasında istirahat veya submaksimal bir iş yükü sırasında kardiyak debi miktarında fazla bir değişiklik olmaz.

Maksimal kardiyak debi

- Maksimal kardiyak debi antrenmanla artar.
- Bunun nedeni maksimal atım volümünün artmasıdır.
- Çünkü maksimal kalp atım sayısı fazla değişmez.
- Maksimal kardiyak debi, antrenmansız kişilerde 14-16 L/dak, antrenmanlı kişilerde ise 20-25 L/dak ve dayanıklılık sporcularında ise 40 L/dak ve daha üzeri olabilir.

Kan basıncında meydana gelen değişiklikler:

- Antrenman sonucunda aynı iş yükündeki kan basıncı antrenman öncesine oranla daha düşüktür.
- Bunun yanı sıra, sınırda veya orta derecede hipertansiyonu (yüksek kan basıncı) olan kişilerde de antrenmanla istirahat diastolik ve sistolik kan basıncında önemli düşmeler görülmüştür.
  - Sistolik 10 mmHg
  - Diyastolik 8 mmHg

Antrenman ile Solunum (Respiratuar) Sisteminde Oluşan Adaptasyonlar

- Solunum sistemi fonksiyonları genellikle performansı sınırlamaz, çünkü egzersiz sırasında ventilasyon, kardiyovasküler sistem fonksiyonlarından çok daha fazla artar.
- Genel olarak, akciğer volüm ve kapasiteleri antrenman ile çok az değişir.

Maksimal dakika ventilasyonu-1

- Antrenman sonucunda istirahatte çok az azalır veya hiç değişmez.
- Submaksimal egzersizler sırasında ise bir miktar azalır.
- Bu azalma solunum sisteminin daha verimli çalıştığını ifade eder.
- Maksimal dakika ventilasyonu, maksimal egzersizler sırasında önemli ölçüde artar.
- İstirahat sırasında yaklaşık 6 L/dak olan hava miktarı, maksimal egzersizler sırasında 120-150 L/dak ve hatta 180 L/dak kadar yüksek olabilir.

Pulmoner difizyon hızı-1

- Dayanıklılık antrenmanları sonrası **pulmoner diffüzyon** (alveollerde gerçekleşen gaz değişimi) istirahat ve submaksimal egzersizler sırasında fazla değişiklik göstermez.
- Ancak maksimal egzersizler sırasında artar.

Arteriyo-venöz O2 farkı

- Antrenman ile arterial-venöz O_2 farkı (a-v O_2 farkı) özellikle maksimal egzersiz sırasında artar.
- Arterial kanın O_2 konsantrasyonu antrenman sonucunda fazla değişmez, ancak venöz kanda bulunan O_2 miktarı azalır.
- Bu nedenle vücutta kullanılan ve kalbin sağ bölümüne geri dönen kanda (venöz kanda) daha az O_2 kalır.
- Bu nedenle maksimal egzersiz sırasında a- v O_2 farkı artar.

Solunum verimliliği

- Antrenman solunum verimliliğini de artırır.
- Solunum verimliliğinin artması, aynı miktarda oksijen tüketimi için solunan hava miktarının antrenmanlı kişilerde daha az olduğu anlamına gelir.

DAYANIKLILIĞIN DEĞERLENDİRİLMESİ

VO_2 Ölçümü

- VO_2 nin gerçek ölçümü açık devre spirometri adı verilen bir yöntem kullanılarak laboratuvarlarda, kliniklerde ve sahalarda yapılabilir.
- Açık devre spirometri sistemi toplanan solunum havasındaki O_2 ve CO_2 nin ölçümünü kapsar.
- Bu yöntemle VO_2 ölçümüne direkt ölçüm de denir.

$VO_{2\ max}$ Kavramı

- $VO_{2\ max}$ maksimal oksijen tüketim hızıdır ve kardiyorespiratuvar dayanıklılığın eskiden beri kabul edilmiş kriteridir.
- $VO_{2\ max}$ aerobik kapasitenin ölçüm birimidir.
  - L/dk, ml/kg/dk

VO2 max NORMLARI (ERKEKLER İÇİN)(ml/kg/min)

	18-25 years old	26-35 years old	36-45 years old	46-55 years old	56-65 years old	65+ years old
excellent	>60	>56	>51	>45	>41	>37
good	52-60	49-56	43-51	39-45	36-41	33-37
above average	47-51	43-48	39-42	35-38	32-35	29-32
average	42-46	40-42	35-38	32-35	30-31	26-28
below average	37-41	35-39	31-34	29-31	26-29	22-25
poor	30-36	30-34	26-30	25-28	22-25	20-21
very poor	<30	<30	<26	<25	<22	<20

VO2 max NORMLARI (BAYANLAR İÇİN)(ml/kg/min)

