

# Antrenman Yapan Kadın ve Erkeklerde Kan Laktat Eşiği Değişimini Belirleyen Farklı Yöntemlerin Duyarlılıklarının Matematiksel Yöntemle Belirlenmesi

## Sensitivity of Blood Lactate Threshold Changes, Determined by Different Mathematical Methods in Trained Females and Males

Rafet IRMAK,<sup>a</sup>  
Cem Şeref BEDİZ,<sup>b</sup>  
İlkay AKSU,<sup>b</sup>  
Ayça TOPÇU,<sup>b</sup>  
Burçin GÜLEÇER<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi  
Fizik Tedavi ve  
Rehabilitasyon Yüksekokulu,  
<sup>b</sup>Fizyoloji AD,  
Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi,  
İzmir

Geliş Tarihi/Received: 19.01.2010  
Kabul Tarihi/Accepted: 18.06.2010

Bu çalışma Türk Fizyolojik Bilimler Derneği  
30. Kongresi (31 Ağustos-3 Eylül 2004,  
Konya)'nde poster bildirisi olarak sunulmuştur.

Yazışma Adresi/Correspondence:

Rafet IRMAK  
Dokuz Eylül Üniversitesi  
Fizik Tedavi ve  
Rehabilitasyon Yüksekokulu, İzmir,  
TÜRKİYE/TURKEY  
rafetirmak@gmail.com

**ÖZET Amaç:** Anaerobik eşik bireyin fiziksel uygunluğunun aerobik bileşenini tanımlayan parametredir. Kan laktat eşiğinin (LE) maksimal oksijen tüketimi ( $VO_{2max}$ ) ile korele olduğu ve anaerobik eşiği onun kadar iyi gösterebildiği bilinmektedir. LE gözle belirlenebileceği gibi, çeşitli istatistiksel modeller kullanılarak farklı kan laktat seviyelerine göre de belirlenebilmektedirler. Bu çalışmanın amacı cinsiyet, antrenman şiddeti ve yaş parametrelerinin LE değişimine ortak etkisinin bir istatistiksel model ile gösterilmesi ve LE belirleme yöntemlerinin LE değişimini belirlemedeki hassasiyetlerinin karşılaştırılmasıdır. **Gereç ve Yöntemler:** 8 hafta süre ile, düzenli antrenman yapmayan bireylerde (yaş,  $22 \pm 1$ , n= 6 Bayan, n= 6 erkek), bisiklet ergometresinde, günde 15-20 dk, haftada 3 gün aerobik antrenman uygulanmış, antrenman öncesi ve sonrasında gönüllülere bisiklet ergometresinde yükü 2 dk'da bir artan basamaklı egzersiz testi uygulanarak  $VO_{2max}$  ölçümleri yapılmış ve her basamakta parmak ucundan kan alınarak laktat değerleri belirlenmiştir. Ölçülen laktat değerlerinden lineer, logaritmik ve üçüncü dereceden curvilinear yöntemleri ile delta 1 mMol, 2 mMol, 2.5 mMol, ve 4 mMol/L için laktat eşikleri hesaplanmıştır. Antrenman öncesi ve sonrası değerler karşılaştırılmış, LE değişimini en iyi gösteren formül regresyon analizi ile belirlenmiş, kestirim standart hatası ve düzeltilmiş açıklayıcılık katsayısı ( $R^2$ ) ile belirlenmiştir. **Bulgular:** Antrenman dönemi sonunda  $VO_{2max}$  ve LE değerlerinde anlamlı yükselme olduğu bulunmuştur ( $P < 0.05$ ). LE değişimini gösteren en uygun denklem lineer modele göre 4mMol/L seviyesine göre hesaplanmış denklemdir. **Sonuç:** Bu çalışmanın sonucunda cinsiyet ve antrenman şiddetinin LE değişimine ortak etkisi bir matematik model ile gösterilmiştir. Yaygın kabul gören sabit LE 4 mMol/L seviyesindeki değişim denklemi diğer seviyelere göre ( $\Delta 1$  mMol, 2 mMol, 2.5 mMol) daha anlamlıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Kan laktat eşiği; matematiksel modelleme; aerobik egzersiz programı

