

---

# Kardiyopulmoner egzersiz testleri

Gaye ULUBAY, Fusun ONER EYUBOGLU

Başkent Üniversitesi Tıp Fakültesi, Göğüs Hastalıkları Anabilim Dalı, Ankara.

## ÖZET

Solunumsal ve kardiyak fonksiyonları değerlendirmek için istirahatte yapılan ölçümlerin tek başına yeterli olmadığı anlaşılmıştır. Egzersiz kısıtlanmasının nedenleri araştırılırken, kardiyopulmoner egzersiz testleri (KPET) solunumsal ve kardiyovasküler sistemlerle birlikte kas-iskelet sistemi ve nörofizyolojik sistemlerin de değerlendirilebilmesine olanak sağlamaktadır. Bundan dolayı egzersiz kısıtlanmasının, egzersize bağlı oluşan semptomların, fonksiyonel kapasitenin ve yetersizliğin değerlendirilmesinde KPET'e olan ilgi artmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Kardiyopulmoner egzersiz testleri, egzersiz kısıtlanması.

## SUMMARY

### *Cardiopulmonary exercise testing*

Gaye ULUBAY, Fusun ONER EYUBOGLU

Department of Chest Diseases, Faculty of Medicine, Baskent University, Ankara, Turkey.

*The resting pulmonary and cardiac function testing cannot reliably predict exercise performance and functional capacity. Cardiopulmonary exercise testing (CPET) provides to assesment of the pulmonary, cardiovascular, hematopoetic, neuropsychological, and skeletal muscle systems. Thus, CPET has gained increasing popularity for the evaluation of undiagnosed exercise intolerance and exercise related symptoms, and to reveal functional capacity and impairment.*

**Key Words:** *Cardiopulmonary exercise testing, exercise limitation.*

Solunumla alınan havadaki oksijenin kaslara sunulmasından enerji üretimi amacıyla mitokondride kullanılmasına kadar geçen süreç, akciğerler,

pulmoner dolaşım, kalp, periferik dolaşım, kas ve mitokondrinin birlikte ve kusursuz çalışması sonucunda gerçekleşir. Alınan havadaki oksijen

---

### **Yazışma Adresi (Address for Correspondence):**

Dr. Gaye ULUBAY, Başkent Üniversitesi Tıp Fakültesi, Göğüs Hastalıkları Anabilim Dalı 06540, Beşevler, ANKARA - TURKEY

e-mail: gulubay66@yahoo.com

kan dolaşımıyla kaslara sunulduğunda burada substratla (öncelikle glikojen ve yağ asitleri) birleşir ve aerobik glikoliz yoluyla ATP üretimi gerçekleşir. Yan ürün olarak da karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) üretimi olur. Enerji ihtiyacı egzersize başladığında istirahate göre daha da artar, bu ihtiyacı karşılamak için aerobik yoldan ATP üretimini artırmak amacıyla daha fazla  $\text{NADH} + \text{H}^+$  üretilir ve fazla  $\text{NADH} + \text{H}^+$  sitozolde birikir. Aerobik yol, artan  $\text{NADH} + \text{H}^+$ 'yi kullanmakta yetersiz kaldığında anaerobik yoldan  $\text{NADH} + \text{H}^+$ 'nin pirüvat ile reaksiyona girmesi sonucunda  $\text{La}^- + \text{NAD}^+$  oluşur. Böylece anaerobik yoldan da substratın (fosfokreatinin) kullanımı sonucunda ATP ve  $\text{H}^+\text{La}^-$  açığa çıkar.  $\text{H}^+\text{La}^-$  ile  $\text{K}^+\text{HCO}_3^-$ 'ün reaksiyona girmesi sonucunda  $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{K}^+\text{La}^-$  ve bunlardan da  $\text{La}^-$  ve  $\text{CO}_2$  ortaya çıkar. Görüldüğü gibi hem aerobik hem de anaerobik yolun sonucunda enerji ve  $\text{CO}_2$  ortaya çıkar (1,2).

### EGZERSİZE SOLUNUMSAL ve KARDİYAK YANIT

#### Solunumsal Yanıt

Egzersiz sırasında solunum kaslarındaki mekanik iş fazla artırılmadan alveoler oksijen ve karbondioksit düzeyleri yeterli ya da istirahatekine yakın düzeyde tutulmaya çalışılır. Bu amaçla kardiyak output artırılır, solunum kaslarının enerji tüketimi azaltılır, solunumsal eforu artıracak uyarılar en aza indirilir. Bu etkiler sonucunda solunum kaslarında oluşacak yorgunluk minimalize edilir ve egzersiz performansı artırılmaya çalışılır (3).

Sağlıklı kişilerde, submaksimal egzersizde alveoler ventilasyon (VA) metabolik artışla paralel olarak artar, bu yüzden  $\text{PaO}_2$  ve  $\text{PaCO}_2$  değişmez. Ağır egzersizde ise VA tidal volümü (TV) artırmak için artmaya başlar. Böylece ölü boşluk ventilasyonunun tidal volüme oranı (VD/VT) azaltılır. Egzersize devam edildikçe, TV total akciğer kapasitesinin (TAK) %70'ine kadar artabilir. Daha sonrasında kompanzasyon solunum sayısını (f) da artırarak yapılmaya çalışılır. Bu esnada  $\text{PaCO}_2$  düşme (hiperventilasyona bağlı olarak),  $\text{PaO}_2$  artma, AT'ye ulaşıldıktan sonra da kan laktat düzeyi artma (metabolik asidoz) eğilimindedir. Solunum sayısındaki artış, inspiryum ve ekspiryum zamanında azalmaya neden olur.

