

# Kardiyopulmoner Egzersiz Testlerinin Klinik Kullanımı

## Clinical Use of Cardiopulmonary Exercise Testing

Gaye ULUBAY<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Göğüs Hastalıkları AD,  
Başkent Üniversitesi Tıp Fakültesi,  
Ankara

Yazışma Adresi/Correspondence:  
Gaye ULUBAY  
Başkent Üniversitesi Tıp Fakültesi,  
Göğüs Hastalıkları AD,  
Ankara, TÜRKİYE  
gayeulubay@yahoo.com

**ÖZET** İstirahatte yapılan solunumsal ve kardiyak testler kısıtlanmış egzersiz performansı ve azalmış fonksiyonel kapasiteye neden olan durumları doğru saptayamazlar. Kardiyopulmoner egzersiz testi (CPET), semptom sınırlı maksimum egzersiz sırasında oksijen tüketimi, karbondioksit üretimi, dakika ventilasyonu ve diğer ventilatuvar parametreleri ölçerken, 12 derivasyonlu EKG, kan basıncı kalp hızı ve O<sub>2</sub> saturasyonunun monitörize edilmesine de olanak sağlar. Bu nedenle KPET, vücuttaki pulmoner, kardiyovasküler, hematopoetik, nörofizyolojik ve kas-iskelet sistemlerinin egzersiz sırasında değerlendirilebilmesini sağlar. KPET egzersiz kısıtlanması ve egzersize bağlı belirtiler ile fonksiyonel kapasite ve yetmezliği değerlendirmede önemli bir tanısal yöntemdir.

**Anahtar Kelimeler:** Egzersiz testi; tanı

**ABSTRACT** The resting pulmonary and cardiac function testing cannot reliably predict pathology of limiting exercise performance and decreasing functional capacity. Cardiopulmonary exercise testing (CPET) provides to measure of rate of oxygen uptake, rate of CO<sub>2</sub> production, minute ventilation and other ventilatory parameters while monitoring 12-lead ECG, blood pressure, heart rate and O<sub>2</sub> saturation during maximal "symptom-limited" exercise. Thus, CPET provides assesment of the multiple systems of body including pulmonary, cardiovascular, hematopoetic, neuropsychological, and skeletal muscle systems during the exercise. CPET is an important diagnostic method for the evaluation of exercise intolerance and exercise related symptoms, and to reveal functional capacity and impairment.

**Key Words:** Exercise test; diagnosis

**Türkiye Klinikleri Arch Lung 2012;13(Suppl):S74-S80**

Oksijen, aerobik glikoliz yolu ile enerji üretimi için gerekli ana faktördür. İnhalasyon ile alveollere ulaşan oksijenin pulmoner arter ile gelen kana aktarılarak, pulmoner ven ile sol kalbe, takiben periferik organlara taşınması süreci vücudun ihtiyaç duyduğu enerjinin üretimine hizmet eder. Bu nedenle, akciğerler, pulmoner arter, pulmoner ven, kalp, kan, kas ve mitokondri düzeyinde meydana gelebilecek patolojik durumlarda egzersizde kısıtlanma ortaya çıkar.

Kardiyo-pulmoner egzersiz testi (KPET), egzersiz sırasında ulaşılan işyükünü, oksijen tüketimini, karbondioksit üretimini, tidal volüm, maksimum dakika ventilasyonu, inspiratuvar kapasite, ekspiryum sonu akciğer volümü, solunum sayısı, oksijen saturasyonu gibi solunumsal parametrelerdeki değişiklikleri değerlendirme esasına dayanan, yaklaşık 50 yıldır kullanımda olan oldukça kapsamlı bir yöntem-

dir. Bu ölçümler kardiyovasküler, kas-iskelet ve solunumsal sistemleri birlikte değerlendirme ve yetersizlikleri saptama imkanını sağlar. Bu nedenle KPET'in en önemli endikasyonlarından biri, nedeni bilinmeyen nefes darlığıdır.<sup>1</sup>

### KPET'İN ENDİKASYONLARI

KPET'nin kullanım alanları; 1. Egzersiz toleransını değerlendirmek, 2. Egzersiz intoleransının, efor dispnesinin nedenini saptamak, 3. Kardiyovasküler ve solunumsal hastalıkların ayırıcı tanısını yapmak, 4. Farmakolojik, cerrahi, nutrisyonel, egzersiz tedavi yanıtını değerlendirmek, 5. İstirahatteki ölçümlerin yetersiz ya da semptomlar ile çelişkili olduğu durumlarda maluliyet değerlendirmesi, 6. Egzersiz rehabilitasyonu uygulanacak hastalarda hedef egzersiz seviyesini belirlemek, 7. Preoperatif değerlendirme, 8. Akciğer, kalp, kalp-akciğer transplantasyonu öncesinde aday olgunun seçilmesi.<sup>2</sup>

