

Astrand-Rhyming nomogramının ve Fox eşitliğinin değerlendirilmesi: Anaerobik eşikle ilişkiler

Hakkı Gökbel¹, Nilsel Okudan¹, İbrahim Gül², Kağan Üçok³

¹Selçuk Üniversitesi Meram Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı, Konya

²Numune Hastanesi, Konya

³Afyon Kocatepe Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı, Afyon

Amaç: Astrand-Rhyming nomogramı ve Fox eşitliğinin geçerliliğini değerlendirmek ve bu yöntemlerin anaerobik eşik tahmini için kullanılıp kullanılmayacağını belirlemek. **Yöntem:** 15 sedanter, 7 antrenmanlı genç erkeğe bisiklet ergometresinde maksimal egzersiz testi uygulandı. Başlangıç yükü 60-100 W idi ve yük, tükenmeye kadar dakikada bir 10 W artırıldı. VO_{2max} , üç farklı ventilatuvar eşik ve kan birikiminin başlangıç noktası hesaplandı. VO_{2max} , 6 dakika süreyle uygulanan önceden belirlenmiş bir yükten ve testin sonundaki kalp hızından (Astrand-Rhyming nomogramı) ve 150 W yükteki bir bisiklet egzersizinin 5. dakikasında kaydedilen yükten (Fox eşitliği) tahmin edildi. **Bulgular:** Sedanterlerde doğrudan ölçülen VO_{2max} , Astrand-Rhyming nomogramı ile ve Fox eşitliğiyle tahmin edilen VO_{2max} ile ilişkiliydi. Anaerobik eşikler Fox eşitliğiyle tahmin edilen VO_{2max} 'la doğrudan ölçülen VO_{2max} 'a göre genellikle daha fazla ilişkiliydi. **Sonuç:** Ölçülen VO_{2max} , Astrand-Rhyming nomogramıyla ve Fox eşitliğiyle tahmin edilen VO_{2max} ile ilişkili olmadığı için VO_{2max} 'ın sporcularda indirekt yolla ölçülmemesi gerektiği sonucuna varıldı. Anaerobik eşik parametreleri ile daha fazla ilişkili olduğundan, anaerobik eşik tahmininde Fox eşitliğini kullanmanın daha uygun olacağını düşünüyoruz.

Anahtar kelimeler: Maksimal aerobik güç, anaerobik eşik, ventilatuvar eşik, egzersiz

The evaluation of Astrand-Rhyming nomogram and Fox equation: Relations with anaerobic threshold

Objective: The aim was to evaluate the validity of Astrand-Rhyming nomogram and Fox equation and to determine if these methods could be used for the estimation of anaerobic threshold. **Methods:** A maximal cycle exercise test was applied to 15 sedentary, 7 trained young males. Initial load was 60-100 W and increased 10 W per minute until exhaustion. VO_{2max} , three different ventilatory thresholds and the onset of blood lactate accumulation were calculated. VO_{2max} was estimated from a pre-determined load applied for 6 minutes and heart rate at the end of the test (Astrand-Rhyming nomogram) and from the heart rate recorded during 5th minute of cycle exercise at 150 W (Fox equation). **Results:** In the sedentaries, VO_{2max} measured directly was significantly correlated with VO_{2max} estimated by Astrand-Rhyming nomogram and by Fox equation. Anaerobic thresholds were generally more correlated with VO_{2max} estimated by Fox equation than with VO_{2max} measured directly. **Conclusion:** As measured VO_{2max} is not correlated with VO_{2max} estimated by Astrand-Rhyming nomogram and by Fox equation, it is concluded that VO_{2max} should not be measured indirectly in the athletes. Since more correlated with anaerobic threshold parameters, we think that using Fox equation might be more appropriate in the prediction of anaerobic threshold.

Key words: Maximal aerobic power, anaerobic threshold, ventilatory threshold, exercise

Genel Tıp Derg 2005;15(2):59-63

Yazışma adresi: Prof.Dr.Hakkı Gökbel, Selçuk Üniversitesi Meram Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı, 42080, Meram, Konya.