Sonrasında diyafragma, skalen, sternokleido-mastoid, interkostal, abdominal ve pektoral kaslar gibi metabolik kapasiteleri yüksek kaslar kullanılarak hem inspiratuar hem ekspiratuar akım ve volümler artırılmaya çalışılır (3-5).

Sağlıklı kişilerde, ağır egzersizde cevap olarak solunum kapasitesini artırmaya yönelik olarak TV, 3-5 kat artabilir, f 2-3 kat, atletlerde ise 6-7 kat artar,  $\text{P(A-a)O}_2$ , 20 mmHg'ya kadar artabilir. VEmaks (maksimum dakika ventilasyonu), MVV'nin (maksimum volanter volüm) en fazla %70'ine kadar artabilir, TV total akciğer kapasitesinin %70'ine kadar artar, VD/VT azalır, 0.28'den aşağıya düşer, 1 L karbondioksitin atılması için gereken dakika ventilasyonu diğer adıyla karbondioksitin ventilatuar equivalenti ( $\text{VE/VCO}_2$ ), 36-40'ın altına düşer (3,6).

#### Kardiyak Yanıt

İstirahatte iskelet kasları kardiyak outputun %20'sini kullanırken, ağır egzersizde bu kullanım %80'e kadar ulaşır. Bu, egzersiz sırasında kan akımının cilt, visseral organlar ve diğer inaktif organlardan iskelet kaslarına redistribüsyonu ile olur. Redistribüsyon, kardiyak outputun artırılması, cilt ve visseral organlar gibi inaktif organlardaki vasküler direncin artması (vazokonstriksiyon) ve iskelet kaslarındaki vasküler direncin azalması (vazodilatasyon) ile olur. Hafif ve orta egzersizde kardiyak outputun artırılması sinoatriyal (SA) noda gelen parasempatik uyarının azalması sonucunda olur. Ağır egzersizde ise SA noda gelen sempatik uyarımda da artış olur ve kardiyak outputun artırılmasına çalışılarak iskelet kasının artan ihtiyacı karşılanmaya çalışılır. Strok volümdeki artış, kalp kasına gelen pozitif inotrop etkinin artışı ve venöz dönüşün artışı ile birlikte sağlanır. Egzersiz sırasında strok volüm artışı sağlıklı olgularda maksimum oksijen tüketiminin %40'ına ulaşılırken plato çizmeye başlar. İskelet kası kontraksiyonunun sonucu olarak vasküler yatağa gelen sempatik uyarının refleksi olarak artışı sonucunda egzersizle kan basıncında da yükselme olur. Bu refleksi uyarı artışı, iskelet kasında kemo ve mekano reseptörlerin uyarılması sonucunda olur. Egzersize bağlı kan basıncındaki artışın venöz kandaki laktat artışıyla ve pH düşüşüyle uyumlu olduğu da gösterilmiştir (3-5).

## YÖNTEM

KPET sırasında hastanın aldığı havadaki  $O_2$  ( $VO_2$ ) verdiği havadaki  $CO_2$  düzeyleri ( $VCO_2$ ), dakika ventilasyonu (VE), dakika solunum sayısı (f), kalp hızı (HR), tidal volüm (TV), inspiratuar kapasite (IC), oksijen saturasyonu, 12 derivasyon EKG ritmi, yapılan iş (work/stage), egzersiz süresi ve kan basıncı monitörize edilmektedir. Anaerobik yolun kullanılmaya başlandığı nokta anaerobik threshold (AT) noktası ya da laktat eşiği olarak tanımlanmaktadır. Test sırasında alınan oksijen miktarı ile verilen karbondioksit miktarı eşitlenip  $VCO_2$ 'nin artmaya başladığı noktayı ifade etmektedir. AT burada alınan ya da tüketilen oksijen miktarı ile ifade edilmektedir ( $ATVO_2$ ) ve noninvaziv olarak V- slope yöntemiyle ölçülebilmektedir. AT'yi belirlemek için  $VE/VCO_2$ ,  $VE/VO_2$ ,  $VCO_2/VO_2$ ,  $PETCO_2$ ,  $PE-TO_2$  kullanılabilirse de en uygun olanın  $VE/VO_2$  olduğu belirtilmektedir. AT'ye ulaşılan noktadaki ve pik egzersizdeki  $VO_2$  ve  $VCO_2$  değerleri, metabolik patolojilerin tanınmasında, kardiyak mortalite ve prognozun belirlenmesinde, ayrıca kardiyak ve solunumsal hastalıkların ayırıcı tanısında kullanılan bazı parametrelerin ( $VE/VO_2$ ,  $VE/VCO_2$ ,  $VO_2/Work$  rate gibi) hesaplanmasında da kullanılmaktadır. Pik  $VO_2$  değeri yaş, boy, cinsiyet, kilo, kondüsyon, beden kitle indeksi, yapılan egzersizin türü, motivasyon ve çeşitli hastalıklar ile etkilenmektedir (7,8).

