

## SOLUNUMSAL EŞİK VE LAKTAT EŞİĞİ ARASINDAKİ İLİŞKİ

Ü. GENÇ\*, S. AKKURT\*, T. AYDIN\*, Y. YILDIZ\*,  
H. YAĞMUR\*, T.A. KALYON\*

### ÖZET

Bu çalışmanın amacı anaerobik eşğin belirlenmesinde iki farklı ölçüm yöntemi olan solunumsal eşik (SE) ve laktat eşği (LE) arasındaki ilişkiyi araştırmaktır. Çalışmaya 10 güreşçi, 10 futbolcu toplam 20 sporcu gönüllü olarak katıldı. Direncin her 3 dakikada 50 W arttığı ve sporcuların tükenene kadar pedal çevirdiği Max VO<sub>2</sub> testi uygulandı. Bu test sırasında, sol antekübital ven içine yerleştirilen bir kateter yardımı ile her üç dakikanın son 30 saniyesinde venöz kan örnekleri alınarak spektrofotometrik yöntemle laktat analizleri yapıldı. Test sırasında, deneklerin ekspire ettikleri hava metabolik ölçüm sisteminde (Sensor-Medics 2900c) analiz edilerek her 10 saniyede bir oksijen tüketim değerleri bulundu. SE; V-slop yöntemi (SE<sub>V</sub>) (VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub> kullanılarak) ve konvansiyel yöntem (SE<sub>K</sub>) (V<sub>E</sub>/VO<sub>2</sub>, PETO<sub>2</sub>, PETCO<sub>2</sub> ve RQ kullanılarak) ile belirlendi. Elde edilen laktat değerlerinin test zamanı ile regresyon analizi yapıp laktat eşği (LE) ve laktat eşğindeki oksijen tüketim değerleri bulundu (VO<sub>2LE</sub>). SE<sub>V</sub>, SE<sub>K</sub> ve LE, VO<sub>2LE</sub> arasındaki ilişki için korrelasyon analizi yapıldı. Sonuç olarak SE<sub>K</sub> ile VO<sub>2LE</sub> arasında r=0.50'lik orta derecede bir ilişki bulunurken diğer parametreler arasında anlamlı bir ilişki tespit edilemedi.

**Anahtar sözcükler:** Laktat eşği, solunumsal eşik, anaerobik eşik

---

\* Gülhane Askeri Tıp Akademisi Spor Hekimliği Anabilim Dalı, ANKARA

## SUMMARY

### THE CORRELATION BETWEEN VENTILATORY AND LACTATE THRESHOLDS

The purpose of this study was to investigate the relationship between ventilatory (VT) and lactate thresholds (LT). 20 well-trained male athletes were tested on a bicycle ergometer with an incremental protocol (50 W per 3 min) till they were exhausted. At the last 30 second of each 3-minute interval blood sample was obtained through a venous catheter installed in the left antecubital vein and lactate was analyzed by a spectrophotometric method in this sample. Respiratory gas exchange was analyzed continuously and computed every 10 sec by SensorMedics 2900C analyzer integrated to a computer-based system. Calculation of VT were made by the V-slope ( $VT_V$ ) (using  $VCO_2/VO_2$ ) and conventional methods ( $VT_K$ ) (using  $V_E/VO_2$ ,  $V_E/VCO_2$ ,  $PETO_2$ ,  $PETCO_2$  and RQ) at each stage. During the exercise, the exponential correlations between lactate and/time for venous blood were calculated (LT). Correlation analyzes were also performed by relationship between ( $VT_V$ ), ( $VT_K$ ) and LT,  $VO_2$  at LT. In conclusion, we found a moderate correlation between the conventional method and LT ( $r=0.50$ ), while there were no significant correlations among other variables.