E-posta: hakkig@selcuk.edu.tr

Maksimal aerobik gücün (VO_{2max}) direkt ölçümü için gelişmiş laboratuvar cihazları ve yetişmiş eleman, ayrıca ölçümü yapılan kişinin önemli derecede motivasyonu gereklidir. Bu nedenle, VO_{2max} 'ın

indirekt olarak koşu gibi aktiviteler sırasında gösterilen performanstan veya bisiklet ergometresinde uygulanan bir seri submaksimal iş yükü ile, karşılık gelen kalp hızları arasındaki lineer ilişkiden tahmin edilmesini sağlayan testler geliştirilmiştir. Bu testlerin yapılması kolaydır, büyük gruplarda ve laboratuvar koşulları dışında çalışılabilir (1), genellikle submaksimal yükler kullanılır (2), tek veya birden fazla aşamalı olabilirler (3).

Astrand-Rhyning nomogramı: Efor yoğunluğu ile kalp hızı veya oksijen kullanımı arasındaki lineer ilişkiden yararlanarak VO_{2max} 'ı submaksimal verilerden tahmin etmek için geliştirilen bir yöntemdir (4). Sağlıklı yetişkinlerde en sık kullanılan indirekt VO_{2max} ölçüm protokollerinden biridir (5). Bisiklet ergometresi, koşu bandı, hatta step kullanılarak uygulanabilir.

Fox denklemi: Tek aşamalı, 5 dakika süreli bir test protokolüdür (6). Bisiklet ergometresinde 150 wattlık bir egzersiz yükünün 5. dakikasında kaydedilen kalp hızı ile, direkt olarak ölçülen VO_{2max} arasındaki lineer ilişkiyi esas almaktadır. Denklem şu şekildedir:

$$Y=6300-19.26 \cdot X$$

$$(Y = VO_{2max} \text{ (ml.dk}^{-1}\text{)}, X=5. \text{ dakikadaki kalp hızı})$$

Denklemin kullanımını kolaylaştırmak amacıyla dakikada 100-200 arasındaki kalp hızları için tablo oluşturulmuştur (7).

Egzersiz şiddeti arttıkça kasların enerji ihtiyacı da artmakta ve bir noktada aerobik metabolizma enerji temininde yetersiz kaldığı için anaerobik mekanizmalar önem kazanmaktadır. Bu egzersiz şiddetine anaerobik eşik adı verilir. Anaerobik eşik, hücre metabolizması ile ilişkili kardiyo-respiratuvar bozuklukların tanısına yardım eder (8).

Antrenmanlarla anaerobik eşikte oluşan artış VO_{2max} artışından fazladır ve anaerobik eşik, aerobik egzersiz performansı ile VO_{2max} 'a göre daha iyi korelasyon gösterir. Anaerobik eşik, kişinin dayanıklılık performansını ortaya koyan önemli göstergelerden birisidir (9).

Anaerobik eşik, çoğunlukla kan laktat değerleri veya solunum gaz değişim parametreleri (ventilatuvar eşik) kullanılarak hesaplanmakta, yeni tayin yöntemleri geliştirilmeye çalışılmaktadır (10). D_{max} bunlardan birisidir (11), bu yöntemde egzersiz

sırasında VO_2 'ye karşı kan laktat konsantrasyonları veya VCO_2 , RQ gibi değişkenlerden biri grafiğe alınmakta ve bir eğri elde edilmektedir. Daha sonra bu eğrinin iki ucu bir doğru ile birleştirilmekte ve eğrinin, doğrudan en uzak noktasına D_{max} adı verilmektedir. Bilgisayar yardımıyla regresyon analizleri sonucu bulunan D_{max} , laktat eşığının ve ventilatuvar eşığın belirlenmesinde kullanılabilir. Bu yöntemin, subjektif görsel eşik tespitini ortadan kaldırdığı ve fizyolojik değişkenlerin düzensiz cevabından dolayı kişilerin yaklaşık % 30'unda lineer regresyonla belirlenemeyen eşik seviyesinin bu yolla bulunabilirdiği bildirilmiştir.