KPET'de bisiklet ergometrisi, koşu bandı, kol ergometrisi ve koridor testleri kullanılmaktadır. Kol ergometrisi sadece üst ekstremitelere kaslarını çalıştırmaya yöneliktir ve daha çok alt ekstremitelere kullanım zorluğu olan olgularda tercih edilmektedir. Koridor testleri ise genelde submaksimal testlerdir ve yürüyüş mesafesi, kalp hızı ve saturasyon değerlerinin monitörizasyonuna olanak vermektedir. Bu nedenle koridor testleri kardiyopulmoner kısıtlanmanın nedenini araştırmaya yönelik değil, prognoz tayini, tedavi yanıtı ve preoperatif mortalite değerlendirmesine yönelik testlerdir (9). Koridor testleri önceleri 12 dakikalık yapılırken 12 dakika ve 6 dakika yürüyüş (6DYT) sonuçlarının çok iyi korele olduğu gösterilmiş ve hastayı 12 dakika yürütmenin gerekli olmadığı, 6DYT'nin solunumsal hastalığı olan olguları değerlendirmek için en iyi test olduğu görüşüne va-

nılmıştır (10). Günümüzde test 6DYT olarak uygulanmaktadır. Yapılan bir çalışmada kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH) olan olgularda egzersize bağlı desaturasyonu değerlendirmek için de 6DYT'nin bisiklet ergometrisine göre daha kullanışlı olduğu sonucuna varılmıştır (11). Redelmeier ve arkadaşları 6DYT'de tedavi yanıtının iyi olduğunun söylenebilmesi için yürüyüş mesafesinin tedavi öncesi değerlere göre en az 54 m artmasının gerekli olduğunu belirtmişlerdir (12). 6DYT'nin 20 m, 30 m, 50 m koridorlarda yapıldığı çalışmalar vardır (13,14). Bu konuda genel görüş 30 m düz bir koridorun yeterli olduğu yönündedir. 6DYT, koşu bandında (treadmill) uygulanabilmekle beraber koridora göre %14 daha az mesafe yürünebildiği gösterilmiş ve bu koşu bandına uyumun daha kötü olması ile açıklanabilmektedir (15). Günümüzde, kardiyopulmoner kısıtlanmanın nedenini araştırmaya yönelik olarak daha çok bisiklet ergometrisi ve koşu bandı kullanılmaktadır. Bisiklet ergometrisi ve koşu bandı kullanımı karşılaştırıldığında bazı avantaj ve dezavantajları vardır (Tablo 1).

Solunumsal hastalığı olan olgularda artan iş yükü (ramp) protokolleri ve endürans testleri için daha uygun olması, iş yükünün hesaplanabilmesi gibi nedenlerle bisiklet ergometrisi tercih edilmektedir. Bisiklet ergometrisi ile olguya uygulanacak iş yükü olgunun boy, kilo, cinsiyet, istirahatteki tahmini oksijen tüketimini göz önünde bulunduran standart bir formülle hesaplanabilmektedir. Oniki erkek ve 2 kadın olguda yapılan bir çalışmada 20 watt, 30 watt, 50 watt uygulanması ile maksimum kalp hızına ulaşım, pik oksijen tüketimi,  $ATVO_2$  ve ulaşılan iş yükü açısından anlamlı fark olmadığı da gösterilmiştir (16). Porszasz ve arkadaşları tarafından yeni yapılan bir çalışmada koşu bandında uygulanabilecek bir ramp protokolü tanımlanmış ve bu protokolün solunumsal hastalığı olan olgular için uygun olduğu öne sürülmüştür (17).

Furuike ve arkadaşları 23 olguda yaptıkları çalışmada, sabit iş yükü uygulanan (constant) ve basamaklı iş yükü artışı uygulanan (incremental) testi karşılaştırmışlar, iki test grubu arasında pik oksijen tüketimi, arter kan gazı değerleri, alveoloarteryel gradient ve ölü boşluk açılımı yönünden anlamlı fark olmadığını göstermişlerdir (18).

KPET'in kullanım endikasyonları oldukça geniştir. Sadece tanısal amaçla değil tedavi yanıtı değerlendirilmesi içinde kullanılmaktadır. KOAH'lı olgularda inhaler tedavilerin etkinliğini değerlendirmek amacıyla 6DYT ve endürans testinin bisiklet ergometrisine göre daha duyarlı olduğu bildirilmiştir (19). Liesker ve arkadaşları KPET ile tedavi yanıtını değerlendirirken dikkat edilecek noktaları;

1. Egzersiz kısıtlanmasına neden olabilecek eşlik eden hastalık olmaması,

2. Doğru hasta gruplarının çalışmaya alınması,
3. Bronkodilatör ilacın dozunun önerilen dozda olması,
4. Tekrarlayan testlerde öğrenme etkisinin olabilmesi,
5. Bronkodilatörlerin V/Q oranını bozabilmesi ya da periferik kas gücünü azaltabilmesi olarak belirlenmişlerdir.

KPET endikasyonları ve kontrendikasyonları Tablo 2'de gösterilmiştir (20).