### KPET'İN KONTRENDİKASYONLARI

Ciddi aort darlığı, instabil anjina pectoris, 2-3. derece blok, son 1 ayda myokard infarktüsü, ortopedik engel, kontrolsüz hipertansiyon, ciddi pulmoner hipertansiyon, ventriküler anevrizma, akut perikardit olan hastalarda ve PaO<sub>2</sub> <50 mmHg, PaCO<sub>2</sub> >70 mmHg, FEV<sub>1</sub> <%30 (beklenenin) olan hastalarda KPET kontrendikedir. Test sırasında hastanın monitörizasyonunda aksama varsa, EKG'de >2 mm ve 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, sistolik kan basıncı >250 mmHg, diyastolik kan basıncı >120 mmHg üzerinde, ani solukluk, mental konfüzyon, siyanoz saptanırsa, hasta göğüs ağrısı, terleme, ateş, baş ağrısı, bulantı, kusma, kramp tanımlarsa test sonlandırılmalıdır.<sup>1,2</sup>

### UYGULAMA YÖNTEMİ

KPET için en çok tercih edilen cihazlar bisiklet ergometresi ve koşu bandıdır. Solunum sistemi hastalıklarının değerlendirmede EKG artefaktının daha az olması, koşu bandına göre hasta için daha güvenli olması ve uygulanan iş yüküne göre ölçülen VO<sub>2</sub> (oksijen tüketimi), VCO<sub>2</sub> (karbondioksit üretimi) vb. değişkenleri karşılaştırmanın mümkün olması, rampa ve endurans testlerinin kolay uygulanması gibi nedenler ile bisiklet ergometresi klinikte daha çok tercih edilmektedir.

KPET öncesinde hastanın hemoglobin düzeyi, elektrokardiyogramı, ekokardiyografik incelemesi, dinamik ve statik akciğer volümleri ve difüzyon kapasitesinin de-

ğerlendirilmesi gereklidir. Hastanın eşlik eden hastalıkları ve düzenli kullandığı ilaçlar KPET sonuçlarını etkileyebileceği için sorgulanmalıdır (örneğin; beta-bloker ya da kalsiyum kanal blokleri kullanan bir hastada egzersiz sırasında kardiyak hızlanma beklenenden daha yavaş olacağı için, O<sub>2</sub> sunumu yanlış olarak normal/normale yakın hesaplanabilir). Sağlıklı bir KPET sonucu elde edebilmek için test öncesinde hastaya ayrıntılı olarak KPET anlatılmalı, test sırasında hasta ile oluşabilecek semptomlar konusunda iletişim kurabilmek için bir işaret dili oluşturulmalıdır. Hastanın teste iyi uyumu için test başlamadan önce hastaya yapacağı egzersiz türü tanıtılmalı ve test anlatılmalıdır. Testi yapan hekimin, komplikasyonları değerlendirmek ve hastanın motivasyonunu sağlamak amacı ile test boyunca hastanın başında durması gereklidir. Test boyunca hastanın maksimum efor kapasitesine ulaşması sağlandığından olası kardiyopulmoner risklere karşı laboratuarda donanımlı bir acil setinin bulundurulması şarttır.

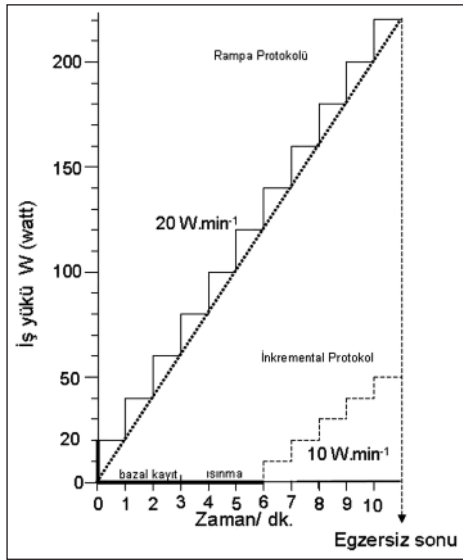
Test sırasında kan basıncı, oksijen saturasyonu, kalp hızı sürekli olarak monitörize edilmeli, solunumsal değişkenler ile birlikte 12 derivasyonlu EKG takip edilmeli ve hasta aralıklı olarak "iyi gidiyorsunuz, her şey yolunda, böyle devam edin, hızınızı bu şekilde koruyun" gibi sözler ile motive edilmelidir.

KPET için bisiklet ergometresi ile kademeli artan protokoller uygulanabilir. Genellikle Rampa ya da İn-kremental protokol tercih edilir (Şekil 1). Klinikte, hasta grupta daha çok inkremental protokol önerilir.