**Key words:** Anaerobic threshold, lactate threshold, ventilatory threshold

## GİRİŞ

Sporcunun aerobik performansını değerlendirmede maksimal oksijen tüketimi ( $MaxVO_2$ ) ölçümünün yanı sıra anaerobik eşik (AE) tayini de güvenli bir parametredir (1,6,9). AE, şiddeti giderek artan bir egzersiz sırasında  $VE/VO_2$  ve  $VCO_2/VO_2$ 'nin arttığı nokta olarak tanımlanır (14,18). Bu değişikliklerin temelinde anaerobik glikolizdeki artışa bağlı olarak gelişen laktik asidozun yatığı ileri sürülmektedir (14). Kan laktatının belirgin olarak artış gösterdiği bu nokta laktat eşığı (LE) olarak tanımlanmaktadır (21). Laktat eşığı kan laktat ölçümleri ile tespit edilebilir (21). Ancak son yıllarda laktatın ani olarak artış gösterdiği bu noktanın bazı solunumsal parametreler yardımı ile de bulunabileceği belirtilmektedir (20,21,13). Bu solunumsal parametrelerin değişiklik gösterdiği nokta ise solunumsal eşik (SE) olarak tanımlanmaktadır

(14,18). Yapılan bazı çalışmalarda, kan laktatındaki ani artışın olduğu nokta ile solunumsal parametrelerin değişiklik gösterdiği noktanın aynı zamanda oluştuğu tespit edilmiştir (5,7). SE ile LE arasında anlamlı oranda ilişki bulunması ile AE'in noninvaziv olarak da ölçülebileceği ileri sürülmüştür (5,7). Buna karşın bazı çalışmalarda, solunumsal eşiğin nöroendokrin mekanizmalara bağlı olarak geliştiği, asidoz olmadan da ortaya çıkabileceği ve bu nedenle SE ile LE arasında anlamlı bir ilişkinin olmadığı belirtilmektedir (3,10,14,17,19,20). Bu çalışmanın amacı, hala tartışmalı olan bu konunun aydınlığa kavuşturulması için SE ve LE arasındaki ilişkiyi ve varsa ilişkinin derecesini belirlemektir.

### GEREÇ ve YÖNTEM

Çalışmaya 10 güreşçi, 10 futbolcu toplam 20 sporcu gönüllü olarak katıldı. Deneklere gerekli bilgiler verildikten ve yazılı olarak izinleri alındıktan sonra testler yapıldı. Testler öncesinde deneğin sol antekübital veni içine bir anjiyoket yerleştirildi ve heparinlendi. Deneklerin bisikletteki oturma yüksekliği her birey için ayarlandıktan sonra çift yollu ağız-yüz maskesi takılarak bir hortum aracılığı ile metabolik ölçüm aletine bağlandı. Kalp vuruş sayısını ölçmek için göğüs üzerine bağlı bir telemetre kullanıldı (Polar, Finland).

İlk olarak, ergometrik bisiklet (SensorMedics Ergo-metrics 900, USA) üzerinde 5 dakika boyunca istirahat oksijen tüketim değeri ölçüldü ve bu sürenin son 30 saniyesi içinde istirahat laktat değeri için kan örneği alındı. Daha sonra, 0 W güçte 3 dakika pedal çevirerek test bisikletine adaptasyonları ve egzersiz öncesi ısınmaları sağlandı. Teste 50 W güçte, pedal hızı dakikada 50 olacak şekilde başlandı ve her 3 dakikada 50 W artacak şekilde deneğin tükeninceye kadar teste devam etmesi istendi. Her 3 dakikanın son 30 saniyesi içinde bir enjektörle anjiyoketden kan örneği alınarak heparinlenmiş vakumlu tüplere boşaltıldı. Bu sırada deneğin her ekspirasyonda verdiği hava, her test öncesinde kalibre edilen ve zirkonyum karbondiyoksit analizörü kullanan metabolik ölçüm aletinde analiz edildi (SensorMedics 2900c, USA). Testi sonlandırma kriterleri olarak; deneğin maksimal kalp hızına ulaşması, deneğin teste devam edememesi, pedal hızının 50 rpm'in altına düşmesi esas alındı. Test bittikten hemen sonra alınan kan örneği ile test sırasında alınan kan örnekleri aynı gün içinde spektrofotometrik yöntemle analiz edildi (Kodak, Germany). Verilerin analizinde Max VO<sub>2</sub> tespiti için son dakika içindeki en yüksek altı değer aritmetik ortalaması alındı.