**Tablo 1. Bisiklet ve koşu bandının karşılaştırması.**

Koşu bandı	Bisiklet
Eğim ve hız artar	Watt cinsinden iş yükü artar
Kolay	Yürüyüş ve koşmaya göre daha zor
Maksimum egzersize daha çabuk ulaşır	Egzersiz paterninde değişiklik az
Adımlama paterni kişiye göre değişken	Düşme riski yok
Hastanın düşme riski var	Artefakt daha az
Artefakt daha çok	Kollardan destek minimal
Kollardan destek alınır	İş yükü hesaplanabilir
İş yükü hesaplanamaz	Ramp protokolleri ve endürans testler için daha uygun
	Ventilasyon ve laktat üretimi hafifçe daha yüksek
	Oksijen tüketimi %7-10 daha düşüktür

**Tablo 2. KPET'in endikasyon ve kontrendikasyonları.**

Endikasyonlar	Kontrendikasyonlar
Egzersiz toleransını değerlendirmek	PaO <sub>2</sub> < 50 mmHg
İntolerans varsa nedenini saptamak	PaCO <sub>2</sub> > 70 mmHg
Kardiyovasküler ve solunumsal hastalıklarda	FEV <sub>1</sub> < %30 beklenenin
Preoperatif değerlendirmede	Son 4 haftada miyokard infarktüsü
Tedaviye yanıt değerlendirmesinde	Unstabil AP
Maluliyet değerlendirmesinde	2-3. derece blok
Akciğer, kalp, kalp/akciğer transplantasyonu öncesi	Hızlı ventriküler ya da atriyal aritmiler
	Ortopedik engel
	Ciddi aort darlığı
	Konjestif kalp yetmezliği
	KontROLSÜZ hipertansiyon
	Ventriküler anevrizma
	Ciddi pulmoner hipertansiyon
	Tromboflebit/intrakardiyak trombus
	Yakın zamanda sistemik/pulmoner emboli
	Akut perikardit

Günümüzde KPET'in akciğer rezeksiyonu yapılacak olan olgularda rezeksiyon öncesi değerlendirilmede kullanımı da yaygınlaşmaktadır. Pik  $VO_2$ 'si 10 mL/dakika/kg'ın altında olan olgularda mortalitenin daha yüksek olduğu bilinmektedir. Older ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada,  $ATVO_2$  11 mL/dakika/kg'ın altında olan olgularda postoperatif mortalitenin daha yüksek olduğu bulunmuştur (21). Benzer olarak Akkoca ve arkadaşları 26 akciğer rezeksiyonu yapılacak olguda ameliyat öncesi solunum fonksiyon testleri ve difüzyon kapasitesi ölçümlerini KPET ile saptanan pik  $VO_2$  değerleri ile karşılaştırmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda ameliyat sonrasında komplikasyon görülme sıklığı ile solunum fonksiyon testleri ve difüzyon kapasitesi arasında ilişki bulunmazken, düşük pik  $VO_2$  değeri (10 mL/dakika/kg'ın altında) ile komplikasyon sıklığı arasında anlamlı ilişki bulunduğu gösterilmiştir (22).

KPET öncesinde hasta test sırasında oluşabilecek ve testi sonlandırmamızı gerektirecek ciddi durumlar konusunda bilgilendirilmelidir. Test sırasında göğüs ağrısı, nefes darlığı, çarpıntı gibi şikayetleri olması durumunda hastanın bunu bize aktarabilmesi için el yardımıyla anlaşabilecek bir işaret dili oluşturulmalı ve test öncesinde hastaya gösterilmelidir. Test öncesinde hastanın EKG'si görülmeli, düzenli kullandığı ilaçlar mutlaka sorgulanmalıdır (örneğin; beta-bloker kullanan olgularda egzersize kalp hızı cevabı beklenenden daha yavaş olacaktır). Testin yapıldığı odada mutlaka defibrilatör, oksijen kaynağı ve acil müdahale seti bulundurulmalıdır. Test sırasında maksimum kalp hızına ulaşan ya da EKG'de ST değişikliği olan hastaların kardiyak ritimleri en az 15 dakika gözlenmelidir. Test yapılırken testi sonlandırma kriterleri Tablo 3'te sıralanmıştır. Doğru değerleri elde edebilmek ve doğru değerlendirme yapabilmek için test öncesinde her hasta için mutlaka kalibrasyon yapılması gereklidir.

### SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

KPET yapılan bir hastanın sonuçları değerlendirilirken, integratif yaklaşım gereklidir. Testin yapılış nedeni, bazal klinik ve laboratuvar verileri, test sırasında hastanın gösterdiği efor, testin