**ABSTRACT Objective:** Anaerobic threshold is the parameter which defines the aerobic component of person's physical fitness. It is known that blood lactate threshold (LT) is correlated to maximal oxygen consumption ( $VO_{2max}$ ) and it shows anaerobic threshold as  $VO_{2max}$ . As LE can be determined by eye inspection, also it can be defined by using different statistical models at different levels of blood lactate concentrations. The purpose of this study is to determine common effect of sex, training intensity and age parameters on blood lactate threshold changes by statistical models and to compare the sensitivity of LT determination methods on blood lactate threshold changes. **Material and Methods:** Age between 18-25 year old, 6 male 6 female sedantary volunteers are trained on cycle ergometer for 8 weeks, 3 days per week for 15-20 minutes.  $VO_{2max}$  was measured before and after the training program by a 2 minute step exercise test protocol on a cycle ergometer and in each steps blood lactate was sampled from finger tips. LT was calculated by linear, logarithmic and third degree curvilinear models at delta 1 mMol, 2 mMol, 2.5 mMol/L and 4 mMol/L fixed blood lactate levels. Parameters were compared before and after training, the best fit regression models which shows the LT change was determined, standard error of regression and adjusted ( $R^2$ ) was calculated. **Results:** After the training session statistically significant increase on  $VO_{2max}$  and LT was provided ( $P < 0.05$ ). The best regression equation which shows LT change is based on 4 mMol/L fixed blood lactate according to linear model. **Conclusion:** At the end of this study the common effect of sex, age and training intensity on LT change is shown by a mathematical model. The LT changed at the level of 4 mMol/L which is commonly used is significant then other levels ( $\Delta 1$  mMol, 2 mMol, 2.5 mMol)

**Key Words:** Blood lactate threshold; mathematical models; aerobic exercise training

**K**an laktat konsantrasyon ölçümleri fiziksel kapasiteyi belirleyen standart bir yöntemdir.<sup>1,2</sup> Egzersize olan kan laktat cevabının değerlendirilmesi birçok egzersiz laboratuvarında ve saha testlerinde rutin olarak kullanılmaktadır. Aerobik dayanıklılık performansının ölçülmesinde ve antrenman şiddetinin belirlenmesine bu testlerden sağlanan bilgiler yaygın olarak kullanılmaktadır.<sup>3</sup> Hızlı kan laktat analizi yapan cihazların geliştirilmesinden önce ve kan örneklemezinin invazif doğasından dolayı, kan laktat eşliğinin (LE) belirlenebilmesi için birçok noninvazif protokol geliştirilmiştir. LE'nin tam olarak neyi gösterdiği ve eşığı en iyi hangi tekniğin saptadığı üzerinde birçok tartışma ortaya atılmıştır.<sup>3</sup> Aerobik dayanıklılığı belirlemek için genellikle şiddeti gittikçe artan bir egzersiz modeli uygulanır. Bu basamaklı yükler şeklinde uygulanan egzersiz testi sırasında kan laktat düzeyi (La) gittikçe artan (*exponential*) bir artış gösterir. İş yüküne göre artmakta olan La eğrisinin doğrusallığı kaybettiği veya kırılma gösterdiği noktalar eşik olarak tanımlanmıştır. Şiddeti gittikçe artan egzersizde, La konsantrasyon artışının doğrusallıktan ayrıldığı noktanın gözle kestirilmesi yaygın bir yöntemdir. Farklı çalışmalarda  $\Delta 1$  mMol/L, 2 mMol/L, 2.5 mMol/L, 4 mMol/L laktat seviyelerine karşılık gelen iş yüklerinin doğrusal artışın kaybedildiği noktalar olduğu belirtilmiştir. Gözle belirlemenin kişiye bağlı hatalara neden olabileceği, zaman kaybettirdiği ve bazı durumlarda La eğrilerinin gözle bir eşik belirlemeye uygun olmadığı durumlar nedeniyle gözle belirlemeye alternatif başka yöntemler de geliştirilmiştir. LE matematiksel modeller<sup>4,5</sup> ve hesaplamalar<sup>6-8</sup> yapılarak da belirlenebilmektedir. Yüksek iş seviyelerinde kasın yaptığı iş için gerekli enerjinin tümünün oksidatif yoldan sağlanamaması ve aradaki farkın anaerobik enerji sistemlerinden sağlanması anaerobik eşik olarak tanımlanmıştır.<sup>9</sup> LE'nin bu durumu yansıttığı bildirilerek, anaerobik eşik, LE ile birlikte anılmaya başlanmıştır. Kan laktat konsantrasyon ölçümleri sporcularda<sup>2,10,11</sup> olduğu gibi, hastalar<sup>12</sup> üzerindeki çalışmalarda da anaerobik eşğin belirlenmesinde kullanılmıştır.