Solunumsal eşik iki farklı yöntemle bulundu; a) *V-slop yöntemi* kullanılarak,  $VCO_2/VO_2$  arasındaki lineer ilişkinin bozulduğu noktadaki oksijen tüketim değeri alındı ve  $SE_V$  olarak gösterildi (22). b) *Konvan-siyonel yöntem* kullanılarak (Weisman'a göre belirlenen anaerobik eşığın noninvaziv belirlenmesi yöntemine göre); dakika ventilasyonu ( $V_E$ ), dakika ventilasyonunun kullanılan  $O_2$ 'ne oranı ( $V_E/VO_2$ ), dakika ventilasyonunun atılan  $CO_2$ 'e oranı ( $V_E/VCO_2$ ), end tidal  $CO_2$  parsiyel basıncı (PET  $CO_2$ ), end tidal  $O_2$  parsiyel basıncı (PET  $O_2$ ) ve RQ değerindeki değişiklikler bir grafikte gözlenerek bulundu (4,22).

Solunumsal eşığın maksimal oksijen tüketikine oranı için manüel olarak hesaplanan Max  $VO_2$  değeri kullanıldı ve her iki SE değeri için ayrı ayrı hesaplandı ( $\%SE_V$ ,  $\%SE_K$ ). LE için bulunan laktat değerleri Sigma Plot bilgisayar programında 'x' eksenine zaman, 'y' eksenine laktat gelecek şekilde bilgisayara yüklendi. Bu değerler arasındaki regresyon oranının azaldığı noktadaki laktat değeri laktat eşığı olarak alındı (LE) (4). Laktat eşığının olduğu zaman dilimindeki oksijen tüketimi ise laktat eşığındeki oksijen tüketimi olarak alındı ( $VO_{2LE}$ ).

İstatistikler SPSS istatistik programında yapıldı. Aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri bulunduktan sonra laktat eşığının tespiti için regresyon analizi, laktat eşığı ve solunumsal eşikler arasındaki ilişki için Pearson korrelasyon analizi yapıldı ( $p < 0.05$  anlamlılık düzeyinde).

## BULGULAR

Deneklerin fiziksel özellikleri Tablo 1'de görülmektedir. Çalışmaya katılan deneklerin aerobik özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Deneklerin fiziksel özellikleri.

n=20	Ortalama $\pm$ SS (Min - Max)
Yaş	22.1 $\pm$ 1.4 (20-26)
Boy (cm)	175.2 $\pm$ 6.0 (162.4-186.0)
Kilo (kg)	73.9 $\pm$ 9.8 (57-94)
Vücut yağı oranı (%)	11.43 $\pm$ 0.27 (9.82-13.95)

## Solunumsal eşik ve laktat eşiği arasındaki ilişki

Tablo 2. Deneklerin aerobik özellikleri.

n=20	Ortalama $\pm$ SS (Min - Max)
Max VO <sub>2</sub> (ml/kg.dk)	52.6 $\pm$ 6.6 (40.2-61.8)
SE <sub>V</sub>	27.9 $\pm$ 8.2 (15.6-43.8)
SE <sub>K</sub>	41.8 $\pm$ 0.4 (23.4-50.0)
%SE <sub>V</sub>	54.1 $\pm$ 14.2 (39-73)
%SE <sub>K</sub>	79.2 $\pm$ 7.4 (58-92)
LE (mmol/l)	2.55 $\pm$ 0.47 (1.60-3.35)
VO <sub>2LE</sub>	27.9 $\pm$ 5.5 (20.6-42.0)
%VO <sub>2LE</sub>	53.2 $\pm$ 8.8 (39.6-71.2)

V-slop yöntemi ile bulunan solunumsal eşik değeri (SE<sub>V</sub>) ile laktat eşiği değeri (LE) arasında  $r=0.27$  oranında korrelasyon bulundu ( $p>0.05$ ). (SE<sub>V</sub>) ile laktat eşiğindeki oksijen tüketimi arasındaki ilişki ise  $r=0.20$  olarak bulundu ( $p>0.05$ ). Konvansiyonel yöntem ile bulunan solunumsal eşik değeri ile (SE<sub>K</sub>) laktat eşiği değeri (LE) arasında da  $r=0.09$  oranında bir korrelasyon bulundu ( $p>0.05$ ). SE<sub>K</sub> ile VO<sub>2LE</sub> arasında  $r=50$  oranında ilişki bulundu ( $p<0.05$ ).