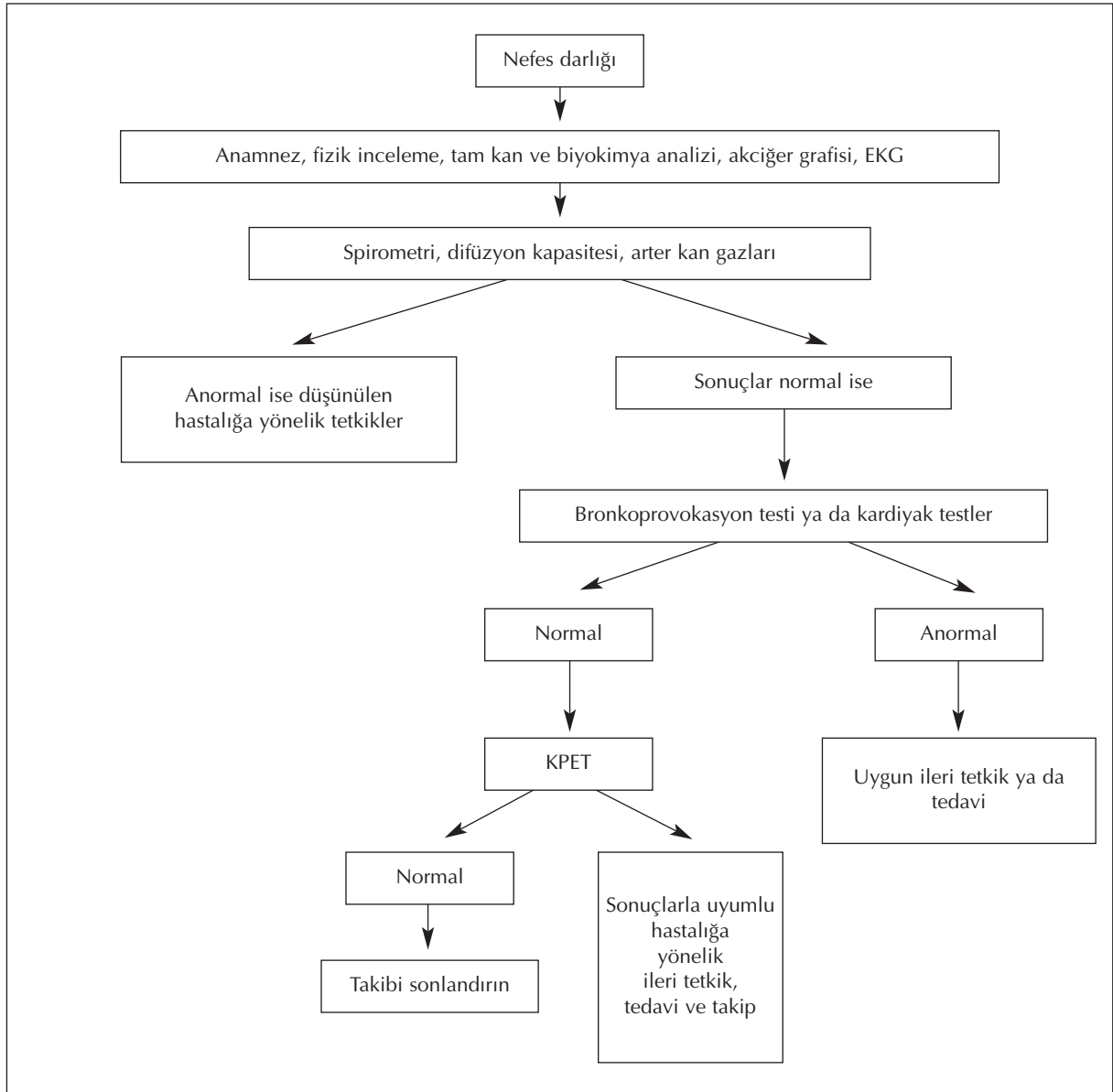
**Tablo 3. KPET sonlandırma kriterleri.**

- Hasta monitörize edilemiyorsa
- 2 mm ST çökme/yükselmesi
- T inversiyonu ya da Q varlığı
- Supraventriküler/ventriküler taşikardi
- Multifokal prematüre ventriküler atım
- 2-3. derece blok gelişimi
- Sağ/sol dal bloku gelişmesi
- Progresif göğüs ağrısı
- Terleme ve ateş
- Sistolik kan basıncının 250 mmHg, diyastolik kan basıncının 120 mmHg'nin üzerine çıkması
- Her iş yükü artımında 10 mmHg sistolik kan basıncı artışı
- Ani solukluk, mental konfüzyon, baş ağrısı, siyanoz
- Bulantı kusma
- Kramp

sonlandırılma nedeni, elde edilen grafik ve verilerin incelenmesi, verilerin uygun referans değerlerle karşılaştırılması, egzersizi kısıtlayan faktörün fizyolojik olup olmadığı, eşlik eden patolojik durumlar ve sonuçların klinikle korelasyonu doğru değerlendirme için önemlidir.

Egzersiz kısıtlanması olan bir hastada KPET ilk tanı yöntemi değildir. Hastanın anamnezi, fizik muayenesi, rutin laboratuvar tetkikleri, PA akciğer grafisi, EKG'si değerlendirildikten sonra spirometrik testleri, difüzyon kapasitesi, arteriyel kan gazı görülmelidir. Bu testler normale bronkoprovokasyon testi, ekokardiyografi, kardiyak stres testleri ile egzersiz kısıtlaması yapan neden bulunmaya çalışılmalıdır. Bu yöntemlerle de patoloji saptanamadığı takdirde KPET uygulanmalıdır (Şekil 1) (23).

KPET değerlendirmesi amacıyla kullanılan tanı algoritmaları vardır. Bu algoritmalar içinde en kapsamlı olan Karl Wasserman'ın hazırladığı beş ardışık algoritma olup, ayrıntılı değerlendirmeye olanak sağlaması nedeniyle günümüzde de güncelliğini korumaktadır (1). Şekil 2'de ATS tarafından hazırlanmış, tanı algoritması görülmektedir (6).



Şekil 1. Dispne de tanı algoritması (23).