Birçok çalışmada anaerobik eşğin aerobik egzersiz performansının iyi bir göstergesi olduğu, hatta kişilerin aerobik iş kapasitesini  $VO_{2max}$  kadar doğru gösterdiği, LE ölçümleri ile  $VO_{2max}$  arasında yüksek korelasyon olduğu bildirilmiştir.<sup>13</sup> LE değerinin yüksek olması kişinin dayanıklılık gerektiren uzun süreli yüksek iş yüklerinde egzersize devam edebileceğini gösterir. Uzun mesafe koşucuları, bisiklet yarışçıları, yüzücüler ve triatloncuların LE değerleri yüksektir. Yüksek iş yüklerinin kısa süreli uygulandığı egzersiz tiplerinde ise LE değeri düşüktür. Aerobik dayanıklılığın belirlenmesinin yanında antrenmanların planlanmasında ve egzersiz reçetesinin hazırlanmasında LE değerlerine göre yüklenmeler belirlenmektedir.<sup>14</sup>

Maksimum oksijen tüketimi ( $VO_{2max}$ ), solunumsal eşik (SE), kalp hızı (KH) ve kalp hızı eşığı (KHE) diğer fiziksel kapasite göstergeleridir.

LE'nin dayanıklılık antrenmanlarıyla yükseltilebileceği çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir.<sup>15-20</sup> Antrene ve her iki cinsiyetin de katıldığı çalışmalar nadirdir. Çalışmalar da koşu bandı ve ergo bisiklet antrenmanları uygulanmıştır. Antrenmanlara bağlı olarak LE ve  $VO_{2max}$ 'ın arttığı bildirilmiştir. Cinsiyet, antrenman şiddeti ve yaş parametrelerinin LE'e tek başlarına etkileri incelenmiştir. LE belirlenmesinde birçok model bildirilmesine rağmen, bu parametrelerin kan laktat değişimine ortak etkilerini gösteren istatistik modele literatürde rastlanmamıştır.

Aynı kişilerde birden çok LE belirleme yöntemi kullanılarak bunların hangisinin antrenman ile elde edilen LE eşığı değişimini daha hassas belirlediğini gösteren bir çalışmaya da literatürde rastlanmamıştır.

Bu çalışmanın amacı:

1- Cinsiyet ve antrenman şiddetinin, LE değişimine ortak etkisinin bir istatistiksel model ile gösterilmesi,

2- LE belirleme yöntemlerinin, LE değişimini belirlemedeki hassasiyetlerinin karşılaştırılmasıdır.

## GEREÇLER VE YÖNTEMLER

Antropometrik özellikleri benzer, 18-25 yaş aralığında, düzenli antrenman yapmayan, 6 bayan 6 erkek gönüllüden oluşan gönüllü grupları üzerinde çalışılmıştır. Gönüllüler egzersize verdikleri fizyolojik cevapları etkileyebilecek kalp damar hastalıkları, solunum hastalıkları, psikolojik rahatsızlıklar ve sigara alışkanlıkları olmayan kişilerdir. Bu çalışma için Dokuz Eylül Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulundan onay alınmıştır. Egzersiz testleri, antrenmanlar ve analizler Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Spor Fizyolojisi Bilim Dalı laboratuvarında yapılmıştır.

### ARAŞTIRMA DÜZENİ

Gönüllülere birinci gün araştırma hakkında bilgi verilmiş, yazılı onayları alınmış, antropometrik ölçümleri yapılmıştır. İkinci gün bisiklet ergometresinde şiddeti gittikçe artan, basamaklı bir egzersiz testi uygulanmıştır. Egzersizin her basamağında laktat düzeylerini saptamak üzere parmak ucundan kan alınmıştır. Laktat düzeyleri LE belirlemede kullanılmıştır. Egzersiz boyunca maske ile solunum havası toplanarak oksijen tüketimi ( $VO_2$ ) ve karbondioksit üretimleri ( $VCO_2$ ) ölçülmüştür. Egzersiz testi gönüllünün en üst düzeyine ulaşana kadar sürdürülmüş ve maksimal oksijen tüketimleri ( $VO_{2maks}$ ) belirlenmiştir. Gönüllüler 8 hafta antrenman uyguladıktan sonra hem antropometrik ölçümler hem de aynı egzersiz protokolü tekrar uygulanmış, LE ve  $VO_{2maks}$  tekrar belirlenmiştir.

### ANTROPOMETRİK ÖLÇÜMLER

Boy ölçümleri (m) duvara sabitlenmiş bir stadiometre ile yapılmıştır. Vücut ağırlıkları (kg) elektronik baskül ile ölçülmüştür (Tanita BF556). Vücut yağ yüzdeleri bioelektrik empedans yöntemi ile ölçülmüştür (Tanita BF556). Vücut kütle indeksleri vücut ağırlığının boyun karesine bölünmesiyle hesaplanmıştır.