Bazı araştırmacılar (12,13) kan laktat birikmesinin başlangıç noktasını (KLBB) 4 mM/L kan laktat konsantrasyonu ile birlikte olan VO_2 ve/veya iş yükü olarak kabul etmişlerdir. 4 mM/L'lik kan laktat konsantrasyonu, sürekli egzersiz sırasında laktat üretimiyle eliminasyonu arasındaki maksimal dengeyi yansıttığına inanıldığı için seçilmiştir (12).

Bu çalışmada, aerobik gücün indirekt yolla tayininde kullanılan Fox denkleminin ve Astrand-Rhyning nomogramının geçerliliklerinin araştırılması ve bu iki yöntemin anaerobik eşik tahmininde kullanılıp kullanılmayacağına saptanması amaçlandı.

Yöntemler

Çalışma, 18-24 yaşlarındaki, 15 sedanter, 7 antrenmanlı erkek üzerinde yapıldı. Çalışma öncesi uyulması gereken kurallar ve testler hakkında ayrıntılı bilgi verilip olur alındı. Katılımcıların vücut ağırlıkları ve boyları ölçüldü, beden kitle indeksleri hesaplandı.

Ortalama (\pm SS) boy, vücut ağırlığı ve beden kitle indeksi değerleri, sedanterler ve sporcular için sırasıyla 177.2 ± 6.4 ve 176.4 ± 2.9 cm, 75.1 ± 6.9 ve 67.6 ± 4.2 kg ve 23.9 ± 1.6 ve 21.7 ± 1.1 idi.

Maksimal aerobik güç testi: SensorMedics Ergoline 900 model elektronik kontrollü bisiklet ergometresinde yapılan test sırasında Polar Sport Tester PE3000 aracılığıyla 5 saniyede bir kalp hızı kaydedildi. Test sırasında katılımcılara tek yönlü bir maskeden nefes aldırıldı ve SensorMedics 2900 Metabolik Ölçüm Kartı kullanılarak 20 saniyede bir 'mixing chamber' yöntemiyle solunum gaz

Tablo 1. Sedanterlere ve sporculara ait maksimal veriler (Ortalama \pm SS)

	Sedanterler	Sporcular
n	15	7
VO _{2max} (ml.dak ⁻¹)	2885 \pm 461 ^a	3017 \pm 155 ^a
AVO _{2max} (ml.dak ⁻¹)	3228 \pm 607 ^b	3491 \pm 692
FVO _{2max} (ml.dak ⁻¹)	3207 \pm 310 ^b	3451 \pm 353 ^b
KLBB (ml.dak ⁻¹)	1800 \pm 396	2052 \pm 268
VE _{Lin} (ml.dak ⁻¹)	1748 \pm 351	1782 \pm 172 ^a
VE _{VE} (ml.dak ⁻¹)	1928 \pm 350	2026 \pm 206 ^b
VE _{VCO2} (ml.dak ⁻¹)	1834 \pm 415	1794 \pm 200

Her kategoride farklı harflerle gösterilen değerler birbirinden farklıdır.

VA: Vücut ağırlığı

AVO_{2max}: Astrand-Rhyning nomogramı ile bulunan VO_{2max}

FVO_{2max}: Fox testinde bulunan VO_{2max}

KLBB: Kan Laktat Birikmesinin Başlangıcı

VE_{Lin}: Lineer Ventilatuvar Eşik

VE_{VE}: D_{max} yöntemiyle ventilasyon verileri kullanılarak belirlenen ventilatuvar eşik

VE_{VCO2}: D_{max} yöntemiyle CO₂ verileri kullanılarak belirlenen ventilatuvar eşik

parametreleri ölçüldü. Her testten önce gaz analizörleri kalibre edildi. İstirahatte ve egzersiz testi sırasında iki dakikada bir el parmak ucundan kapiller kan örnekleri alınarak Accusport Laktat Analizörü aracılığıyla laktat analizi yapıldı.

