

# Şiddetli Egzersiz Alanının Üst Sınırını Belirlemede Kullanılan Bir Yöntemin Maksimal Laktat Dengesini Belirleyebilme Başarısının Değerlendirilmesi: Deneysel Çalışma

## Evaluation of the Success of Determining the Maximal Lactate Steady-State of a Method Used to Determine the Upper Limit of Severe Exercise Domain: Experimental Research

<sup>1b</sup> Egemen ALP<sup>a</sup>, <sup>1b</sup> Refik ÇABUK<sup>b</sup>, <sup>1b</sup> Hakan AS<sup>a</sup>, <sup>1b</sup> Görkem Aybars BALCI<sup>c</sup>, <sup>1b</sup> Özgür ÖZKAYA<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Ege Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Spor Sağlık Bilimleri Bölümü, İzmir, Türkiye

<sup>b</sup>Bayburt Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu, Antrenörlük Eğitimi Bölümü, Bayburt, Türkiye

<sup>c</sup>Ege Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü, Hareket ve Antrenman Bilimleri ABD, İzmir, Türkiye

**ÖZET Amaç:** Maksimal laktat dengesi (MLD), şiddetli egzersiz alanının alt sınırını belirleyebilmenin geçerli ve güvenilir bir yöntemidir. Diğer yandan, yakın zamanda ortaya atılan bir teknik, şiddetli egzersiz alanının üst sınırını belirlemede popüler olmuştur (the highest intensity;  $I_{HIGH}$ ). Ancak bu yeni tekniğin altında yatan teorik temele dayalı olarak, MLD'yi sorgulayan bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmanın amacı,  $I_{HIGH}$  belirlemede kullanılan bu yöntemin alt sınıra uygulanması sonucunda elde edilecek egzersiz şiddetinin MLD'yi hangi düzeyde karşılayacağını araştırılmasıydı. **Gereç ve Yöntemler:** Çalışma, iyi antrene 10 bisiklet sporcusuyla yapıldı. Katılımcılar, tüketici kademeli egzersizlerden sonra bireysel  $I_{HIGH}$  düzeylerinin belirlenmesi için bir dizi sabit yüklü tüketici egzersize tabi tutuldu. Bireysel  $I_{HIGH}$  düzeyleri, hâlen zirve oksijen kullanımı veren ( $\dot{V}O_{2pik}$ ) en yüksek egzersiz şiddeti olarak kabul edildi. MLD, farklı egzersiz şiddetlerinde yapılan 30 dk'lık submaksimal egzersizlerin 30 ve 10. dk kan laktatı farklarının  $1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  den az olabildiği en yüksek egzersiz şiddeti dikkate alınarak belirlendi. Değişkenler arasındaki farklılıklar, eşleştirilmiş örneklem t-test ile değerlendirildi. Etki büyüklüğü (EB) Cohen d'ye göre analiz edildi. **Bulgular:** Beklendiği gibi MLD ve  $I_{HIGH}$  egzersiz şiddetine ait ortalama  $\dot{V}O_2$  farkları anlamlıydı ( $55,2\pm 4,50$ 'ye kıyasla  $61,2\pm 5,06 \text{ mL}\cdot\text{dk}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;  $p=0,000$ ;  $EB=2,17$ ). Ancak MLD %5 aştığında yapılan bir egzersize ait ortalama  $\dot{V}O_2$  değerleri,  $I_{HIGH}$ 'ı belirlemede kullanılan yöntemle elde edilen  $\dot{V}O_{2pik}$ 'e ulaşamadı ( $56,3\pm 3,42$ 'ye kıyasla  $60,6\pm 5,02 \text{ mL}\cdot\text{dk}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;  $p=0,002$ ;  $EB=1,50$ ). **Sonuç:** Elde edilen bulgulara göre  $I_{HIGH}$ 'ı belirlemede kullanılan prosedürün ve şiddetli egzersiz alanı için hesaplanan  $\dot{V}O_{2pik}$ 'in aynı alanın alt sınırı için geçerli olmadığı ortaya koyuldu.