### EGZERSİZ TESTİ PROTOKOLÜ

Egzersiz testi yükü basamaklar şeklinde artırılan bir bisiklet ergometrede (Monark 839E) uygulanmıştır. Gönüllülerden test öncesi son yemeklerini kahvaltı şeklinde 2 saat önce yemeleri, bir gün önce

kahve, alkol, ilaç almamaları, ağır egzersiz yapmalarını istenmiştir. Laboratuvarında 30 dakika dinlendikten sonra parmak ucundan ilk kan örnekleri ve dinlenme kalp hızları (Polar XTrainer Plus, Finlandiya) alınmıştır.

Gönüllülere kalp hızı 120 vuru/dakikayı aşmayacak şekilde, 30-50 W iş yükünde 2 dakikalık ısınma egzersizi yaptırılmıştır. Egzersiz testine erkekler için 50 W, bayanlar için 30 W ilk iş yükü ile başlanmıştır. Daha sonra iş yükü her iki dakikada bir erkekler için 25W, bayanlar için 15W artırılarak kişi maksimuma ulaşana kadar teste devam edilmiştir. İki dakikalık basamakların sonunda gönüllü durdurularak parmak ucundan kan alınmıştır. Bu duraklamalar 10-30 saniye sürmüştür. Bütün egzersiz testi boyunca yüze takılan bir maske yardımıyla  $VO_2$  ve  $VCO_2$  düzeyleri ve kalp hızları ölçülmüştür. Test sonunda kişinin maksimum kalp hızının % 95'ine ulaşmış olması, yük artışına rağmen  $VO_2$ 'de artık artış olmaması, solunum değişim oranı ( $VCO_2/VO_2$ , RER) değerinin 1.11'in üzerine çıkması ölçütlerinden en az ikisi sağlandığında kişinin maksimum egzersiz düzeyine ulaştığına karar verilmiştir. Aynı egzersiz protokolü sekiz haftalık antrenman programından sonra tekrar edilmiştir.

### $VO_{2maks}$ ÖLÇÜMÜ

$VO_{2maks}$  ölçümü için gerekli gaz örnekleme yi yüze takılan tek yönlü valf içeren maske ile (Hans Rudolph Mask, USA) ekspirasyon havasından yapılmıştır. Gönüllünün ekspirasyon havası 6 litrelik karıştırma kutusunda toplanmıştır. Oksijen tüketimi ( $VO_2$ ) ve karbondioksit üretimi hızlarının ( $VCO_2$ ) ölçümü için Biopac MP100 veri işleme sistemi ve buna bağlı hava akım ölçer, oksijen ve karbondioksit analizörleri kullanılmıştır. Analizörler sürekli olarak karıştırma kutusundan örnek çekerek oksijen ve karbondioksit düzeylerini ölçmüşlerdir. Bu ölçümler ve ventilasyonu ölçen akım ölçerden gelen veriler Biopac AcqKnowledge 3.7 yazılımına aktarılarak  $VO_2$ ,  $VCO_2$  ve RER değerleri hesaplanmıştır. Analizörler her testten önce içeriği önceden bilinen standart kalibrasyon gazları ile tekrar kalibre edilmiştir. Hava akım ölçer 3 litrelik şırınga ile kalibre edilmiştir.

## LAKTAT ÖLÇÜMÜ VE LAKTAT EŞİĞİNİN BELİRLENMESİ

Dinlenmede, egzersiz sırasında her 2 dakikalık yüklenmeden sonra, yeni yük artırımı yapılmadan önce gönüllülerin parmak ucu asepsi koşullarına uygun olarak lanset ile delinmiştir. Çıkan ilk damla silindikten sonra mikropipet kullanılarak 25 ml kapiller kan örneği alınmıştır. Her gönüllüden 7 kez kan örneği alınmıştır (Alınan örneklerin niteliği uygun olmadığı durumlarda en fazla 2 ek örnek daha alınmıştır). Alınan örnekler bekletilmeden enzimatik yöntemle analiz edilmiştir (Yellow Springs YSI Sport 1500, USA). Laktat analizörü her testin başında kalibre edilmiş ve test sırasında en az bir kez test solüsyonu ile kalibrasyonu kontrol edilmiştir.

LE önce göz ile sonra diğer matematiksel modeller ile belirlenmiştir. Literatürde LE olarak kabul edilen çeşitli düzeylerden a) Laktatın 1 mMol/L'den fazla artış gösterdiği (D1), b) 2 mMol/L düzeyine çıktığı, c) 2,5 mMol/L düzeyine çıktığı ve d) 4 mMol/L düzeyine çıktığı iş yükleri her üç yöntem ile belirlenmiştir. Matematiksel model uygulamaları Dokuz Eylül Üniversitesine ait lisansı bulunan SPSS 8.0 yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

**Gözle belirlenmesi:** Milimetrik kağıda laktat ölçüm verileri yerleştirilerek interpolasyon uygulanmıştır. Deneyimli bir araştırmacı tarafından 4 mMol/L laktat seviyelerine karşılık gelen iş yükleri belirlenmiştir.