3 dakikalık bazal kayıt dönemi, 3 dakikalık yüksüz ve dakikada 60 pedal (60 rpm) çevrilerek uygulanan ısınma dönemini takiben her dakikada artan iş yükünün pedallara uygulandığı protokol tercih edilebilir. Zamana ve iş yüküne karşı diğer değişkenler bu protokol ile lineer olarak daha iyi gözlemlenmektedir. Koşu bandında ise Bruce, Balke ve Naughton protokolleri en çok kullanılanlardır. Bisiklet ergometresi ve koşu bandının avantaj ve dezavantajları Tablo 1'de görülmektedir. Cihaz seçerken koşu bandı ile yapılan testlerde, daha çok kas grubunun çalıştırılması nedeni ile PikVO<sub>2</sub> (tepe oksijen tüketimi) değerinin %5-10 daha yüksek saptanabileceği unutulmamalıdır.<sup>1-4</sup>

### DİSPNE'DE KPET'İN YERİ

Egzersiz kısıtlanmasının en sık semptomu dispnedir. Dispne ile başvuran hastalarda etyolojiye yönelik olarak yapılan değerlendirmede KPET ilk tanı yöntemi değildir. Hastanın anamnezi, fizik incelemesi, rutin tetkikleri (tam kan, sedimentasyon, biyokimya), postero- anterior



ŞEKİL 1: KPET'te kullanılan inkremental ve rampa protokollerinin şematize görünümü.

akciğer grafisi, EKG, spirometrik inceleme, difüzyon kapasitesi ve hemoglobin saturasyonu (gerekirse arter kan gazı) değerlendirilmelidir. Bu testler normal ise bronkoprovokasyon testi, ekokardiyografi uygulanmalıdır. Bu testlerin sonuçları dispnenin nedenini açıklamakta yetersiz kalıyorsa, KPET uygulanmalıdır. KPET sonucu hangi sistemi işaret ediyorsa o sistem yönelik ileri tetkikler istenmelidir (Şekil 2).<sup>4,5</sup>

### KPET SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

KPET sonuçlarının değerlendirmesinde integratif yaklaşım gereklidir. Testin yapılaş nedeni, bazal ve klinik laboratuvar verileri, test sırasında hastanın eforu, testin sonlandırılma nedenleri değerlendirme göz önünde bulundurulmalıdır. Beklenen değerler için, yaş, boy, kilo ve cinsiyeti göz önünde bulundurarak hesaplanan bek-

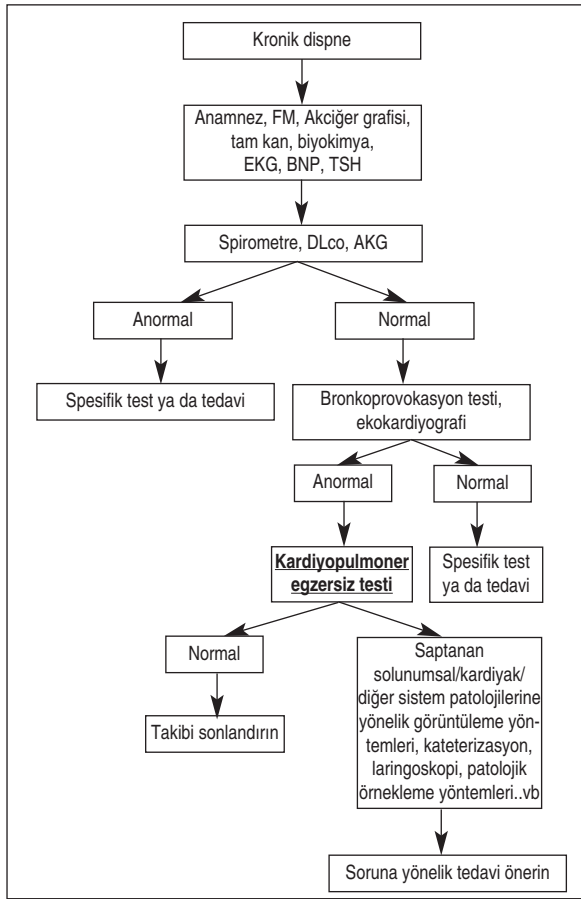
lenen değerler kullanılmalıdır.<sup>1,2</sup> Bu şekilde elde edilen beklenenin yüzde pik  $VO_2$  değeri %80'in altında ise, kişi egzersiz kapasitesinde azalmadan/kısıtlanmadan söz edilir ve verilerden yola çıkarak dispne nedenini saptanabilir.<sup>6-8</sup>