**ABSTRACT Objective:** Maximal lactate steady-state (MLSS) is a valid and reliable method for determining the lower limit of the severe exercise domain. Meanwhile, a recently introduced technique, called as the highest intensity ( $I_{HIGH}$ ), has become popular for detecting the upper boundary of severe exercise domain. However, no study has been conducted to question MLSS based on the theoretical basis of this new technique. The aim of this study was to investigate at what level the exercise intensity obtained as a result of applying this method (i.e.,  $I_{HIGH}$ ) to the lower boundary corresponds to the MLSS. **Material and Methods:** This study was conducted with well-trained 10 cyclists. Following exhaustive incremental exercises, participants were subjected to a series of constant work-rate exhaustive exercises to determine their individual work-rates corresponding to the  $I_{HIGH}$ . Their individual  $I_{HIGH}$  levels were considered as the highest exercise intensity which is still giving peak oxygen consumption ( $\dot{V}O_{2peak}$ ). The MLSS was determined as considering the highest exercise intensity at which the 30<sup>th</sup> and 10<sup>th</sup> minute blood lactate differences, obtained from 30-minute of submaximal exercises performed at different exercise intensities, could be less than  $1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ . Differences between variables were evaluated with paired samples t-test. The effect size (ES) was analysed based on Cohen's d. **Results:** As expected, mean  $\dot{V}O_2$  difference between MLSS and  $I_{HIGH}$  was significantly different ( $55.2\pm 4.50$  vs.  $61.2\pm 5.06 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;  $p=0.000$ ;  $ES=2.17$ ). However, when the MLSS was exceeded 5%, exercising  $\dot{V}O_2$  response could not elicit the  $\dot{V}O_{2peak}$  obtained by the method used to determine the  $I_{HIGH}$  ( $60.6\pm 5.02$  vs.  $56.3\pm 3.42 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;  $p=0.002$ ;  $ES=1.50$ ). **Conclusion:** According to the findings, it was revealed that the procedure used to determine a  $I_{HIGH}$  for the upper bound and predicted  $\dot{V}O_{2peak}$  for the severe exercise domain are not valid when compared to the lower boundary of the same exercise domain (i.e., MLSS).

**Anahtar Kelimeler:** En yüksek yoğunluk; maksimal laktat dengesi;  $VO_{2maks}$ ;  $VO_{2pik}$

**Keywords:** The highest intensity; maximal lactate steady-state;  $VO_{2max}$ ;  $VO_{2peak}$

**Correspondence:** Özgür ÖZKAYA

Ege Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü, Hareket ve Antrenman Bilimleri ABD, İzmir, Türkiye

**E-mail:** ozgur.ozkaya@ege.edu.tr



Peer review under responsibility of Türkiye Klinikleri Journal of Sports Sciences.

**Received:** 22 Aug 2022

**Accepted:** 01 Dec 2022

**Available online:** 05 Dec 2022

2146-8885 / Copyright © 2023 by Türkiye Klinikleri. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Maksimal laktat dengesi (MLD), sabit şiddetli bir egzersize cevaben, zamana göre alınan kan laktatı yanıtlarında üretim/eliminasyon dengesinin korunabildiği en yüksek egzersiz şiddetini verir. Burada denge, dakikada  $0,05 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 'den daha düşük bir kan laktatı artışı olarak kabul edilir.<sup>1</sup> MLD'nin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan egzersiz süresi 30 dk'dır. Bu egzersizlerde MLD'ye karşılık gelen egzersiz şiddeti, 30 ve 10. dk kan laktatı farklarının  $1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot 20 \text{ dk}^{-1}$ 'den daha düşük olduğu en yüksek egzersiz şiddeti olarak kabul edilir.<sup>2</sup> Dolayısıyla MLD birkaç farklı egzersiz seansıyla ve invaziv yöntemler kullanılarak değerlendirilir.

Şiddetli egzersiz alanının üst sınırı ise günümüze değin ihmal edilmiş bir eşik değerdir. Bu eşığı belirlemenin bir yolu, Caputo ve Denadai tarafından 2008 yılında ortaya atılmıştır.<sup>3</sup> Bu yöntemde göre tükenmeyle sonlanan bir kademeli egzersiz testinden elde edilen en iyi 15 sn'lik  $\dot{V}O_2$  ortalaması, maksimal iş oranı olarak kabul edilir. Devamında bu çalışma oranında, bu düzeyin %5 altında (%95) ve %10 üzerinde (%110) olmak üzere 3 adet sabit yüklü tüketici egzersiz daha gerçekleştirilir. Bu yöntemde, toplamda 4 teste ait veriden elde edilen en yüksek 15 sn'lik ortalama  $\dot{V}O_2$  değeri, maksimal  $\dot{V}O_2$  ( $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ ) olarak esas alınır. Elde edilen farkların standart sapmasının (Ss)  $\sqrt{2}$ 'ye bölümüyle bir tipik hata değerine (THD) ulaşılır.  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  değerinden THD çıkarılarak, şiddetli egzersiz alanına ait olduğu düşünülen bir pik  $O_2$  kullanım düzeyi ( $\dot{V}O_{2\text{pik}}$ ) elde edilir. Devamında  $\dot{V}O_{2\text{pik}}$  veren en yüksek egzersiz şiddeti (the highest intensity;  $I_{\text{HIGH}}$ ), yine farklı günlerde yapılan sabit yüklü tüketici egzersiz testleriyle bulunur.<sup>3</sup> Burada,  $I_{\text{HIGH}}$ ; " $\dot{V}O_{2\text{pik}}$  veren en yüksek egzersiz şiddeti veya  $\dot{V}O_{2\text{pik}}$  veren en kısa tüketici egzersiz zamanı" olarak esas alınır.