### LE'nin Logaritmik Modelle Belirlenmesi

1- Kan laktat konsantrasyonları ve uygulanan yük değerleri veri sayfasına her sütuna bir seri gelecek şekilde girilmiştir.

2- Ham veri serilerinin logaritma değerleri yeni sütunlara hesaplanmıştır.

3- Logaritma sütunları kullanılarak kan laktat konsantrasyonu logaritmasına karşı yüklerin logaritmasının linear regresyonu hesaplanmıştır.

4- Elde edilen regresyon denkleminin ters fonksiyonu alınıp ters fonksiyonda ( $x = x_0 + 1$ ), ( $x = 2$ ), ( $x = 2.5$ ), ( $x = 4$ ) değerleri için y değerleri hesaplanmıştır.

5-Y değerlerinin kologoritması hesaplanmıştır.

Bulunan değerler logaritmik modele göre LE değerleri olarak kabul edilmiştir.

### LE'nin Üçüncü Dereceden

#### "Curvilinear" Modele Göre Belirlenmesi:

1- Kan laktat konsantrasyonları ve uygulanan direnç değerler veri sayfasına her sütuna bir seri gelecek şekilde girilmiştir.

2- Kan laktat konsantrasyonuna karşı dirençlerin üçüncü dereceden "curvilinear" regresyonu hesaplanmıştır.

3- Elde edilen regresyon denkleminin ters fonksiyonu alınıp ters fonksiyonda ( $x = x_0 + 1$ ), ( $x = 2$ ), ( $x = 2.5$ ), ( $x = 4$ ) değerleri için y değerleri hesaplanmıştır.

Bulunan değerler üçüncü dereceden "curvilinear" modele göre LE değerleri olarak kabul edilmiştir.

### LE'nin Linear Modele Göre Belirlenmesi

1- Kan laktat konsantrasyonları ve uygulanan direnç değerler veri sayfasına her sütuna bir seri gelecek şekilde girilmiştir.

2- Kan laktat konsantrasyonuna karşı dirençlerin lineer regresyonu hesaplanmıştır.

3- Elde edilen regresyon denkleminin ters fonksiyonu alınıp ters fonksiyonda ( $x = x_0 + 1$ ), ( $x = 2$ ), ( $x = 2.5$ ), ( $x = 4$ ) değerleri için y değerleri hesaplanmıştır.

Bulunan değerler lineer modele göre LE değerleri olarak kabul edilmiştir.

## ANTRENMAN PROGRAMI

Bütün gönüllülere 8 hafta, haftada 3 gün, günde 15 dakikalık ergo bisiklet antrenmanı uygulanmıştır.<sup>21</sup> Antrenman şiddeti her gönüllünün LE ve  $VO_{2maks}$  değerleri temel alınarak LE değerinden büyük,<sup>19</sup> sabit şiddette seçilmiştir. Gönüllülerin antrenmanları günün aynı saatinde ve aynı ergo bisiklette uygulanmıştır. Antrenman öncesi 3 dakika ısınma ve antrenman sonrası 5 dakika soğuma egzersizleri uygulanmış, soğuma dönemine germe ve egzersizleri de eklenmiştir. Sekizinci hafta sonunda ikinci egzersiz testi ve LE ölçümleri yapılmıştır.

## İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Antrenman programı öncesi ve sonrası LE değişimlerinin anlamlılığı, antropometrik parametrelerdeki değişimlerin anlamlılığı ve  $VO_{2max}$  ölçümlerinin anlamlılığı Wilcoxon eşleştirilmiş iki örnek testi uygulanarak incelenmiştir. Anlamlılık için  $\alpha < 0.05$  kabul edilmiştir.

Yaş, cinsiyet ve antrenman yükünün anaerobik eşşe oranı bağımsız değişkenler olarak kabul edilmiştir. İkinci ve birinci LE ölçümleri arasındaki fark bağımlı değişken olarak tanımlanmıştır. LE değişimini tanımlayan denklemler, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin çok değişkenli regresyon yöntemiyle analizi sonunda elde edilmiştir. Denklemlere ait kestirimin standart hatası (SEE) ve düzeltilmiş açıklayıcılık katsayısının karesine ( $AdjR^2$ ) göre yapılan sıralamada, en küçük SEE ve en yüksek  $AdjR^2$  olan denklem en uygun denklem kabul edilmiştir.