İstirahatte kalp hızı kaydedildikten ve kan alındıktan sonra 40 watt yükte 3 dakika ısınma egzersizi uygulandı. Ardından ilk dakikanın sonunda kalp hızı dakikada 120-130 olacak şekilde başlangıç yükü 60-100 watt arasında seçildi. Birer dakikalık aralarla yük 10³ar watt artırıldı. Kişi pedal çeviremeyecek duruma geldiğinde veya kalp hızı maksimale (220-yaş \pm 10/dak) ulaştığında test sonlandırıldı. Egzersiz sırasında kişinin ulaşabildiği en yüksek VO₂ değeri, VO_{2max} olarak kabul edildi.

Lineer yöntemle ventilatuvar eşik bulunması: İspirasyon sonu CO₂ basıncında (PETCO₂) azalma olmaksızın inspirasyon sonu O₂ basıncında (PETO₂) sistematik artışın başladığı noktadaki VO₂ değeri veya CO₂ için ventilatuvar eşitlikte (VECO₂) artış

olmaksızın O₂ için ventilatuvar eşitlikte (VEO₂) sistematik artışın başladığı noktadaki VO₂ değeri kullanılarak lineer yöntemle ventilatuvar eşik (VE_{Lin}) bulundu.

VEO₂-VECO₂ ve PETO₂-PETCO₂ eğrileri bilgisayar tarafından hazırlandı. VEO₂ ve PETO₂ eğrilerindeki kırılma noktaları ise otomatik olarak veya gözle belirlendi.

D_{max} yöntemiyle ventilatuvar eşik bulunması: D_{max} yöntemi için esasları literatürden alınarak hazırlanan Fortran dilinde, iki parçalı regresyon doğrusu verebilen bir program kullanıldı. Bu yöntemle egzersiz sırasında harcanan O₂'ye karşı ventilasyon ve VCO₂ verileri kullanılarak iki ayrı ventilatuvar eşik (VE_{VE}, VE_{VCO2}) hesaplandı.

Kan laktat birikmesinin başlangıcının bulunması: Egzersiz sırasında elde edilen laktat konsantrasyonları ile VO₂ değerleri grafiğe yerleştirilerek laktatın 4 mM/L olduğu noktadaki VO₂ değeri belirlendi.

Astrand-Rhyning nomogramı: Bisiklet ergometresinde saptanan rehber yoğunluk 6 dakika süreyle uygulandı. Test sonunda elde edilen kalp hızı ve uygulanan yük, Astrand-Rhyning nomogramında birleştirilerek tahmini VO_{2max} hesaplandı.

Fox denklemi: Bisiklet ergometresinde 150 watta egzersiz yaptırıldı ve egzersizin 5. dakikasında kaydedilen kalp hızı Tablo'da (7) yerine konarak tahmini VO_{2max} hesaplandı.

İstatistik analizler: Ortalamalar (\pm SS) ve Pearson korelasyon analiziyle değerler arasındaki ilişkiler hesaplandı. Ortalamalar arasındaki farkların hesaplanması Student'in eşleştirilmiş t testi (Bonferoni düzeltmesiyle) ile yapıldı. P<0.05 düzeyindeki değerler anlamlı olarak kabul edildi.

Bulgular

Fox denklemiyle tahmin edilen VO_{2max} hem sedanterlerde (P=0.001) hem de sporcularda (P=0.041), Astrand-Rhyning nomogramıyla tahmin edilen VO_{2max} sadece sedanterlerde (P=0.007) direkt yolla ölçülen VO_{2max}'dan anlamlı şekilde yüksekti (Tablo 1).