KPET değerlendirmesi sırasında hastanın egzersiz kapasitesi  $PikVO_2$  ölçümü ile belirlenir. Beklenen değerle karşılaştırıldığında  $PikVO_2$  değerindeki düşüklük, hastanın egzersiz kapasitesindeki düşüklüğü gösterir. Tanısal değerlendirme sırasında  $PikVO_2$ 'si normal olan semptomatik hastalarda, egzersiz kısıtlanmasının obeziteye bağlı olabileceği ancak, erken dönem akciğer ve kalp hastalığının dışlanamayacağı unutulmamalıdır ve hasta belli aralıklar ile takipte tutulmalıdır. Test sonuçlarının değerlendirmesi sırasında takip edilecek ve cevaplanacak sorular Tablo 2'de özet olarak görülmektedir.<sup>1</sup> Kardiyak ve solunumsal patolojilerde KPET parametrelerinde görülen temel değişiklikler Tablo 3'te gösterilmiştir.<sup>5</sup>

Elde edilen verileri çalışmalarda kullanmak amacı ile grafik ve 10-30 sn averaj değerlerin incelenmesi önemlidir. Averajların kullanımı sırasında aralıklarda veri kaybını azaltması ve saniyelik verilere göre daha öz bilgiyi yansıtması nedeni ile 10 sn averajların kullanılması tercih edilir. Pik egzersiz verilerini değerlendirirken pik egzersizin son 1 dakikasındaki verilerin ortalaması kullanılır. Bu nedenle cihazdan 10 sn'lik averaj seçilip, hatalı veriler silindikten sonra pik egzersize kadar olan son 6 veri satırının tüm verileri toplanıp 6'ya bölünerek son dakikanın ortalama verileri her parametre için tek tek hesaplanmalıdır. Bu hesaplamalar, cihazın veri akışı excel programına aktarılarak daha kolay ve hızlı bir şekilde elde edilebilir. İstatistik analizleri için bu sağlıklı verilerin kullanılması daha doğru sonuçların elde edilmesini sağlar.<sup>2</sup>

TABLO 1: Bisiklet ergometresi ve koşu bandının karşılaştırması.

Koşu bandı	Bisiklet
Maksimum egzersize daha çabuk ulaşılır	
Eğim ve hız artar	Watt cinsinde iş yükü artar
Kişiye göre egzersiz paterni değişir	Kişiye göre egzersiz paterni değişmez
Artefakt daha çok	Artefakt daha az
Üst ve alt ekstremitelere kasları çalışır	Alt ekstremitelere kasları çalışır
Kollardan destek sonucu etkiler	Kollardan destek önemsiz derecededir
İş yükü 2 değişkenli olduğu için hesaplanamaz	İş yükü watt cinsinden hesaplanır
Hasta için düşme v.b. riskleri vardır	Güvenlidir



ŞEKİL 2: Kronik dispne ile izlenebilecek tanı algoritması.

## ÇEŞİTLİ DURUMLARDA KPET'DE GÖRÜLEBİLEN DEĞİŞİKLİKLER

### PERİFERİK ARTER HASTALIKLARI

Pik  $VO_2$  düşüktür,  $VO_2/WR$  egzersizin erken dönemlerinde bile düşüktür. Anaerobik eşikte oksijen tüketimi beklenen pik oksijen tüketiminin %40'ından düşüktür. Hastalar genellikle testi bacak ağrısı-güçsüzlüğü nedeni ile sonlandırır.

### PULMONER VASKÜLER HASTALIK

Pulmoner hipertansiyon, pulmoner vaskülit ve kronik tromboembolik hastalık gibi durumlarda egzersiz önemli derecede kısıtlanır. Bu hastalarda istirahat ve egzersizde pulmoner vasküler direncin artması sonucunda kardiyak output yetersizdir. Egzersiz sırasında dispne tarifleyen hastanın KPET sonuçlarına bakıldığında;  $PikVO_2$  düşük,  $O_2$  pulse düşük, doku hipoksisine ikincil hücre asidozuna bağlı erken anaerobik eşik, ventilatuvar ihtiyaçta artma,  $VE/VCO_2$  yüksekliği ve  $PETCO_2$  düşüklüğü görülür.<sup>10,11</sup>

### KALP YETMEZLİĞİ VE KORONER ARTER HASTALIĞI

Kalp yetmezliğinde, kardiyak outputun azalması ile  $V/Q$  bozukluğu sonucu ölü boşluk ventilasyonu artar, asidoz meyil artar, doku hipoksisi belirginleşir, hücre içi laktat

TABLO 2: KPET'te tanısal yaklaşım.