### ÇEŞİTLİ DURUMLARDA KPET

#### Periferik Arter Hastalıkları

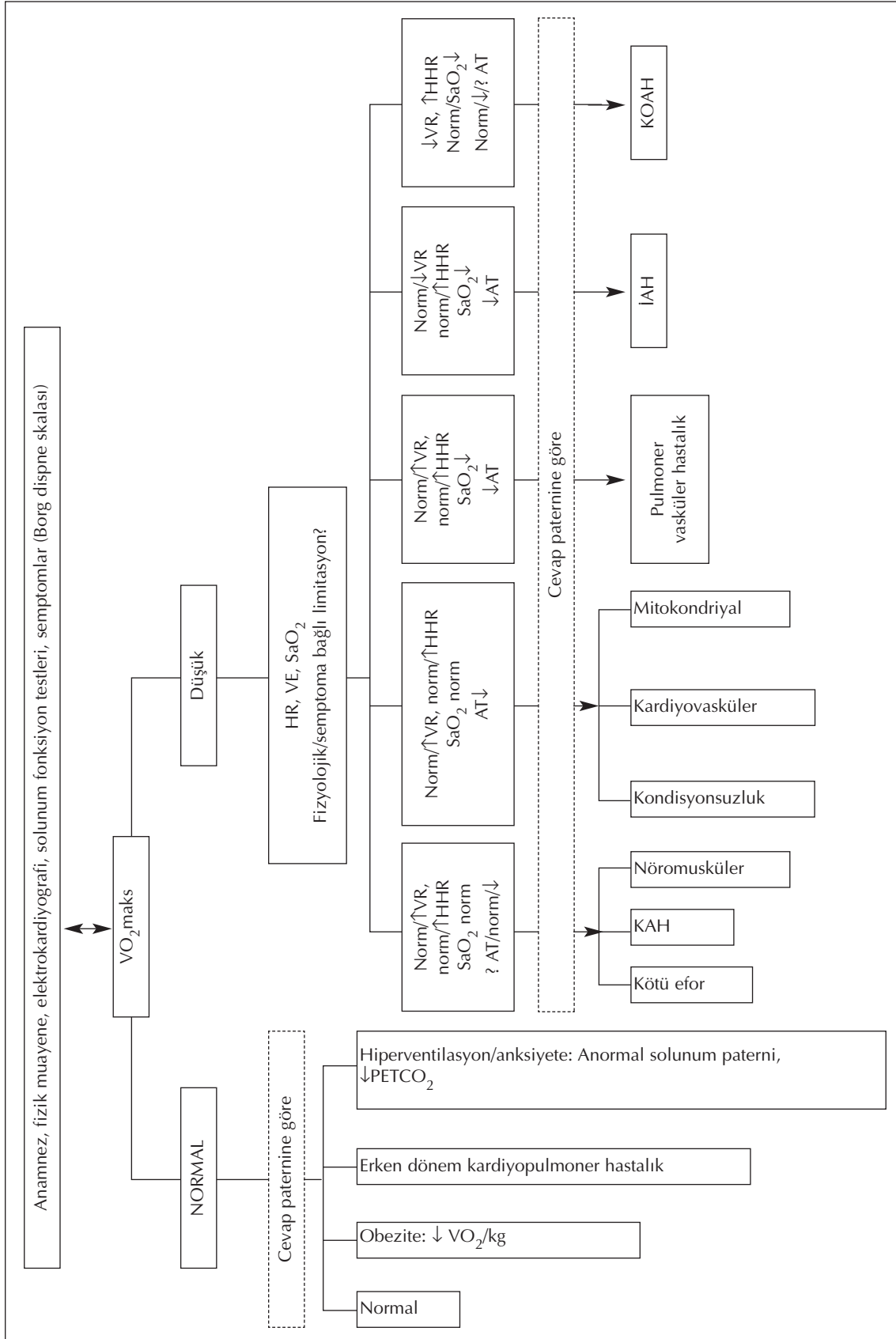
$VO_2$  maks düşüktür,  $VO_2/WR$  egzersizin erken evrelerinde dahi düşüktür,  $ATVO_2$  düşüktür, test genelde bacak ağrısı ile sonlandırılır, egzersize bağlı hipotansiyon görülebilir.

#### Kalp Yetmezliği ve Koroner Arter Hastalıkları

Kalp yetmezliğinde V/Q bozukluğu sonucu VD/VT artar, asidoz oluşur, solunumsal ihtiyaç

artar, dispne ortaya çıkar. Yine kardiyak outputun azalması ile dokulara oksijen sunumu azalır, bunu kompanse etmek için kalp erken hızlanır, AT'ye erken ulaşılır,  $La^+$  ve  $CO_2$  üretimi artar, egzersiz için kullanılan kaslarda güçsüzlük ve kasılma yeteneğinde azalma ortaya çıkar. Dispne ve kas gücünde azalmanın sonucu ise egzersiz kısıtlanmasıdır.

KPET, kalp yetmezliğinde performans ve prognozu değerlendirmek için basit efor testinde saptanan mets değerine (1 mets= 3.4 mL/dakika/



Şekil 2. KPEP'te tanı algoritması (6).

kg oksijen tüketimini ifade eder, olgunun katettiği mesafe ve eğime göre hesaplanan tahmini bir değerdir) göre daha doğru değerlendirme yapmaya olanak sağlar. Günümüzde kalp yetmezliğinde transplantasyon endikasyon ve riskini belirlemek, tedavi yanıtını değerlendirmek, mortalite ve prognozu tayin etmek, koroner arter hastalığı tanısını koymak amacıyla basit efor testine göre daha değerlidir.