Bu yöntemde doğru bir  $I_{\text{HIGH}}$  belirleyebilmenin yolu, öncesinde doğru bir  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  ve  $\dot{V}O_{2\text{pik}}$  elde edebilmekten geçer. Ancak elde edilen  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  değeri, 4 tüketici testin "ortalaması" üzerinden elde edilen ve bu nedenle de bazı şiddetli egzersizlerde üzerine çıkılabilen bir değerdir. Bu durum, kabul edilen  $\dot{V}O_{2\text{pik}}$  değerinin ve bu yolla elde edilen  $I_{\text{HIGH}}$ 'ın birtakım sorunlar barındırabileceğini akla getirmiştir. Eğer Caputo ve Denadai tarafından ortaya atılan esaslara dayalı olarak hesaplanan  $I_{\text{HIGH}}$  düzeyi, şiddetli egzer-

sizler için geçerli bir üst sınır ise mantıksal bir doğrulama alt sınırı da karşılayabiliyor olmalıdır. Çünkü ağır ve şiddetli egzersiz alanlarının sınırı olarak kabul edilen MLD yükü %5 kadar aşıldığında,  $\text{km}\cdot\text{sa}^{-1}$  ya da W cinsinden en düşük "şiddetli" egzersiz yoğunluğuna ulaşılır (bu çalışmada;  $\text{MLD}+\%5$ ). Bu egzersiz şiddeti bazı araştırma grupları tarafından, şiddetli egzersiz alanına ait en düşük egzersiz yoğunluğu olarak tanımlanmıştır.<sup>4,5</sup> Dolayısıyla  $\text{MLD}+\%5$  egzersizlerinde ulaşılacak  $\dot{V}O_2$  ortalamalarının da  $I_{\text{HIGH}}$  belirlemede hesaplanan  $\dot{V}O_{2\text{pik}}$ 'e eşit olması gerekir. Ancak bu sınıma daha önce hiç yapılmamıştır.

Bu çalışmanın amacı;  $I_{\text{HIGH}}$  belirlemede kullanılan yöntemlerle elde edilen  $\dot{V}O_{2\text{pik}}$  düzeyinin,  $\text{MLD}+\%5$  egzersizlerinde hangi oranda sağlanabildiğini araştırmaktır. Çalışmanın ana hipotezi,  $\text{MLD}+\%5$  egzersizlerinde ulaşılacak  $\dot{V}O_2$  ortalamalarının,  $I_{\text{HIGH}}$  belirlemede hesaplanan  $\dot{V}O_{2\text{pik}}$ 'e oranla düşük olacaktır.

## GEREÇ VE YÖNTEMLER

### ARAŞTIRMA GRUBU

Bu çalışma, Ege Üniversitesi Tıbbi Araştırmalar Etik Kurulu tarafından onaylandı (tarih: 05.06.2018, no: 2017.16-3) ve Helsinki Deklarasyonu prensiplerine uygun olarak gerçekleştirildi. Ayrıca katılımcılara yazılı bilgilendirilmiş gönüllü olur formu verilmeden önce çalışmanın prosedürleri ve riskleriyle ilgili gerekli açıklamalar yapıldı. Çalışmaya iyi antrene 10 erkek bisiklet sporcusu katıldı (yaş:  $21,8\pm 3,77$  yıl; boy:  $181,8\pm 6,43$  cm; vücut kütlesi:  $71,1\pm 8,98$  kg). Çalışmaya katılan sporcuların antrenman yaşı  $\sim 7$  ve haftalık antrenman sıklıkları  $\sim 5$  seanslı. Sirkadiyen değişim etkisini en aza indirmek için testler her bir sporcu için günün aynı zaman diliminde gerçekleştirildi.

### VERİ TOPLAMA ARAÇLARI

Testler, bilgisayar kontrollü elektromanyetik dirençli bisiklet ergometresi (Lode Excalibur Sport, Groningen, Hollanda) ile yapıldı. Katılımcıların solunumsal gaz yanıtları, Innocor marka gaz analizörü (Innocor, Inno-500, Odense, Danimarka) vasıtasıyla değerlendirildi. Kalp atımı sayıları tele-metrik nabız ölçer (Polar RS 400, Polar Electro Oy, Kempele, Finlan-

diya) cihazla kaydedildi. Kan laktatı değerleri steril bir lanset [SteriLance Medical (Suzhou) Inc. Xi-angcheng, Suzhou, Çin] kullanılarak alınan ~20 µL kapiler kan örnekleri hematokrit kapiller tüplere (Biosen C-line, Barleben, Almanya) alındıktan hemen sonra bir laktat analizörü (Biosen C-line, EKF Diagnostics, Barleben, Almanya) kullanılarak değerlendirildi. Çalışmanın performans ölçümleri ise Ege Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi, İklimlendirme Laboratuvarında (20°C sıcaklık, >%20,8 O<sub>2</sub>, <500 ppm CO<sub>2</sub>, %50-60 bağıl nem), kan ölçümleri ise Ege Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi, Biyokimya Laboratuvarında gerçekleştirildi.