Soru	Patoloji	İlgili Parametreler	İlgili grafikler
Egzersiz kapasitesi ( $PikVO_2$ ) azalmış mı?	Egzersiz kapasitesini azaltan tüm durumlar	$PikVO_2$	Panel 3
İstirahat ve egzersizde $PikVO_2$ artmış mı?	Obezite	$PikVO_2$ , $VO_2/WR$	Panel 3
Yetersiz egzersiz kapasitesi düşük $O_2$ sunumuna mı bağlı?	Kalp hastalıkları, periferik/pulmoner vasküler hastalık, anemi, hipoksemi	AT ulaşımı, $VO_2/WR$ , $VO_2/HR$ , $VE/VCO_2$	Panel 2,3,5,6
Yetersiz egzersiz kapasitesi ventilasyon kısıtlanmasına mı bağlı?	Akciğer, göğüs duvarı	Solumun rezervi, ventilatuvar cevap	Panel 1,7,9
$V/Q$ anormalliği var mı?	Pulmoner vasküler hastalık, kalp yetmezliği, akciğer yetmezliği	$VD/VT$ , AT- $VE/VCO_2$ , $PETCO_2$	Panel 4,6,9
Kas oksijen kullanımında defekt var mı?	Kasta glikolitik/mitokondriyal enzim defekti	AT ulaşımı, $VCO_2/VO_2$ , $VO_2/HR$	Panel 3,5,8
Psikolojik sorun	Psikojenik dispne, histeri	Ventilatuvar cevap	Panel 7,8,9
Kötü efor	Kötü efor	Solumun rezervi N, $Pik R$ $\leq 1.0$ , normal AT ulaşımı	Panel 2,5,7,8

$VO_2/WR$ : Oksijen tüketiminin uygulanan iş yüküne oranı; AT: Anaerobik eşik;  $VO_2/HR$ : Oksijen tüketiminin kalp hızına oranı;  $VE/VCO_2$ : Dakika ventilasyonu başına atılan karbondioksit hacmi;  $PETCO_2$ : Tidal soluk hacmi sonunda ekspiriyum havasındaki karbondioksit hacmi;  $Pik R$ : Maksimum egzersiz sırasındaki  $VCO_2/VO_2$ ;  $VD/VT$ : Ölü boşluk ventilasyon hacminin total ventilasyon hacmine oranı;  $O_2$  sunumuna: Kalp atımı başına düşen oksijen tüketimi ( $VO_2/HR$ ).

**TABLO 3:** Kardiyak ve solunumsal patolojilerde KPET parametrelerinde görülen temel değişiklikler.

	Kardiyovasküler	Pulmoner
PikVO <sub>2</sub>	Düşük	Düşük
VO <sub>2</sub> /WR	Sıklıkla düşük	Normal
Pik HR	Düşük	Düşük
Pik VO <sub>2</sub> /HR	Sıklıkla düşük	Düşebilir
BR	>%20	<%15
Egzersiz sonu FEV1	Değişmez	Düşebilir
SpO <sub>2</sub>	Psikojenik dispne, histeri	Ventilatuvur cevap
VD/ VT, VE/CO <sub>2</sub>	Artabilir	Sıklıkla artar

Pik HR: Egzersiz sırasında ulaşılan maksimum kalp hızı; PikVO<sub>2</sub>: Egzersiz sırasında ulaşılan oksijen tüketimi; VO<sub>2</sub>/WR: Oksijen tüketiminin uygulanan iş yüküne oranı; Pik VO<sub>2</sub>/HR: Maksimum egzersiz anında Oksijen tüketiminin kalp hızına oranı; VE/CO<sub>2</sub>: Dakika ventilasyonu başına atılan karbondioksit hacmi; BR: Solunum rezervi. MVV değerinden maksimum volanter dakika ventilasyon hacminin(MVV) çıkarılması ile elde edilir.; VD/VT: Ölü boşluk ventilasyon hacminintotal ventilasyon hacmine oranı; O<sub>2</sub> sunumuna: Kalp atımı başına düşen oksijen tüketimi (VO<sub>2</sub>/HR).

artışına bağlı olarak solunumsal ihtiyaç artar, kalp erken hızlanır ve dispne hissi ortaya çıkar. Kardiyak output azalması ile dokulara taşınan oksijen miktarı azalır, hücre içi asidozun derinleşmesine katkıda bulunur. Hasta, hücre içi asidoza bağlı olarak anaerobik eşiğe erken ulaşır, La<sup>+</sup> ve CO<sub>2</sub> ürünlerine bağlı olarak kaslarda güçsüzlük ve kasılma yeteneğinde azalma ortaya çıkar. Dispne ve kas gücünde azalmanın sonucu ise egzersizde kısıtlanmadır.

Kalp yetmezliğinde Pik VO<sub>2</sub> düşük, O<sub>2</sub> pulse düşük, kalp cevabı beklenene göre hızlı, solunum rezervi normal (11'in üzerinde) ve VE/VCO<sub>2</sub> yüksektir. VE/VCO<sub>2</sub>, kalp yetmezliğinde artan önemli bir parametredir.<sup>11</sup> Hastalarda gelişen V/Q defektini gösterir ve VE/VCO<sub>2</sub> >44 ise kalp yetmezliği için önemli bir mortalite göstergesidir. PikVO<sub>2</sub> <%44 (beklenenin) olan hastalarda mortalitenin PikVO<sub>2</sub> >%44 (beklenenin) olan hastalara göre daha yüksek olduğu gösterilmiştir.