	18-25 years old	26-35 years old	36-45 years old	46-55 years old	56-65 years old	65+ years old
excellent	>56	>52	>45	>40	>37	>32
good	47-56	45-52	38-45	34-40	32-37	28-32
above average	42-46	39-44	34-37	31-33	28-31	25-27
average	38-41	35-38	31-33	28-30	25-27	22-24
below average	33-37	31-34	27-30	25-27	22-24	19-22
poor	28-32	26-30	22-26	20-24	18-21	17-18
very poor	<28	<26	<22	<20	<18	<17

- US College Track, Male: 57.4
- College Students, Male: 44.6
- Highest Recorded Female (Cross-Country Skier): 74
- Highest Recorded Male (Cross-Country Skier): 94
- Steve Prefontaine, US runner, 84.4
- Frank Shorter, US Olympic Marathon winner, 71.3
- Ingrid Kristiansen, ex-Marathon World Record Holder, 71.2
- Derek Clayton, Australian ex-Marathon World Record holder, 69.7
- Jeff Galloway, US Runner, 73.0
- Greg LeMond, professional cyclist, 92.5
- Matt Carpenter, Pikes Peak marathon course record holder, 92
- Miguel Indurain, professional cyclist, 88

TABLE 9.5

Maximal Oxygen Uptake Values ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) for Nonathletes and Athletes

Group or sport	Age	Males	Females
Nonathletes	10-19	47-56	38-46
	20-29	43-52	33-42
	30-39	39-48	30-38
	40-49	36-44	26-35
	50-59	34-41	24-33
	60-69	31-38	22-30
	70-79	28-35	20-27
Baseball/softball	18-32	48-56	52-57
Basketball	18-30	40-60	43-60
Bicycling	18-26	62-74	47-57
Canoeing	22-28	55-67	48-52
Football	20-36	42-60	—
Gymnastics	18-22	52-58	36-50
Ice hockey	10-30	50-63	—
Jockey	20-40	50-60	—
Orienteering	20-60	47-53	46-60
Racquetball	20-35	55-62	50-60
Rowing	20-35	60-72	58-65
Skiing			
Alpine	18-30	57-68	50-55
Cross-country	20-28	65-94	60-75
Ski jumping	18-24	58-63	—
Soccer	22-28	54-64	—
Speed skating	18-24	56-73	44-55
Swimming	10-25	50-70	40-60
Track and field			
Runners	18-39	60-85	50-75
	40-75	40-60	—
Discus	22-30	42-55	—
Shot put	22-30	40-46	—
Volleyball	18-22	—	40-56
Weight lifting	20-30	38-52	—
Wrestling	20-30	52-65	—

for athletes and nonathletes are presented in table 9.5 by age, sex, and sport.

VO_2 Ölçümü; İndirekt Yol

- Oksijen tüketim hızının (VO_2) ve maksimal oksijen tüketim hızının ($VO_{2\ max}$)bu şekilde doğrudan ölçümü pahalı bir yöntem olduğundan çok kullanışlı değildir.
- Bu nedenle $VO_{2\ max}$ direkt olarak ölçmek mümkün olmadığı zaman, submaksimal egzersizlerden elde edilen değerler (kalp hızı ve iş yükü gibi) yardımıyla ve çeşitli metabolik hesaplamalar kullanılarak indirekt olarak hesaplanabilmekte veya tahmin edilebilmektedir.

Test protokolleri

Test Tipleri

- Bisiklet Ergometresi Testleri
- Koşu bandı Testleri
- Basamak testleri
- Saha testleri

Saha Testleri

- Cooper Testi (12 dakikalık koşu testi)
- 2400 m koşu
- Rockport yürüyüş testi
- Balke testi (15 dakikalık koşu)
- 20 metre mekik koşusu testi

Cooper Testi

- 1960 Dr.Kenneth Cooper

$$\mathrm{VO_2\ max} = \frac{d_{12} - 505}{45}$$

Rockport Yürüyüş Testi (1 mil koşu testi

- $VO_{2\ max}$ (ml/kg/dk)=132,853 - (0,0769 x vücut ağırığı) - (0,3877 x yaş) + (6,315 x cinsiyet) - (3,2649 x süre) - (0,1565 x kalp atım hızı)
- Vücut ağırlığı libre cinsinden; cinsiyet bayan 0, erkek1; süre dakika; kalp atım hızı yarış sonunda bulunan değer

15 Dakikalık Balke Koşu Testi

- $VO_{2\ max}$ (ml/kg/dk)= 2,67 x 15 dakikada koşulan mesafe (metre olarak) + 9,6

20 metre mekik koşusu testi

- 20 metrelik mesafe başlangıçta yavaş tempoda olmak üzere gittikçe artan tempoda koşulur, turlar sayılır. Hız her 10 saniyede bir artar.
- Koşulan mekik sayısından VO2max tahmin edilir.