## DENEYSEL TASARIM

Öncelikli olarak tüm katılımcılara bir uyum seansı gerçekleştirildi. Bu seanslarda kan alma protokolleri simüle edildi. Katılımcılar, elektromanyetik dirençli bisiklet ergometresine, gaz analizörünün ekipmanlarına ve çalışma ekibine uyum sağlayabilmeleri için submaksimal testlere alındılar. Devamında, her katılımcı kademeli egzersiz testleri yoluyla tüketildi. Sonraki seanslarda, her katılımcı kademeli egzersizlerden elde edilen maksimal çalışma oranı, bu düzeyin %5 (%95) altı ve %10 (%110) üzerinde olmak üzere 3 sabit yüklü tüketici egzersiz daha gerçekleştirdi. Devamında, farklı egzersiz seanslarında,  $\dot{V}O_{2pik}$  düzeyi ve  $I_{HIGH}$ 'ın belirlenmesi için sabit yüklü tüketici egzersizlere devam edildi. Daha sonra yine farklı egzersiz seanslarında katılımcılara 30'ar dk'lık egzersiz protokolleri uygulandı. Bu egzersizlerde MLD iş yükü sorgulandı. Ardından her katılımcı MLD+%5 yükünde tüketildi. Elde edilen verilere dayalı olarak elde edilen  $\dot{V}O_{2pik}$  düzeyinin, MLD+%5 egzersizlerde hangi oranda sağlanabildiği sınıandı. Test seanslarının arasında en az 48 saatlik aralar verildi. Her bir katılımcının tüm egzersiz seansları toplam 3 haftada tamamlandı.

## VERİLERİN TOPLANMASI/İŞLEM YOLU

### Rampa Testi

Sporcular, egzersiz yükünün istemli bitkinliğe ulaşana kadar doğrusal olarak artırıldığı kademeli rampa testlerine alındı. Bu testlerin öncesinde katılımcılar, 4 dk süresince ve yüksüz bir şekilde 70 rpm'de pedal çevirdi. Dört dk'lık sürenin hemen sonunda, yük artışları doğrusal bir şekilde uygulandı. Kademeli eg-

zersiz testlerindeki yük artışları her iki sn'de bir watt (dk'da 30 W) olacak şekilde ayarlandı. Katılımcılardan anaerobik eşik geçildikten sonra 90±10 rpm pedal çevrim hızlarına çıkmaları istendi. Anaerobik eşik dolayları test sırasında  $\dot{V}CO_2$ - $\dot{V}O_2$  ilişkisindeki 2. kırılma esas alınarak değerlendirildi (v-slope). Bu değer aşıldığında, sporculara verilen sözel motivasyon desteği güçlendirilerek bitkinliğe kadar sürdürüldü. Kademeli testler, sporcuların pedal çevrim hızları 10 sn'den uzun süre 80 rpm ve altına düşüldüğünde sonlandırıldı. Testler sırasında her dakikanın sonunda sporcuların algıladıkları zorluk [rating of perceived exertion (RPE)] sorgulandı. Testin doğruluğu, test sonunda sporculardan alınan maksimal kalp atım sayısı yanıtı (220-yaş'a %10'dan daha yakın değer), ≥1,05 solunum değişim katsayısı yanıtı ve RPE'de ≥19 ile değerlendirildi. Kriterlere uymayan testler, devam eden günlerde tekrarlandı. Test seansları sonlandırıldıktan sonra nefesten nefese alınan  $\dot{V}O_2$  yanıtlarındaki en yüksek 15 sn ortalamaları ve bu düzeye karşılık gelen güç üretim düzeyi bulundu.

### Sabit Yüklü Tüketici Maksimal Egzersiz Testleri

Kademeli testten elde edilen en yüksek  $\dot{V}O_2$  yanıtını veren çalışma oranı, bu çalışma oranının %5 (%95) altında ve %10 (%110) üzerinde 3 adet sabit yüklü tüketici egzersiz gerçekleştirilir. Bu testlerde sporcuların pedal çevrim hızları 10 sn'den uzun süre 80 rpm ve altına düştüğünde protokoller sonlandırıldı. Tüm testlerde sporculara güçlü sözel motivasyon desteği verildi. Test seansları sonlandırıldıktan sonra nefesten nefese alınan  $\dot{V}O_2$  yanıtlarındaki en yüksek 15 sn ortalamaları dikkate alındı.

### Şiddetli Egzersiz Alanını Oluşturabilmek İçin Bireysel Bir $\dot{V}O_{2pik}$ Değerlerinin Elde Edilmesi

Kademeli rampa testinde ulaşılan maksimal çalışma oranı (W), bu egzersiz şiddetinin %95'i ve %110'unda tüketici egzersizler uygulandı. Bu egzersizlerden elde edilen  $\dot{V}O_2$  yanıtlarındaki en yüksek 15 sn'lik değerlerin ortalaması her bir katılımcı için bireysel olarak hesaplandı. Rampa testi ve devamında yapılan 3 sabit şiddetli tüketici egzersize ait veriden elde edilen en iyi 15 sn'lik  $\dot{V}O_2$  ortalamalarına ait farkların Ss değeri  $\sqrt{2}$ 'ye bölünerek THD bulundu.<sup>6</sup> Bireysel  $\dot{V}O_{2pik}$  düzeyi 4 teste ait  $\dot{V}O_2$  ortalamasından THD'nin çıkarılmasıyla hesaplandı.<sup>3</sup>

### Şiddetli Egzersiz Alanının Üst Sınırını Veren Egzersiz Şiddetinin Belirlenmesi

Şiddetli egzersiz alanının üst sınırını veren  $I_{HIGH}$  iş oranı, hâlen  $\dot{V}O_{2pik}$  alınabilen en yüksek egzersiz şiddeti ve en kısa egzersiz zamanı test edilerek bulundu. Bu değer elde edilebilmesi için farklı günlerde yapılan sabit şiddetli tüketici egzersizlere, maksimal çalışma oranının %110'undan başlanarak, tükenmeye kadarki herhangi bir zamanda  $\dot{V}O_{2pik}$  elde edilemeye kadar 15 W'lık artışlarla devam edildi.