Kalp yetmezliğinde, AT/VO<sub>2</sub> <8 mL/dk/kg ya da PikVO<sub>2</sub> <10 mL/dk/kg olan olgularda mortalite daha yüksektir. AT/VO<sub>2</sub> <10 mL/dk/kg ve Pik VO<sub>2</sub> <14 mL/dk/kg olan olgularda prognoz daha kötü olduğu bildirilmektedir. Pik VO<sub>2</sub> değerine göre kalp yetmezliğinin sınıflandırması Tablo 4'te görülmektedir.<sup>12</sup>

Koroner arter hastalıklarında, egzersizde myokardın oksijen ihtiyacının karşılanamaması sonucu kalp hızında erken artış, dokulara oksijen sunumunda azalma ve artan iş yüküne karşılık oksijen tüketiminde (VO<sub>2</sub>/WR) artış olmayışı gözlenir. Egzersiz sırasında EKG'de ST değişikliği görülebilir. Pik oksijen tüketiminin maksimum egzersize yakın evrelerde yeterli ar-

**TABLO 4:** Pik VO<sub>2</sub>'ye göre kalp yetmezliği (KY)'nin sınıflandırması.

Kalp Yetmezliği sınıfı	Yetmezlik derecesi	PikVO <sub>2</sub> (mL/kg/dk)
A	Normal-hafif	>20
B	Hafif-orta	16-20
C	Orta- ağır	10-16
D	Ağır	<10

PikVO<sub>2</sub>: Egzersiz sırasında ulaşılan oksijen tüketimi.

**TABLO 5:** PikVO<sub>2</sub>'ye göre kalp transplantasyonuna aday olgu değerlendirmesi.<sup>14</sup>

Endikasyon derecesi	PikVO <sub>2</sub> mL/kg/dk
Yeterli endikasyon	<10
Olası endikasyon	<14
Yetersiz endikasyon	>15

PikVO<sub>2</sub>: Egzersiz sırasında ulaşılan oksijen tüketimi.

tamaması sonucu kalbin hızlanması öne geçer ve bu dönemde HR/VO<sub>2</sub> ilişkisi bozulur, daha dikleşir, O<sub>2</sub> pulse ise yassılaşır yada hafifçe düşerek plato çizebilir. Egzersiz sonlandırıldığında ise O<sub>2</sub> pulse belirgin olarak düzelir. Kalp yetmezliği ve koroner arter hastalığı olan olgularda solunum rezervi genellikle normaldir.<sup>13</sup>

Kalp transplantasyonuna aday olguların değerlendirilmesinde KPET ile saptanan PikVO<sub>2</sub> değeri aday seçiminde önemlidir. PikVO<sub>2</sub> <10 mL/kg/dk olan hastalara transplantasyona aday listesinde öncelik verilmelidir (Tablo 5).

Kalp yetmezliği olgularında ACE inhibitörleri, vazodilatörler ve AT1 antagonistlerinin egzersiz süresi ve  $\text{Pik VO}_2$ 'yi kardiyak outputu artırmak yolu ile arttırdığı gösterilmiştir. Bu nedenle KPET akciğer hastalıklarında olduğu gibi, kalp yetmezliğinde de tedavi yanıtını değerlendirmek amacı ile kullanılabilir.

## KOAH

KOAH'ta V/Q bozukluğuna ikincil olarak ölü boşluk ventilasyonu artar,  $\text{PaO}_2$  ve pH düşer, hücre içi asidoz oluşur, solunum uyarılır, solunum ihtiyacı artar ve dispne ile beraber egzersiz kısıtlanması ortaya çıkar. Solunum işinin artması, havayolu obstrüksiyonun da artmasına neden olarak egzersizde kısıtlanma meydana getirir. KOAH'ta egzersizin kısıtlanmasına neden olan diğer bir mekanizma ise end ekspiratuvar akciğer hacminin artması sonucunda inspiratuvar kapasitenin azalmasıdır (dinamik hiperinflasyon). Bütün bu olumsuzlukların sonucunda KPET'te ekspiratuvar akım hızlarında düşme ve  $\text{PikVO}_2$ , solunum rezervi azalır, VD/VT,  $\text{PETCO}_2$  ve  $\text{P(A-a)O}_2$  artar.  $\text{Pik VO}_2$  düzeyi, KOAH'lı hastaların yaşam kaliteleri ve emosyonel durumları ile ilişkili bulunmuştur.<sup>15</sup>

## İNERSTİSYEL AKCİĞER HASTALIKLARI

İnterstisyel akciğer hastalıklarında (İAH) akciğer parenkiminde oluşan harabiyet sonucunda elastik recoil azalır, solunum işi artar ve solunumsal yetersizlik ve egzersiz kısıtlanması ortaya çıkar. Pulmoner kapiller hasarlanmaya bağlı olarak akciğerlerde damar yatağında direnç artar ve sol ventrikül dolumu azalır. Böylece kardiyak işlev de azalır, sonuç; egzersiz kapasitesinin azalmasıdır.