Kalp yetmezliğinde mortaliteyi KPET ile belirlemeye yönelik yapılan çalışmalarda AT/VO<sub>2</sub> 8 mL/dakika/kg'ın altında ya da pik VO<sub>2</sub> 10 mL/dakika/kg'ın altında ise mortalitenin yüksek olduğu gösterilmiştir. AT/VO<sub>2</sub> 10 mL/dakika/kg'ın altında pik VO<sub>2</sub> 14 mL/dakika/kg'ın altında ve VD/VT 0.35'in üzerinde ise prognozun kötü olduğu bildirilmektedir (24,25).

Kalp yetmezliğinde tedavi yanıtını değerlendirmek amacıyla yapılan çalışmalarda ACE inhibitörleri, vazodilatörler ve AT1 blokerlerinin egzersiz süresi ve pik VO<sub>2</sub>'yi artırdığı, beta-blokerler ve kalsiyum kanal blokerlerinin egzersiz üzerinde etkisinin olmadığı gösterilmiştir. Egzersiz üzerindeki olumlu etkinin özellikle ACE inhibitörü uygulanan olgularda daha belirgin olduğu da belirtilmiştir (26).

Koroner arter hastalıklarında egzersizde miyokardın oksijen ihtiyacının karşılanamaması sonucunda kalp hızında erken artış, oksijen sunumunda azalma, artan iş yüküne paralel olarak oksijen tüketiminin artmaması (VO<sub>2</sub>/WR düşük iş yükünde normal iken AT'de düşer) gözlenir (27). Egzersiz sırasında EKG'de ST değişiklikleri görülür, HR/VO<sub>2</sub> ilişkisi maksimum egzersize ulaşırken bozulur (oksijen sunumunu artırabilmek için düşen kardiyak outputu kompanse etmek amacıyla erken hızlanır), BR normaldir. Egzersiz sonlandırıldığında oksijen sunumu belirgin olarak düzelir. Yeni miyokardiyal iskemisi olan olgularda ATVO<sub>2</sub>'nin eski miyokardiyal iskemisi olan olgulara göre belirgin düşük olduğu bir çalışmada gösterilmiştir (28).

## KOAH

V/Q bozukluğuna bağlı olarak ölü boşluk artar, PaO<sub>2</sub> ve pH düşer, solunum ihtiyacı artar, disp-

neye bağlı olarak egzersiz kısıtlanması oluşur. Yine solunum işinin artması, hava yolu obstrüksiyonunun artmasına ve elastik recoil'in azalmasına neden olur, solunumsal kapasite azalır ve egzersiz kısıtlanması oluşur. Egzersizle birlikte ekspirasyon sonunda akciğerlerde kalan hava miktarı artar (EELV), inspiratuar kapasite azalır ve hiperinflasyon belirginleşir (29). Bütün bu olumsuzlukların sonucunda KPET'te ekspiratuar akım hızında düşme belirginleşir, pik VO<sub>2</sub>, solunum rezervi (BR) düşer, VD/VT, PETCO<sub>2</sub> artar, P(A-a)O<sub>2</sub> artar.

KPET, KOAH'da prognozun belirlenmesi için kullanılabilir. Yüzyirmi KOAH'lı olgu ile yapılan bir değerlendirmede egzersize bağlı hipoksemi ve yaş ile sağkalım süresinin anlamlı ilişkili olduğu gösterilmiştir (30).

## İnterstisyel Akciğer Hastalıkları

İnterstisyel akciğer hastalıkları (İAH)'nda parankimde oluşan harabiyet sonucunda elastik recoil azalmakta, solunum işi artmakta solunumsal yetersizlik ve egzersiz kısıtlanması oluşmaktadır. Yine kapiller hasarlanmaya bağlı olarak akciğerlerde damar yatağında direncin artması ile sol ventrikül dolumu azalmakta kardiyak işlev de azalır ve sonuçta egzersiz kapasitesi de azalır (1).

İAH'de hem ölü boşluğun artması hem de havayollarındaki kemo ve mekano reseptörlerin inflamasyona bağlı olarak uyarılması sonucunda TV'yi arttırmak amacıyla solunum sayısı (> 50/dakika) ve VEmax artmıştır. MVV ve BR azalmıştır (31). Tüm bunlar KPET'te pik VO<sub>2</sub>'de azalma, VD/VT'de artma, VO<sub>2</sub>/WR'te azalma, P(a-ET)CO<sub>2</sub> düzeyinde ve P(A-a)O<sub>2</sub>'de artma olarak karşımıza çıkar. KPET'in erken dönem KOAH ve interstisyel akciğer hastalığını ayırt etmede yararlı olmadığı bilinmesine karşın son yıllarda sarkoidozda spirometrik ölçümler normal olsa bile KPET ile egzersizde solunumsal kısıtlanmanın gösterilebileceği konusunda çalışmalar vardır (32).