Tablo 2. Sedanterlerde (sağ-üste yasl, koyu değerler) ve sporcularda (sol alta yasl değerler) VO_{2max} ve anaerobik eşik değerleri arasındaki ilişkiler

	VO_{2max}	AVO_{2max}	FVO_{2max}	KLBB	VE_{Lin}	VE_{VE}	VE_{VCO_2}
VO_{2max}		0.723**	0.787***	0.607*	0.789**	0.764**	0.878***
AVO_{2max}	-0.216		0.819***	0.487	0.730**	0.663**	0.643*
FVO_{2max}	-0.431	0.833*		0.776***	0.874***	0.601*	0.794***
KLBB	0.377	-0.559	-0.209		0.818***	0.441	0.585*
VE_{Lin}	0.084	-0.300	-0.275	0.491		0.721**	0.882***
VE_{VE}	0.703	0.154	-0.165	-0.159	-0.267		0.803**
VE_{VCO_2}	0.316	-0.257	-0.595	-0.289	0.004	0.684	

* : $P < 0.05$, ** : $P < 0.01$, *** : $P < 0.001$

AVO_{2max} : Astrand-Rhyning nomogramı ile bulunan VO_{2max}

FVO_{2max} : Fox testinde bulunan VO_{2max}

KLBB: Kan Laktat Birikmesinin Başlangıcı

VE_{Lin} : Lineer Ventilatuvar Eşik

VE_{VE} : D_{max} yöntemiyle ventilasyon verileri kullanılarak belirlenen ventilatuvar eşik

VE_{CO_2} : D_{max} yöntemiyle CO_2 verileri kullanılarak belirlenen ventilatuvar eşik

Sporcularda VE_{VE} değerinin VE_{Lin} değerinden anlamlı şekilde yüksek olduğu bulundu (Tablo 1).

Sedanterlerde direkt yolla ölçülen VO_{2max} , Fox denklemiyle tahmin edilen VO_{2max} ve Astrand-Rhyning nomogramıyla tahmin edilen VO_{2max} arasında ileri derecede ilişki bulunduğu Tablo 2’de görölmektedir. Anaerobik eşiklerin Fox denklemiyle tahmin edilen VO_{2max} ’la ilişkileri, direkt yolla ölçülen VO_{2max} ’la ilişkilerinden genellikle biraz daha fazla idi (Tablo 2). Sporcularda ise (kısmen sayının az olmasının da etkisiyle) sadece Fox denklemiyle ve Astrand-Rhyning nomogramıyla tahmin edilen VO_{2max} değerleri arasında ilişki bulundu.

Tartışma

VO_{2max} ’ın indirekt olarak ölçüldüğü çalışmalarda standart hata % 10-15 arasında olmasına rağmen (14), kişilerin VO_{2max} değerlerinde görölen ölçüm hataları birbirini götürür; bu yüzden ortalama değer geniş bir grubun maksimal aerobik gücü için uygun bir tahminde bulunma imkanı verir (15,16).

Astrand-Rhyning nomogramının sağlıklı kişilerde ve bel ağrısı olanlarda güvenilir olduğu gösterilmiştir (17). Standart hatası iyi antrenmanlı kişilerde % 10.4 (4), orta derecede antrenmanlı kişilerde % 15 bulunmuştur (18). Astrand-Rhyning nomogramıyla tahmin edilen VO_{2max} değeri ile ölçülen VO_{2max} arasındaki ilişkiyi Buono ve arkadaşları (19)

çocuklarda 0.49, Burke (20) 0.62, Zwiren ve ark (21) 0.66 düzeyinde bulmuşlardır. Çalışmamızda ise Astrand-Rhyning nomogramıyla tahmin edilen VO_{2max} değeri ile ölçülen VO_{2max} arasındaki ilişki sedanterlerde yüksek çıkarken ($r = 0.723$, $P < 0.01$), sporcularda anlamlı ilişki ($r = -0.216$, $P > 0.05$) bulunamamıştır. Sporcularda Fox denklemi ile tahmin edilen VO_{2max} değeri de ölçülen VO_{2max} ile ilişkili bulunmadığı için sporcularda VO_{2max} ’ın indirekt yolla değil, doğrudan ölçümünün daha doğru olacağını düşünüyöruz.