İAH'da hem ölü boşluğun artması hem de havayollarındaki kemo ve mekanoreseptörlerin inflamasyona ikincil olarak uyarılması sonucu tidal volümü artırmaya yönelik olarak solunum sayısı (>50/dk) ve dakika ventilasyonu artar. Dakika ventilasyonunun artması sonucunda solunum rezervi azalır. Tüm bu değişiklikler KPET sonuçlarına  $\text{PikVO}_2$ 'de azalma, VD/VT'de artma,  $\text{VO}_2/\text{WR}$ 'de azalma,  $\text{P(a-ET)CO}_2$ 'de ve  $\text{P(A-a)O}_2$ 'de artma olarak yansır. KPET'in erken dönem KOAH ve İAH'nı ayırt etmek için yeterli olmadığı bilinmektedir, ancak sarkoidozda spirometrik ölçümlerin normal olduğu erken dönemde dahi KPET ile solunumsal kısıtlanmanın gösterilebileceği yönünde çalışmalar vardır.<sup>16</sup>

## KONDÜSYONSUZLUK

Kondüsyon eksikliği, sedanter yaşam şekli olan olgularda egzersizde kısıtlanmaya neden olabilir. Bu olgularda KPET'te  $\text{PikVO}_2$  normal ya da hafif düşük,  $\text{O}_2$  pulse hafif düzleşmiş, hasta testi tamamlamışsa  $\text{Pik}$  kalp hızı normaldir. Solunum rezervi normal,  $\text{PaO}_2$ , VD/VT cevabı normaldir, test sırasında desaturasyon gözlenmez.

## KÖTÜ EFOR

Hastanın tamamlayabileceği ancak tamamlamadığı testi ifade etmektedir. Bu hastaların testinde  $\text{PikVO}_2$  düşük, kalp hızı yeterince artmadığından kalp rezervi (HRR) yüksek, solunum rezervi normal,  $\text{PaO}_2$ , VD/VT normaldir, hasta yeterince yorulmadan testi sonlandırdığı için anaerobik eşik genellikle saptanamaz.<sup>1,2</sup>

## MALULİYET DEĞERLENDİRMESİ

Fonksiyonel yetmezlikler istirahat solunum fonksiyon testlerinde saptanamayabilir. Bu nedenle uluslar arası uzlaşmalar, solunum sistemi kaynaklı maluliyet değerlendirmesinde KPET ile elde edilebilecek  $\text{Pik VO}_2$  değerinin kullanılmasını önermektedir.  $\text{Pik VO}_2$  değeri 15 mL/dk/kg'ın altında olan hastalarda çok ağır yetmezlikten söz edilir.<sup>9</sup>

## PREOPERATİF DEĞERLENDİRMEDE KPET

KPET ile ölçülen  $\text{PikVO}_2$  değeri kullanılarak akciğer rezeksiyonu öncesi değerlendirme yapılır.  $\text{PikVO}_2$  değeri egzersiz kapasitesini en doğru şekilde yansıtmaktadır ve rezeksiyon cerrahisine bağlı peroperatif morbidite ve mortaliteyi belirlemek için önemli bir parametredir.  $\text{PikVO}_2$  değeri 15 mL/kg/dk'nın üzerinde olan hastalar için istirahat solunum fonksiyon testi sonuçları normalden düşük olsa dahi komplikasyon riski yoktur. Buna karşılık,  $\text{PikVO}_2$  değeri 10 mL/kg/dk'nın altında olan hastalarda peroperatif komplikasyon riski yüksektir.<sup>17</sup>

Kalp transplantasyonu planlanan hastalarda, anaerobik eşikte  $\text{Pik VO}_2$  değerinin düştüğü ve  $\text{VEVCO}_2$  değerinin arttığı, KPET'in bu hastalarda postoperatif komplikasyonları saptamada belirleyici olmadığı gösterilmiştir.<sup>15,18</sup>

Genel anestezi altında yapılan çeşitli cerrahiler öncesinde yapılan KPET'inde saptanan ölçümlerin postoperatif kardiyopulmoner mortalite riskini belirleyebileceği çalışmalar ile gösterilmiştir.<sup>19-22</sup>