### Maksimal Laktat Dengesinin Belirlenmesi

İstirahat kan laktatı değerinin analiz edilebilmesi için katılımcılar, testlere başlamadan önce 10 dk hareketsiz bir şekilde oturtuldu. Egzersizler, sporcuların v-slope ile belirlenen solunumsal eşik dolaylarına karşılık gelen çalışma oranları dikkate alınarak yapıldı. İlgili iş oranı ve  $\pm\%5$  W'lık aralıklarla farklı günlerde 30 dk'lık submaksimal testler yapıldı. MLD, bu testlerin 30 ve 10. dk'larında parmak ucundan alınan kan örneklerinden analiz edildi. Bu iş oranı 20 dk'lık egzersiz zamanında kan laktatı farkının  $1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 'den daha az olduğu en yüksek egzersiz şiddeti temel alınarak sorgulandı. Kan örnekleri parmak ucu alkollü bir pamukla silinerek kurulandıktan sonra bir lanset yardımıyla delinerek alınan 20  $\mu\text{L}$  kapiler kanın hematokrit kapiller tüplere aktarılmasıyla toplandı ve elektro-enzimatik usullerle analiz yapan bir analizörde değerlendirildi.

### Şiddetli Egzersiz Alanındaki En Düşük Egzersiz Şiddetinin Belirlenmesi

Bu aşamada, MLD veren egzersiz şiddeti %5 aşılarak tüketici bir test seansı gerçekleştirildi. MLD+%5 egzersiz şiddeti, şiddetli egzersiz alanı içinde o bireye ait en düşük egzersiz yoğunluğu olarak kabul edildi. Bu egzersize ait en yüksek 15 sn'lik  $\dot{V}O_2$  yanıtı kaydedildi.

### İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Sonuçlar SPSS 21,0 (SPSS Inc., Chicago, ABD) paket programı kullanılarak değerlendirildi. Verilerin normal dağılıp dağılmadığı Shapiro-Wilk testi ile sınıandı. Ortalamalar arasındaki farklar, eşleştirilmiş örneklem t-testi ile değerlendirildi. Etki büyüklüğü, Cohen's d'ye göre analiz edildi (1). Cohen'in etki büyüklüğü, önemsiz etki (0-0,2), küçük etki (0,2-0,5), orta etki (0,5-0,8) ve büyük etki (>0,8) olarak kategorize edildi.<sup>7</sup> İstatistiksel anlamlılık düzeyi  $p<0,05$  olarak kabul edildi.

### BULGULAR

Her katılımcı için saptanan bireysel MLD ve MLD+%5 testlerine ait ortalama kan laktatı yanıtları **Tablo 1**'de sunuldu. Ayrıca  $\dot{V}O_{2pik}$ ,  $I_{HIGH}$ , MLD ve MLD+%5 düzeylerine karşılık gelen ortalama güç çıktısı ve  $\dot{V}O_2$  yanıtları **Tablo 2**'de verildi.

**TABLO 1:** MLD ve %5 üzerindeki egzersiz sırasında 10 ve 30. dk'larda elde edilen kan laktatı değerleri ve farklar.

Değişkenler	10. dakika kan laktatı (mmol·L <sup>-1</sup> )	30. dakika kan laktatı (mmol·L <sup>-1</sup> )	Delta kan laktatı (mmol·L <sup>-1</sup> )
MLD	4,28±0,44	5,01±0,56	0,70±0,24
MLD+%5	5,39±0,46	7,44±1,08	2,12±0,99*

\*Delta kan laktatı farkı >1 mmol·L<sup>-1</sup>; MLD: Maksimal laktat dengesi; MLD+%5: MLD'nin %5 üzeri.