Sedanter erkeklerde, başta KLBB olmak üzere, anaerobik eşik parametreleri ile ilişkisi daha fazla olduğu için anaerobik eşik tahmininde iki VO_{2max} tahmin yönteminden Fox denkleminin kullanılmasının daha uygun olacağını düşünüyöruz.

Kaynaklar

1. Macsween A. The reliability and validity of the Astrand nomogram and linear extrapolation for deriving VO_{2max} from maximal exercise data. J Sports Med Physical Fitness 2001;41:312-7.
2. McArdle WD, Katch PI, Katch VI. “Exercise physiology: Energy, nutrition, and human performance”. 4th ed. USA: Williams & Wilkins; 1996.
3. Astrand PO. Physiological evaluation of an exercise test. Bibl Cardiol 1977;36:3-6.
4. Astrand PO, Rhyning, IA. A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. J Appl Physiol 1954;7:218-21.

5. Legge BJ, Banister EW. The Astrand-Rhyming nomogram revisited. *J Appl Physiol* 1986;61:1203-9.
6. Fox EL. A simple, accurate technique for predicting maximal aerobic power. *J Appl Physiol* 1973;35:914-6.
7. Fox EL, Bowers RW, Foss ML. "The physiological basis of physical education and athletics". 4th ed., USA; Saunders College Publishing; 1988.
8. Wasserman K, McIlroy MB. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am J Cardiol* 1964;14:844-52.
9. Bishop D, Jenkins DG, Mackinnon LT. The relationship between plasma lactate parameters, W_{peak} and 1-h cycling performance in women. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:1270-5.
10. Washington RL. Cardiorespiratory testing: Anaerobic threshold/respiratory threshold. *Pediatr Cardiol* 1999;20:12-5.
11. Cheng B, Kuipers H, Snyder, AC, Keizer HA, Jeukendrup A, Hesselink M. A new approach for the determination of ventilatory and lactate threshold. *Int J Sports Med* 1992;13:518-22.
12. Heck H, Mader A, Hess G, Mücke S, Müller R, Hollmann W. Justification of the 4 mmol/l lactate threshold. *Int J Sports Med* 1985;6:117-30.
13. Kinderman W, Simon G, Keul J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol* 1979;42:25-34.
14. Astrand PO. Quantification of exercise capability and evaluation of physical capacity in man. *Prog Cardiovasc Dis* 1976;19:51-67.
15. Shephard RJ. Tests of maximum oxygen intake: A critical review. *Sports Med* 1984;1:99-124.
16. Shephard RJ. "Exercise physiology". Toronto: B.C. Decker Inc; 1987.
17. Keller A, Hellesnes J, Brox JI. Reliability of the isokinetic trunk extensor test, Biering-Sorensen test, and Astrand bicycle test: Assessment of intraclass correlation coefficient and critical difference in patients with chronic low back pain and healthy individuals. *Spine* 2001;26:771-7.
18. Astrand PO, Rodahl K, Dahl HA, Stromme SB. Textbook of work physiology: Physiological bases of exercise. 4th ed. Canada; Human Kinetics; 2003.
19. Buono MJ, Roby JJ, Micale FG, Sallis JF, Shepard WE. Validity and reliability of predicting maximum oxygen uptake via field tests in children and adolescents. *Pediatr Exerc Sci* 1991;3:250-5.
20. Burke EM. Validity of selected laboratory and field tests of physical working capacity. *Res Quar* 1976;47:95-104.
21. Zwiren LD, Freedson PS, Ward A, Wilke S, Rippe JM. Estimation of VO_{2max} : A comparative analysis of five exercise tests. *Res Quar* 1991;62:73-8.