## BULGULAR

### ANTROPOMETRİK DEĞERLENDİRME

Vücut ağırlığı ve vücut yağ yüzdesi ölçümlerinin antrenman programı öncesi ve sonrası değerleri arasında Wilcoxon eşleştirilmiş iki örnek testine göre istatistiksel olarak anlamlı fark gözlenmemiştir ( $P > 0.05$ ) (Tablo 1).

### $VO_{2maks}$ VE LE DEĞERLENDİRMESİ

$VO_{2maks}$  ve gözle belirlenen LE ölçümlerinin antrenman programı öncesi ve sonrası değerleri arasında Wilcoxon eşleştirilmiş iki örnek testine göre istatistiksel olarak anlamlı fark gözlemlenmiştir (Tablo 2). Antrenman sonrasında hem  $VO_{2maks}$ , hem de LE düzeyinin yükseldiği görülmektedir ( $P < 0.05$ ).

### MATEMATİKSEL MODELLERLE BELİRLENMİŞ KAN LAKTAT EŞİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Linear, logaritmik istatistiksel modellerine göre D1, 2, 2.5 ve 4 mMol/L seviyelerine göre belirlenen LE ölçümlerinin tamamında, üçüncü derece "curvilinear" istatistiksel modellerine göre 2, 2.5 ve 4 mMol/L seviyelerine göre belirlenen LE ölçümlerinde antrenman programı öncesi ve sonrası değerleri arasında Wilcoxon eşleştirilmiş iki örnek testine göre istatistiksel olarak anlamlı fark gözlemlenmiştir ( $P < 0.05$ ) (Tablo 3).

**TABLO 1:** Gönüllülerin tanımlayıcı özellikleri (ortalama  $\pm$  standart sapma) (n= 12).

	Antrenman Öncesi	Antrenman Sonrası	Z	P
Yaş (Yılı)	22 $\pm$ 1			
Boy (m)	1.70 $\pm$ 0.09			
Ağırlık İlık Ölçüm (Kg)	71.7 $\pm$ 11.5	70.7 $\pm$ 11.0	-1.43	0.15
Vücut Yağ Yüzdesi (%)	17.1 $\pm$ 5.5	16.8 $\pm$ 5.5	-1.53	0.13
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	24.6 $\pm$ 2.7	24.3 $\pm$ 2.5	-1.27	0.20

**TABLO 2:** Antrenman öncesi ve sonrası aerobik kapasite, LE ölçümleri ve antrenman yükleri (ortalama  $\pm$  standart sapma) (n= 12).

	Antrenman Öncesi	Antrenman Sonrası	Z	P
$VO_{2max}$ (ml/dakika)	2259 $\pm$ 707	2523 $\pm$ 821	-2.981	0.003
$VO_{2max}$ (ml/dakika.kg <sup>-1</sup> )	31 $\pm$ 7	35 $\pm$ 8	-2.981	0.003
Gözle Belirlenen LE (Watt)	97 $\pm$ 29	125 $\pm$ 27	-3.074	0.002
Antrenman Yükleri (Watt)	94 $\pm$ 21			

**TABLO 3:** İstatistiksel olarak belirlenmiş kan laktat eşiklerine karşılık gelen iş yükü (watt) değerleri (ortalama  $\pm$  standart sapma) (n= 12).

	Antrenman Öncesi	Antrenman Sonrası	Z	P
Linear Model				
Delta 1 mMol/L	43 $\pm$ 23	76 $\pm$ 22	-2.824	0.0047
2 mMol/L	49 $\pm$ 19	74 $\pm$ 20	-2.903	0.0037
2.5 mMol/L	57 $\pm$ 19	84 $\pm$ 20	-2.903	0.0037
4 mMol	83 $\pm$ 21	113 $\pm$ 22	-2.824	0.0047
Logaritmik Model				
Delta 1 mMol/L	57 $\pm$ 17	82 $\pm$ 25	-2.589	0.0096
2 mMol/L	54 $\pm$ 16	80 $\pm$ 23	-2.432	0.0150
2.5 mMol/L	64 $\pm$ 18	92 $\pm$ 22	-2.432	0.0150
4 mMol/L	89 $\pm$ 21	123 $\pm$ 25	-2.981	0.0029
3. Dereceden Curvilinear Model				
Delta 1 mMol/L	42 $\pm$ 52	66 $\pm$ 38	-1.491	0.1361
2 mMol/L	39 $\pm$ 35	68 $\pm$ 27	-2.275	0.0229
2.5 mMol/L	66 $\pm$ 41	92 $\pm$ 26	-2.040	0.0414
4 mMol/L	113 $\pm$ 38	135 $\pm$ 33	-2.040	0.0414