**TABLO 2:**  $\dot{V}O_{2pik}$  ve  $I_{HIGH}$  değerleri ile MLD ve MLD+%5 egzersizlerine ait sonuçlar.

Değişkenler	Güç çıktısı (watt)	En yüksek $\dot{V}O_2$ (mL·dk <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup> )
$\dot{V}O_{2pik}$	—	60,6±5,02
$I_{HIGH}$	423±47,2	61,2±5,06
MLD	264±36,8 <sup>a,b</sup>	55,2±4,50 <sup>c</sup>
MLD+%5	279±36,8 <sup>a</sup>	56,3±3,42 <sup>c</sup>

a:  $I_{HIGH}$ 'dan daha düşük; b: MLD+%5'ten daha düşük; c:  $\dot{V}O_{2pik}$  ve  $I_{HIGH}$ 'dan daha düşük;  $\dot{V}O_{2pik}$ : Caputo ve Denadai tarafından ortaya atılan yöntemle belirlenen ve şiddetli egzersiz alanı içinde elde edilecek değer biçilen zirve  $O_2$  kullanımı değeri;  $I_{HIGH}$ : Caputo ve Denadai tarafından belirlenen ve ilgili  $\dot{V}O_{2pik}$  düzeyinin elde edilebileceği en yüksek çalışma yoğunluğu; MLD: Maksimal laktat dengesi; MLD+%5: MLD düzeyi %5 kadar aşıldığında elde edilen egzersiz şiddeti.

Elde edilen bulgulara göre Caputo ve Denadai tarafından önerilen yöntemle hesaplanan  $\dot{V}O_{2pik}$  değeri  $60,60 \pm 5,02 \text{ mL} \cdot \text{dk}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  düzeyine karşılık geldi.<sup>3</sup> Bu veriler ışığında ele alındığında, grubun  $I_{HIGH}$  ortalaması  $423 \pm 47,2 \text{ W}$ 'a ve  $I_{HIGH}$ 'da sürdürülen tüketici bir egzersize karşılık gelen en yüksek 15 sn'lik  $\dot{V}O_2$  ortalaması  $61,21 \pm 5,06 \text{ mL} \cdot \text{dk}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  idi. Diğer yandan, sporcuların  $I_{HIGH}$  egzersizlerindeki tükenme zamanı ortalaması  $2,88 \pm 0,30 \text{ dk}$  olarak bulundu. Ancak hesaplanan  $\dot{V}O_{2pik}$  değeri ile  $MLD + \%5$  egzersizlerine ait en yüksek 15 sn'lik  $\dot{V}O_2$  ortalaması arasındaki fark anlamlıydı ( $p=0,002$ ;  $EB=1,49$ ) ve beklendiği gibi sporcular  $MLD + \%5$  egzersizlerinde bireysel  $\dot{V}O_{2pik}$  değerlerine ulaşamadı.

## TARTIŞMA

Bu çalışmanın ana bulgusu,  $MLD + \%5$  egzersizlerinde elde edilen en yüksek  $\dot{V}O_2$  ortalamasının  $\dot{V}O_{2pik}$ 'e kıyasla anlamlı ölçüde düşük kaldığını ortaya koydu. Çalışmamızdan elde edilen veriler, Caputo ve Denadai tarafından ortaya atılan  $I_{HIGH}$  belirleme yönteminin şiddetli egzersiz alanının alt sınırını başarılı bir şekilde karşılayamadığını gösterdi.<sup>3</sup>

Şiddetli egzersiz alanının üst sınırı oldukça ihmal edilmiş bir eşik değerdir. Bu eşiğin doğru belirlenmesi, özellikle yüksek yoğunluklu interval antrenmanların [high intensity interval training (HIIT)] niteliğinin artırılmasında önemlidir.<sup>3</sup> Çünkü aerobik güç geliştirmede önemli kabul edilen HIIT türlerinin başarısında, egzersizler sırasında  $\dot{V}O_{2pik}$ 'te geçirilen zaman önemli bir kriter olarak değerlendirilir.<sup>8,9</sup> Bireylerin özellikle kısa- (<45 sn) ve orta-HIIT (45 sn ile 2 dk arası) uygulamalarında  $I_{HIGH}$  dolaylarında egzersizler uyguladıkları ve öncelikli hedefin  $\dot{V}O_{2pik}$ 'te geçirilen zaman yoluyla kardiyak gelişim sağlamak olduğu antrenmanlarda,  $I_{HIGH}$ 'ı aşmayı tercih etmeyecekleri düşünülebilir. Doğru bir  $I_{HIGH}$ , maksimal sayılabilecek kadar yüksek bir kalp atım hacmi, yüksek bir kalp atım sayısı ve yine yüksek bir arteriyovenöz  $O_2$  farklı oluşturabilmelidir. Bu nedenle  $I_{HIGH}$ 'ın gerçekten de  $\dot{V}O_{2maks}$ 'tan sayılabilecek  $\dot{V}O_{2pik}$  değerleri doğurabildiğinden emin olmak gerekir.  $I_{HIGH}$  belirlemede yapılan hataya bağlı olarak gerçek üst sınır aşılsa egzersize anaerobik katkı beklenebilir. Üzerine çıkacağından bir  $\dot{V}O_{2pik}$  elde edilemez.

Diğer yandan, hedeflenenin altında kalınan egzersiz şiddetlerinde uygulanan HIIT'lerde ise beklenen egzersiz verimi alınmaz.