## TARTIŞMA

Şiddeti giderek artan egzersiz sırasında, enerji ilk olarak aerobik yolla sağlanır ve metabolit olarak CO<sub>2</sub> üretimi oluşur. Aerobik enerji sisteminin yetersiz kaldığı ve/veya kısa sürede ihtiyacının karşılanması gerektiği noktada, anaerobik enerji sistemi giderek daha fazla devreye girer ve laktik asidde artış gözlenir. Artan laktik asid başta bikarbonat olmak üzere tampon sistemleri ile tamponlanarak aşırı CO<sub>2</sub> (ExCO<sub>2</sub>) oluşumuna neden olur. Bu noktada laktat eşiği ile ExCO<sub>2</sub> arasındaki ilişki incelenmiş ve 0.80-0.78'lik bir ilişki bulunmuştur (2). Herast ise

laktat ile  $ExCO_2$  arasında 0.89 oranında ilişki bulmuştur. Anderson ve Rhodes da kan laktat eşiği ile  $ExCO_2$  ve  $V_E/VO_2$  arasında yüksek oranda anlamlı bir ilişki bulmuştur (0.92-0.95). Davis, kan laktatı ile solunumsal parametreleri kullanarak AE'i belirlemiş ve her iki eşik arasında anlamlı bir fark olmadığını göstermiştir (8). Yine bir çalışmada, laktat eşiği ile solunumsal eşikteki oksijen tüketimlerinin maksimal oksijen tüketimi oranına bakılmış ve aralarında 0.95'lik korrelasyon bulunmuştur (2). Caizza da kan laktatı ile gaz değişim parametrelerini kullanarak AE'i belirlemiş ve her iki eşik arasında anlamlı bir ilişki tesbit etmiştir (7). Reinhard, SE'deki oksijen tüketimi ile  $VO_{2LE}$  arasında 0.94'lük bir ilişki bulmuştur (7). Yine bazı çalışmalarda kan laktatının 2.0 mmol/l olduğu evrede SE'in oluştuğu belirtilmiştir. Laktik asid üretimi ve ventilasyon artışı arasında direkt ilişki, Wasserman tarafından da desteklenmiştir (8).

Çalışmada solunumsal eşik,  $SE_V$  ve  $SE_K$  yöntemleri kullanılarak iki ayrı yöntemle bulundu. Ancak  $VO_{2LE}$  ile SE arasındaki ilişkinin istatistiksel karşılaştırmasında literatürde önerildiği gibi  $SE_K$  değerleri kullanıldı (22).  $V_E/VO_2$ ,  $V_E/VCO_2$ ,  $PETO_2$ ,  $PETCO_2$ ,  $RQ$  kullanılarak belirlenen  $SE_K$  değerleri, bu konuda yapılan çalışmaların bazılarında yüksek, bazılarında ise düşük değerler göstermekle beraber, genelde çalışmalardaki değerlere yakındı (4,18,22). Çalışmamızda  $VO_{2LE}$  ile  $SE_KVO_2$  arasında  $r=0.50$  oranında düşük ancak istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki vardı. Bu ilişkinin düşük çıkmasının nedeni, LE belirlenirken kan örneklerinin 3 dakika aralıklarla alınması ve iş yükünün her üç dakikada 50 W arttığı şiddeti giderek artan egzersiz programının kullanılmasından kaynaklanmış olabilir. Literatürde, bu konuda yapılan çalışmalarda iş yükü artışlarının 1-2-3 dakika aralıklarla olduğu ve her yük artışında da kan örneği alındığı görülmektedir. Ancak, iş yükünün 1 dakika aralıklarla arttığı ve kan örneklerinin 30 saniye aralıklarla alındığı protokol en ideal test protokolü olarak ileri sürülmektedir (5,21). Yine bizim çalışmamızda  $SE_K$ 'deki oksijen tüketimi ile  $VO_{2LE}$  arasındaki ilişkinin düşük çıkmasının bir diğer nedeni de, venöz kan laktat değerlerinin kullanılması olabilir. Çünkü arterial kan laktat değeri, venöz kan laktat değerine göre daha erken yükselmektedir (11,16).