## KAYNAKLAR

1. ERS Task Force, Palange P, Ward SA, Carlsen KH, Casaburi R, Gallagher CG, Gosselink R, et al. Recommendations on the use of exercise testing in clinical practice. *Eur Respir J* 2007;29(1):185-209.
2. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Stringer W, Whipp BJ. *Principles of Exercise Testing and Interpretation*. 4th ed. Philadelphia: Lea Febiger; 2004. p.568.
3. Roca J, Whipp BJ. *Clinical Exercise Testing*. 1st ed. Amsterdam: European Respiratory Society 1997. p.230.
4. American Thoracic Society; American College of Chest Physicians. *ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing*. *Am J Respir Crit Care Med* 2003;167(2):211-77.
5. Balady GJ, Arena R, Sietsema K, Myers J, Coke L, Fletcher GF, et al. American Heart Association Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention Committee of the Council on Clinical Cardiology; Council on Epidemiology and Prevention; Council on Peripheral Vascular Disease; Interdisciplinary Council on Quality of Care and Outcomes Research. American Heart Association Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention Committee of the Council on Clinical Cardiology; Council on Epidemiology and Prevention; Council on Peripheral Vascular Disease; Interdisciplinary Council on Quality of Care and Outcomes Research. *Circulation* 2010;122(2):191-225.
6. Sue DY, Hansen JE. Normal values in adults during exercise testing. *Clin Chest Med* 1984;5(1):89-98.
7. Ulubay G. Kronik dispneye yaklaşım. *Akciğer Hastalıkları Dergisi* 2007;2(1):3-7.
8. Weisman IM, Zeballos RJ. Cardiovascular and respiratory system responses and limitations to exercise. In: Rodman JR, Haverkamp HC, Gordon SM, Dempsey JA, eds. *Clinical Exercise Testing*. 1st ed. Basel: Karger AG; 2002. p.1-17.
9. American Medical Association. *The pulmonary system. Guides to the Evaluation of Permanent Impairment*. 6th ed. Chicago, Ill: American Medical Association; 2007. p.112.
10. Arena R, Lavie CJ, Milani RV, Myers J, Guazzi M. Cardiopulmonary exercise testing in patients with pulmonary arterial hypertension: an evidence-based review. *J Heart Lung Transplant* 2010;29(2):159-73.
11. Hansen JE, Ulubay G, Chow BF, Sun XG, Wasserman K. Mixed-expired and end-tidal CO2 distinguish between ventilation and perfusion defects during exercise testing in patients with lung and heart diseases. *Chest* 2007;132(3):977-83.
12. Weber KT, Janicki JS. Cardiopulmonary exercise testing for evaluation of chronic cardiac failure. *Am J Cardiol* 1985;55(2):22A-31A.
13. Chaudhry S, Arena R, Wasserman K, Hansen JE, Lewis GD, Myers J, et al. Exercise-induced myocardial ischemia detected by cardiopulmonary exercise testing. *Am J Cardiol* 2009;103(5):615-9.
14. Stevenson LW. Changing assessment of exercise capacity in potential candidates for cardiac transplantation. In: Wasserman K, ed. *Cardiopulmonary Exercise Testing and Cardiovascular Health*. 1st ed. New York: Futura Publishing Company; 2002. p.197-209.
15. Ulubay G, Sarıncı Ulaşlı S, Akinci B, Görek A, Akçay S. [Assessment of relation among emotional status, pulmonary function test, exercise performance, and quality of life in patients with COPD]. *Tuberk Toraks* 2009;57(2):169-76.
16. Han MK, Martinez FJ. Exercise testing in interstitial lung disease and management. *ERS Monograph* 2009;46(1):7-23.
17. Ulubay G, Ulaşlı S, Küpeli E, Yılmaz E, Sezgin A, Haberal M. Value of exercise testing to estimate post-operative complications and mortality in solid organ recipients: a preliminary study. *Ann Transplant* 2010;15(2):11-20.
18. Colice GL, Shafazand S, Griffin JP, Keenan R, Bolliger CT; American College of Chest Physicians. Physiologic evaluation of the patient with lung cancer being considered for resectional surgery: ACCP evidenced-based clinical practice guidelines (2nd edition). *Chest* 2007;132(3 Suppl):161S-77S.
19. Savas Bozbas S, Ulubay G, Sarıncı Ulaşlı S, Bozbas H, Sezgin A. Risk factors for post operative pulmonary complications and mortality in cardiac transplantation patients. *Ann Transplant* 2009;14(4):33-9.
20. Older P, Hall A, Hader R. Cardiopulmonary exercise testing as a screening test for perioperative management of major surgery in the elderly. *Chest* 1999;116(2):355-62.
21. Hall A, Older P. Cardiopulmonary exercise testing accurately predicts risk of major surgery including esophageal resection: letter 1. *Ann Thorac Surg* 2009;87(2):670-1.
22. Hennis PJ, Meale PM, Hurst RA, O'Doherty AF, Otto J, Kuper M, et al. Cardiopulmonary exercise testing predicts postoperative outcome in patients undergoing gastric bypass surgery. *Br J Anaesth* 2012 Jul 18 doi 10.1093/bja/aes225.