### LE Değişimini Belirleyen İstatistiksel Modeller

Kestirimin standart hatası en düşük ve düzeltilmiş açıklayıcılık katsayısının karesi en yüksek olan denklem, en uygun denklem olarak kabul edilmiştir. Buna göre 4 mMol/L seviyesinde, linear model



ile LE'yi hesaplayan değişim denklemi en uygun denklemdir (Tablo 4). Buna göre bulunan denklem aşağıdadır:

$$DL_a = 324.36 + -2.25 (\text{Yük/LE}) - 13.86^* (\text{Yaş}) + 17.29 (\text{Cinsiyet})$$

**Yük:** Antrenman sırasında uygulanan iş yükü (Watt)

**LT:** Antrenman programına başlamadan önceki 4 mMol/L seviyesinde lineer modele göre belirlenmiş LE (mMol/L)

**Yaş:** Yıl

**Cinsiyet:** kadın (0)/erkek (1)

## TARTIŞMA

Bu çalışmada, cinsiyet ve antrenman şiddetinin, LE değişimine ortak etkisinin bir matematik model ile gösterilmesi amaçlanmıştır. Antrenman programı öncesinde bilinen veriler kullanılarak, antrenman sonrasında elde edilebilecek LE gelişiminin belirli kestirim hataları çerçevesinde tahmin edilebilmesi için bir yöntem ortaya koymuştur. Literatürde antrenman sonrası LE gelişiminin önceden tahmin edilmesine yönelik herhangi bir yöntem rastlanmamıştır.

Çalışmada LE belirleme yöntemlerinin antrenman sonrası LE değişimine olan hassasiyetleri karşılaştırılmıştır. Lineer modele göre, 4 mMol sabit laktat seviyesine göre hesaplanan değişim denklemi

en hassas model olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuç 4 mMol sabit laktat seviyesinin saha ve laboratuvar çalışmalarında yaygın kullanımı ile tutarlıdır. LE'nin belirlenmesi amacıyla kullanılan daha ileri matematiksel yaklaşımlar olan çift yönlü regresyon ve diferansiyel dayalı yöntemler<sup>4</sup> ve bireysel anaerobik eşik<sup>10,11,14</sup> gibi özelleşmiş yöntemlerin LE değişimine duyarlılığı çalışmamızda incelenmemiştir.

Bu çalışmada elde edilen denklem, çalışmaya ait gönüllü grubuna özeldir. Bu tip denklemler aerobik sporlarda takıma özgü denklemlerin geliştirilmesi ve takımın antrenman sonrası performansının önceden belirlenebilmesi amacıyla kullanılabilir. Çeşitli hasta grupları ya da sağlıklı popülasyonun yaş, cinsiyet alt grupları için, genel denklemlere ihtiyaç vardır.

## SONUÇ

Bu çalışmada cinsiyet ve antrenman şiddetinin, LE değişimine ortak etkisinin bir istatistiksel model ile gösterilmesi ve LE belirleme yöntemlerinin, LE değişimini belirlemedeki hassasiyetlerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Araştırma sonunda, Antrenman programı öncesinde bilinen veriler kullanılarak antrenman sonrasında elde edilebilecek LE gelişimini belirli kestirim hataları çerçevesinde tahmin edilebilmesi için bir yöntem ortaya konuldu. Lineer modele göre, 4mMol sabit laktat seviyesine göre hesaplanan değişim denkleminin diğer model-

**TABLO 4:** LE değişim denklemleri regresyon analizi sonuçları (n= 12, Düzeltilmiş R<sup>2</sup> değerlerine göre büyükten küçüğe, kestirimin standart hatasına göre küçükten büyüğe sıralı liste).

Model	Seviye	r	R <sup>2</sup>	Düzeltilmiş R <sup>2</sup>	Kestirimin Standart Hatası
Linear	4 mMol	0.917	0.842	0.789	10.287
Linear	2.5 mMol	0.838	0.702	0.603	11.524
Linear	2 mMol	0.769	0.592	0.456	13.508
Log	2 mMol	0.361	0.130	-0.160	15.840
Log	2.5 mMol	0.315	0.099	-0.201	17.977
Log	4 mMol	0.171	0.029	-0.295	26.347
Log	delta1	0.433	0.187	-0.084	26.759
Linear	delta1	0.378	0.143	-0.143	30.641
Curvilinear	delta1	0.794	0.630	0.506	40.069
Curvilinear	2.5 mMol	0.708	0.502	0.336	44.455
Curvilinear	2 mMol	0.721	0.519	0.359	44.574
Curvilinear	4 mMol	0.462	0.213	-0.049	45.867

lere göre değişimi göstermede daha hassas olduğu gösterildi. LE nin belirlenmesi amacıyla kullanılan diferensiyel denklemler ve çift yönlü regresyon gibi daha ileri matematiksel yöntemlerinde incelenmemiş olması çalışmamızın sınırlılıklarıdır.