Caputo ve Denadai tarafından önerilen  $I_{HIGH}$  belirleme yöntemi bir parça kusurludur.<sup>3</sup> Bu yöntemle göre tükenmeyle sonlanan bir kademeli egzersiz testinden elde edilen en iyi 15 sn'lik  $\dot{V}O_2$  ortalaması, maksimal  $\dot{V}O_2$  iş oranı olarak kabul edilir. Devamında bu çalışma oranının kendisinde (%100), bu düzeyin %5 (%95) altında ve %10 (%110) üzerinde 3 sabit yüklü tüketici egzersiz daha gerçekleştirilir. Bu testlere ait  $\dot{V}O_2$  ortalamalarından yine bu ortalamalara ait  $Ss$  farkı bölü  $\sqrt{2}$  değerinin çıkarılmasıyla bir  $\dot{V}O_{2pik}$  düzeyi hesaplanır. Burada elde edilen  $\dot{V}O_{2pik}$  düzeyi; ulaşılabilecek en yüksek (maksimal) değer olan  $\dot{V}O_{2maks}$ 'dan kabul edilebilecek kadar yüksek bir zirve  $\dot{V}O_2$  yanıtıdır. Ancak burada dikkate alınan  $\dot{V}O_{2maks}$  değeri, bir egzersiz şiddetinden elde edilerek doğrulanmış bir maksimal değer değil, yalnızca bir zirve ya da pik değerdir. Toplamda 4 tüketici egzersizin en yüksek 15 sn'lik "ortalamarı" üzerinden "maksimal" olduğu iddiasıyla hesaplanan bu  $\dot{V}O_2$  değerinden yola çıkarak, matematiksel olarak belirlenen  $\dot{V}O_{2pik}$  ise oldukça problemlili hâle gelir. Nitekim  $MLD + \%5$  egzersizlerinde oluşması beklenen  $\dot{V}O_{2pik}$  yanıtı bu çalışmada elde edilememiştir. Sonuç olarak bu yöntemdeki esas problemin, her sporcu için bir  $\dot{V}O_{2maks}$  değeri açığa çıkarmadaki yaklaşımdan kaynaklandığı iddia edilebilir.

Geçerli bir  $\dot{V}O_{2maks}$  belirleyebilmenin bilinen en doğru yolu, farklı günlerde bitkinlikle sonlanan ve sabit egzersiz şiddetlerinde uygulanan testler yaparak, en yüksek ortalama  $\dot{V}O_2$  düzeyini açığa çıkarmaktır. Bu sayede elde edilecek  $\dot{V}O_{2maks}$  değeri, başka hiçbir egzersiz şiddetiyle sağlanamayacak bir  $\dot{V}O_2$  yanıtı olacaktır.<sup>10</sup> Bu test mantığında bir zirve elde edebilmenin yolu ise maksimal olarak elde edilen değerlerden sayılabilecek ve belirli bir fraksiyona ait değeri hesaplamaktan geçer. Bu aralık %5 olarak kabul edilmiştir.<sup>11-14</sup> Bu yaklaşımda, doğrulama protokolleriyle elde edilen  $\dot{V}O_{2maks}$  değerine %5'ten daha yakın  $\dot{V}O_2$  değerleri  $\dot{V}O_{2pik}$ 'i verir. Söz konusu yaklaşım göz önünde bulundurularak bir üst sınır, ilk kez Ozkaya ve ark. tarafından hesaplanmıştır.<sup>15</sup> Bu yöntemle belirlenen üst sınır, aerobik dayanıklılık geliş-

tirmede kullanılabilir en yüksek oranı, yani aerobik limit gücü (ya da hızı) verir (ALG). Burada ALG, bir  $\dot{V}O_{2pik}$  yanıtı elde edilebilecek en yüksek egzersiz şiddetidir ve ALG'de sürdürülen bir egzersiz “doğrulanmış”  $\dot{V}O_{2maks}$ 'in  $\dot{V}O_2$  cinsinden ~%96 dolaylarında gerçekleştirilir.<sup>15,16</sup>

Çok az sayıda çalışma,  $I_{HIGH}$ 'da uygulanan bir antrenman modelinin egzersiz etkilerine odaklanmıştır.<sup>17-19</sup> Bu çalışmalardan en ilginç olanı, Turnes ve ark. tarafından 2016 yılında rapor edilmiştir.<sup>19</sup> Çalışma 4 hafta süresince 2 farklı HIIT modelinden sağlanan gelişimin  $\dot{V}O_{2pik}$ 'te geçirilen zamana etkilerine odaklanmıştır. Bu HIIT'lerden ilki, sporcuların matematiksel yöntemlerle hesaplanan kritik güç (KG) değerlerinin %5 üzerinde (KG+%5'te, 4×5-dk, 1-dk dinlenmeler (1:0,2) ile), diğeri ise  $I_{HIGH}$ 'da ( $8 \times I_{HIGH}$  tükenme zamanının %60'ı kadar, 1:2) uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre  $\dot{V}O_{2pik}$ 'te geçirilen zaman  $I_{HIGH}$ 'da 120-125 sn ve KG+%5'te ise 20-25 sn olarak bulunmuştur. Ancak sonuçlar oldukça çelişkilidir. Çünkü şiddetli egzersiz alanının en düşük egzersiz yoğunluğu olarak kabul edilen KG+%5'te (2,3) uygulanan bir HIIT seansında,  $\dot{V}O_{2pik}$  yanıtına ulaşılan en yüksek egzersiz şiddeti ve en kısa egzersiz zamanı olan  $I_{HIGH}$ 'a kıyasla  $\dot{V}O_{2pik}$ 'te geçirilen zamana ait daha düşük değerler elde etmek teorik olarak pek mümkün değildir.<sup>4,20</sup> Norouzi ve ark.'nın araştırma bulgularına göre KG+%5 egzersizlerinde ALG'ye kıyasla elde edilen  $\dot{V}O_{2pik}$ 'te zaman geçirme ortalamaları KG+%5 lehine yaklaşık 60-70 sn daha iyidir.<sup>21</sup>