SE ve LE arasında ilişki olduğunu belirten pek çok yayın olmasına karşın, bazı araştırmacılar SE ile LE arasında anlamlı bir ilişki olmadı-

ğını, bazıları ise anlamlı bir ilişki olduğunu kabul etmekle birlikte bu ilişkinin tamamen tesadüfi olduğunu ileri sürmektedir (12,18). Davis ve Gass, farklı kan laktatlarının kullanıldığı iki ayrı test protokolünde LE değerlerinin farklı olmasına rağmen, bulunan eşiklerdeki iş yükü değerlerinin aynı olduğunu göstermişler ve venöz laktat konsantrasyonunun solunumsal eşikten sorumlu olmadığını ileri sürmüşlerdir. Hagberg, Mc Ardles sendromlu hastaları egzersiz testine alarak laktik asid birikimi ve plazma H<sup>+</sup> konsantrasyonunda artış olmadan, SE'in oluştuğunu göstermiştir. Neary, kondisyonlu kişilerde plazma laktat birikiminin solunumsal eşik oluşumundan sorumlu olmadığını göstermiştir (14).

LE oluşumunda, metabolik ve nöroendokrin faktörlerin yanında kassal iletinin de sorumlu olduğu ileri sürülmüştür. Gleim, LE'in sempatik aktivitedeki artışa bağlı olabileceğini ve egzersiz sırasında salınan katekolamin ve plazma renin aktivitesindeki artışın sempatik aktiviteyi arttırarak ventilasyonu stimüle ettiğini ileri sürmüştür. Farrell ise SE oluşmasının nedenini kastan kalkan sinirsel uyarılara bağlamaktadır (10).

Bazı çalışmalarda LE ve SE'in birbirinden bağımsız oluştuğu belirtilmiştir. Bu konu ile ilgili yapılan çalışmada invaziv ve noninvaziv yöntemle belirlenen AE değerlerinin birbirinden farklı olduğu bildirilmiştir (19,20). Sabit iş yükünün uygulandığı egzersiz testinde noninvaziv yöntem kullanılarak AE belirlenmiş ve  $V_E/VO_2$  ile  $FEO_2$ 'nin plazma laktatına göre daha erken zirve yaptığı gösterilmiştir. Bu da  $CO_2$ 'nin H<sup>+</sup>e göre kana daha iyi geçmesine ve/veya  $CO_2$  ile H<sup>+</sup>in direkt olarak solunum merkezini uyarmasına bağlanmaktadır (19,20). Buna karşın Green ve ark. şiddeti giderek artan egzersiz sırasında LE'in, SE'den önce oluştuğunu ileri sürmüştür (12). LE'in metabolik, SE'in ise metabolik ve nörojenik faktörlerce regüle edilmesi (10), antrenmanla LE'nin SE'e kıyasla daha fazla artış göstermesi de iki eşiğin aynı zamanda oluşmadığını göstermektedir (15).

Sonuç olarak şunu söyleyebiliriz; SE ve LE birbiriyle ilişkili iki parametredir. Her ne kadar bazı araştırmacılar SE'nin laktat artışı olmadan oluştuğunu ileri sürmekte iseler de birçok yayında SE ve LE arasında güçlü ilişki olduğu belirtilmekte ve bu iki yöntemin birbiri yerine kullanılabileceği belirtilmektedir. Bizim elde ettiğimiz  $r=0.50$

( $p < 0.05$ ) oranındaki ilişki çok yüksek bir oran olmamakla beraber, SE ve LE arasındaki ilişkiyi desteklemektedir. Yine de kan alım aralarının kısaltılarak yapılacak bir başka çalışmada, bulunan LE değeri ile SE değeri arasında daha yüksek bir ilişkinin çıkabileceğine inanmaktayız.