## KAYNAKLAR

1. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, et al. *Principles of Exercise Testing and Interpretation*. 3<sup>rd</sup> ed. Baltimore: A Wolters Kluwer Comp, 1999: 10-56.
2. Champe PC, Harvey RA. *Biyokimya*. Lippincott's Illustrated Reviews. 2. Baskı. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevi, 1997: 87-97.
3. Rodman JR, Haverkamp HC, et al. Cardiovascular and respiratory system responses and limitations to exercise. In: Weissman IM, Zeballos RJ (eds). *Clinical Exercise Testing*. Basel: Karger AG, 2002: 1-29.
4. Guyton AC, Hall JE. *Tıbbi Fizyoloji*. 9. Baskı. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevi, 1996: 477-544.
5. Casaburi R. Physiologic responses to training. *Clin Chest Med* 1994; 215-27.
6. ATS/ACCP Statement on Cardiopulmonary Exercise Testing. *Am J Respir Crit Care Med* 2003; 167: 211-77.
7. Sue DY, Hansen JE. Normal values in adults during exercise testing. *Clin Chest Med* 1984; 5: 89-97.
8. Johnson BD, Badr MS, et al. Impact of the aging system on the response to exercise. *Clin Chest Med* 1994; 229-47.
9. ATS Statement: Guidelines for the Six-Minute Walk Test. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 166: 111-7.
10. Butland RJA, Pang J, Gross ER. Two-, 6- and 12-minute walking tests in respiratory disease. *Br Med J* 1982; 284: 1607-8.
11. Poulain M, Durand F, Palomba B, Ceugnict F. 6-minute walk testing is more sensitive than maximal incremental cycle testing for detecting oxygen desaturation in patients with COPD. *Chest* 2003; 123: 1401-7.
12. Redelmeier DA, Batoumi AM, Goldstein RS, et al. Interpreting small differences in functional status: the six minute walk test in chronic lung disease patients. *Am J Respir Crit Care Med* 1997; 155: 1278-82.
13. Troosters T, Gosselink R, Decramer M. Six-minute walking distance in healthy elderly subjects. *Eur Respir J* 1999; 14: 270-4.
14. Lipkin DP, Scriven AJ, Crake T, et al. Six minute walking test for assessing exercise capacity in chronic heart failure. *Br Med J* 1986; 292: 653-5.
15. Stevens D, Elpern E, Sharma K, et al. Comparison of hallway and treadmill six-minute walking tests. *Am J Respir Crit Care Med* 1999; 160: 1540-3.
16. Davis JA, Whipp BJ, Lamarra N. Effect of ramp slope on measurement of aerobic parameters from the ramp exercise test. *Med Sci Sports Exerc* 1982; 14: 339-43.
17. Porszasz J, Casaburi R, Somfay A, Woodhouse LJ. A treadmill ramp protocol using simultaneous changes in speed and grade. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35: 1596-603.
18. Furuike AN, Sue DY, Hansen JE, Wasserman K. Comparison of physiologic dead space/tidal volume ratio and alveolar-arterial PO<sub>2</sub> difference during incremental and constant work exercise. *Am Rev Respir Dis* 1982; 126: 579-83.
19. Oga T, Nishimura K, Tsukino M, et al. The effects of oxitropium bromide on exercise performance in patients with stable chronic obstructive pulmonary disease. A comparison of three different exercise tests. *Am J Respir Crit Care Med* 2000; 161: 1897-901.
20. Liesker JW, Wijkstra PJ, Nick HT. Review of the effects of bronchodilators A systematic on exercise capacity in patients with COPD. *Chest* 2002; 121: 597-608.
21. Older P, Smith R, Courtney P, Hone R. Preoperative evaluation of cardiac failure and ischemia in elderly patients by cardiopulmonary exercise testing. *Chest* 1993; 104: 701-4.
22. Akkoca O, Eris Gulbay B, et al. The importance of exercise testing for the functional assessment of lung resectional candidates. *Tuberk Toraks* 2004; 52: 307-14.
23. Alhamad EH, Gay SE, Flaherty KR, Martinez FJ. Evaluating chronic dyspnea: A stepwise approach. *J Respir Dis* 2001; 22: 79-88.
24. Mancini D. Predicting survival in heart failure: exercise based prognosticating algorithms. In: Wasserman K (ed). *Cardiopulmonary Exercise Testing and Cardiovascular Health*. 1<sup>st</sup> ed. Futura Publishing Company, 2002: 165-72.
25. Weber KT, Janicki JS. Cardiopulmonary exercise testing for evaluation of chronic cardiac failure. *Am J Cardiol* 1985; 55: 22A-31A.
26. Guazzi M. Exercise testing to monitor heart failure treatment. In: Wasserman K (ed). *Cardiopulmonary Exercise Testing and Cardiovascular Health*. 1<sup>st</sup> ed. Futura Publishing Company, 2002: 221-38.
27. Itoh H, Tajima A, Koike A. Oxygen uptake abnormalities during exercise in coronary artery disease. In: Wasserman K (ed). *Cardiopulmonary Exercise Testing and Cardiovascular Health*. 1<sup>st</sup> ed. Futura Publishing Company, 2002: 165-72.
28. Older PO, Hall AC. The role of cardiopulmonary exercise testing for preoperative evaluation of the elderly. In: Wasserman K (ed). *Exercise Gas Exchange in Heart Disease*. Armonk, NY: Futura Publishing Company, 1996: 287-97.
29. O'Donnell DE, Voduc N, Fitzpatrick M. Effects of tiotropium on lung hyperinflation, dyspnoea and exercise tolerance in COPD. *Eur Respir J* 2004; 23: 832-40.
30. Hiraga T, Maekura R, et al. Prognostic predictors for survival in patients with COPD using cardiopulmonary exercise testing. *Clin Physiol Imaging* 2003; 23: 324-31.
31. Darcy D. Clinical exercise testing in interstitial lung disease. *Clin Chest Med* 1994: 287-303.
32. Delobbe A, Perrault H, et al. Impaired exercise response in sarcoid patients with normal pulmonary function. *Sarcoidosis Vasc Diffuse Lung Dis* 2002; 19: 148-53.