## Teşekkür

*Bu çalışma TÜBİTAK, Bilimadamı Yetiştirme Grubu, Üniversite Öğrencileri Yurt İçi/Yurt Dışı Araştırma Projeleri Destekleme Programının (2209) maddi desteği ile yapılmıştır.*

## KAYNAKLAR

1. Roecker K, Schotte O, Niess AM, Horstmann T, Dickhuth HH. Predicting competition performance in long-distance running by means of a treadmill test. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30(10):1552-7.
2. Roecker K, Mayer F, Striegel H, Dickhuth HH. Increase characteristics of the cumulated excess-CO<sub>2</sub> and the lactate concentration during exercise. *Int J Sports Med* 2000;21(6):419-23.
3. Faude O, Kindermann W, Meyer T. Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Med* 2009;39(6):469-90.
4. Tokmakidis SP, Léger LA. Comparison of mathematically determined blood lactate and heart rate "threshold" points and relationship with performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1992;64(4):309-17.
5. Tokmakidis SP, Léger LA, Piliandis TC. Failure to obtain a unique threshold on the blood lactate concentration curve during exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1998; 77(4):333-42.
6. Bischoff MM, Duffin J. An aid to the determination of the ventilatory threshold. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1995;71(1):65-70.
7. Cheng B, Kuipers H, Snyder AC, Keizer HA, Jeukendrup A, Hesselink M. A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds. *Int J Sports Med* 1992;13(7):518-22.
8. Kara M, Gökbel H, Bediz C, Ergene N, Uçok K, Uysal H. Determination of the heart rate deflection point by the Dmax method. *J Sports Med Phys Fitness* 1996;36(1):31-4.
9. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Whipp BJ. Principles of Exercise testing and Interpretation. Chapter 2. 1<sup>st</sup> ed. Philadelphia: LE & Febiger; 1987. p.10-11.
10. Beneke R. Anaerobic threshold, individual anaerobic threshold, and maximal lactate steady state in rowing. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27(6):863-7.
11. Coen B, Schwarz L, Urhausen A, Kindermann W. Control of training in middle- and long-distance running by means of the individual anaerobic threshold. *Int J Sports Med* 1991;12(6):519-24.
12. Coplan NL, Gleim GW, Nicholas JA. Principles of exercise prescription for patients with coronary artery disease. *Am Heart J* 1986;112(1):145-9.
13. Antonutto G, Di Prampero PE. The concept of lactate threshold. A short review. *J Sports Med Phys Fitness* 1995;35(1):6-12.
14. Klika RJ, Callahan KE, Drum SN. Individualized 12-week exercise training programs enhance aerobic capacity of cancer survivors. *Phys Sportsmed* 2009;37(3):68-77.
15. Denis C, Dormois D, Lacour JR. Endurance training, VO<sub>2</sub> max, and OBLA: a longitudinal study of two different age groups. *Int J Sports Med* 1984;5(4):167-73.
16. Denis C, Fouquet R, Poty P, Geysant A, Lacour JR. Effect of 40 weeks of endurance training on the anaerobic threshold. *Int J Sports Med* 1982;3(4):208-14.
17. Hetzler RK, Seip RL, Boutcher SH, Pierce E, Snead D, Weltman A. Effect of exercise modality on ratings of perceived exertion at various lactate concentrations. *Med Sci Sports Exerc* 1991;23(1):88-92.
18. Pierce EF, Weltman A, Seip RL, Snead D. Effects of training specificity on the lactate threshold and VO<sub>2</sub> peak. *Int J Sports Med* 1990;11(4):267-72.
19. Weltman A, Seip RL, Snead D, Weltman JY, Haskvitz EM, Evans WS, et al. Exercise training at and above the lactate threshold in previously untrained women. *Int J Sports Med* 1992;13(3):257-63.
20. Weltman A, Wood CM, Womack CJ, Davis SE, Blumer JL, Alvarez J, et al. Catecholamine and blood lactate responses to incremental rowing and running exercise. *J Appl Physiol* 1994;76(3):1144-9.
21. Yoshida T, Suda Y, Takeuchi N. Endurance training regimen based upon arterial blood lactate: effects on anaerobic threshold. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1982;49(2):223-30.