### KAYNAKLAR

1. Akkurt S, Yıldız Y, Genç Ü, Yağmur H, Demir H, Kalyon TA: Solunumsal eşik ve solunumsal eşikten sonraki tükenme zamanı ile aerobik ve anaerobik kapasite arasındaki ilişki. *Spor Hekimliği Dergisi* **33**: 97-108, 1998.
2. Anderson GS, Rhodes EC: Relationship between blood lactate and excess CO<sub>2</sub> in elite cyclists. *J Sport Sci* **9**: 173-81, 1991.
3. Astrand PO: *Textbook of Work Physiology*. London, McGraw-Hill, 3rd ed, 1983, pp 314-31.
4. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ: A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *Am Phys Soc* 2020-7, 1986.
5. Breuer WM, Skyschally A, Alf F, Schulz R, Heusch G: Transcutaneous pCO<sub>2</sub>-monitoring for the evaluation of the anaerobic threshold. *Int J Sports Med* **14**: 417-21, 1993.
6. Burke J, Thayer R, Belcamino M: Comparison of effects of two interval-training programs on lactate and ventilatory thresholds. *Br J Sports Med* **28**: 18-21, 1994.
7. Caiozzo VJ, Davis JA: A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. *Am Phys Soc* 1184-9, 1982.
8. Davis HA, Bassett J, Hughes P, Gass GC: Anaerobic threshold and lactate turnpoint. *Eur J Appl Physiol* **50**: 383-92, 1983.
9. El-Sayed MS, George KP, Wilkinson D, Mullan N, Fenoglio R, Flannigan J: Fingertip and venous blood lactate concentration in response to graded treadmill exercise. *J Sport Sci* **11**: 139-43, 1993.
10. Farrell SW, Ivy JL: Lactate acidosis and the increase in VE/VO<sub>2</sub> during incremental exercise. *J Appl Physiol* **62**: 1551-5, 1987.
11. Foxdal P, Sjödin A, Östman B, Sjödin B: The effect of different blood sampling sites and analyses on the relationship between exercise intensity and 4.0 mmol.l<sup>-1</sup> blood lactate concentration. *Eur J Appl Physiol* **63**: 52-4, 1991.
12. Green HJ, Hughson RL, Orr GW, Ranney DA: Anaerobic threshold, blood lactate and muscle metabolites in progressive exercise. *J Appl Physiol* **54**: 1032-8, 1983.
13. Hollmann W: Historical remark on the development of the aerobic-anaerobic threshold up to 1966. *Int J Sports Med* **6**: 109-16, 1985.



14. Neary M, McDougall JD: The relationship between lactate and ventilatory thresholds: coincidental or cause and effect? *Eur J Appl Physiol* **54**: 104-8, 1985.
15. Poole DC, Gaesser GA: Response of ventilatory and lactate thresholds to continuous and interval training. *J Appl Physiol* **58**: 1115-21, 1985.
16. Robegs RA, Chwalbinska-Moneta J, Mitchell JB, Pascoe JJ, Houmard J, Costill DL: Blood lactate threshold differences between arterialized and venous blood. *Int J Sports Med* **11**: 446-51, 1990.
17. Rusko H, Luhtanen P, Rahlika P, Viitasalo J, Rehunen S, Harkönen M: Muscle metabolism, blood lactate and oxygen uptake in steady state exercise at aerobic and anaerobic threshold. *Eur J Appl Physiol* **55**: 181-6, 1986.
18. Shephard RJ: Muscular endurance and blood lactate. In: *Endurance in Sports*. RJ Shephard, PO Astrand, Eds., Oxford, Blackwell, 1992, pp 215-25.
19. Simon J, Young JL, Blood DK, Segal KR, Case RB, Gutin B: Plasma lactate and ventilation thresholds in trained and untrained cyclist. *Am Phys Soc* 777-81, 1986.
20. Simon J, Young JL, Gutin B, Blood DK, Case RB: Lactate accumulation relative to the anaerobic and respiratory compensation threshold. *J Appl Physiol* **54**: 13-7, 1983.
21. Wasserman K: The anaerobic threshold: definition, physiological significance and identification. *Adv Cardiol* **35**: 1-23, 1986.
22. Whipp BJ: The bioenergetic and gas exchange basis of exercise testing. In: *Clinic of Chest Medicine*. IM Weisman, RJ Zeballos, Eds, 2nd Ed, USA, Blackwell Scientific, 1982, pp 157-77.