Elde ettiğimiz bulgulara ait bir sınırlılık, çalışmamızda şiddetli egzersiz alanının alt sınırı olarak kabul ettiğimiz MLD'ye ait olabilir. KG ve MLD'nin benzer iş yüklerine karşılık geldiğini gösteren çok sayıda çalışma bulunsun da şiddetli egzersiz alanının alt sınırı olarak kabul edilen bir diğer parametre olan KG'nin MLD'ye ait iş yükünü yüksek tahmin ettiğini gösteren çalışmalar da mevcuttur.<sup>22-28</sup> Bu türden çalışmalardan elde edilen bulgulara göre KG ve MLD'ye karşılık gelen egzersiz şiddetleri arasında %8-15 fark vardır. Diğer yandan, çalışmamızın 2. bir sınırlılığı, yöntemde uygulanan kademeli egzersiz testinin Caputo ve Denadai tarafından ilk orijinal çalışmalarında uyguladıkları gibi üçer dk'lık kademe

artışları içermemesidir.<sup>3</sup> Bu çalışmada uygulanan kademeli test, Caputo ve Denadai'nin uyguladığı gibi tüketici ancak yük artışlarının her iki sn'de bir uygulandığı rampa testidir. Tüketici rampa ve kademeli egzersiz testlerinden elde edilen en yüksek  $\dot{V}O_2$  ortalamalarının çok ciddi oranlarda farklılaşmadığı, ancak rampa testlerinde kullanılan kademelere karşılık gelen  $\dot{V}O_2$  yanıtlarında bir miktar gecikme yaşandığı, bu durumda şayet aerobik ve anaerobik eşiğe ait solunumsal değerlendirmeler yapılacaksa ortalama yanıt zamanı (OYZ) düzeltmesinin yapılmasının yararlı olacağı vurgulanmıştır.<sup>29,30</sup> Ancak OYZ'nin test sonu  $\dot{V}O_{2maks}$  ya da  $\dot{V}O_{2pik}$  değerlerinin elde edilmesinde ne gibi farklılıklar oluşturabileceğine dair bir literatür bilgisi bulunmadığından, bu çalışmadaki verilere OYZ düzeltmesi uygulanmamıştır.

## SONUÇ

Çalışmanın ana bulguları Caputo ve Denadai tarafından önerilen  $I_{HIGH}$  belirleme yöntemindeki problemleri birtakım mantıksal hatayı gözler önüne sermiştir. Söz konusu yöntemle başarılı bir  $I_{HIGH}$  belirleyebilmenin yolu, doğru bir  $\dot{V}O_{2maks}$  ve bu maksimal değer üzerinden hesaplanan doğru bir  $\dot{V}O_{2pik}$  elde etmeye dayanır. Ancak ilgili yöntemle belirlenen  $\dot{V}O_{2pik}$  düzeyi, MLD+%5 egzersizleriyle ulaşılamayan bir değerdir. Bu noktada ya şiddetli egzersiz alanı alt sınırı olarak MLD'yi esas almak ya da şiddetli egzersiz alanının üst sınırı olarak bir  $I_{HIGH}$  belirlemek problemleri görülmektedir. Bu konu üzerinde çokça araştırma yapılabilecek ve elde edilen bulguların etraflıca tartışılması gereken önemli bir konudur. Çünkü başarısız bir  $I_{HIGH}$  tahmini, aşırı egzersiz alanının başlangıcına dair çelişkili bir egzersiz şiddeti işaret edecek ve bu şiddet kullanılarak tasarlanacak antrenman programlarına ait performans verimi bozulacaktır.

### Teşekkür

*Bu araştırmanın bir parçası oldukları için tüm katılımcılara özel teşekkürlerimizi sunarız.*

### Finansal Kaynak

*Bu çalışma sırasında, yapılan araştırma konusu ile ilgili doğrudan bağlantısı bulunan herhangi bir ilaç firmasından, tıbbi alet,*

gereç ve malzeme sağlayan ve/veya üreten bir firma veya herhangi bir ticari firmadan, çalışmanın değerlendirme sürecinde, çalışma ile ilgili verilecek kararı olumsuz etkileyebilecek maddi ve/veya manevi herhangi bir destek alınmamıştır.

### Çıkar Çatışması

Bu çalışma ile ilgili olarak yazarların ve/veya aile bireylerinin çıkar çatışması potansiyeli olabilecek bilimsel ve tıbbi komite üyeliği veya üyeleri ile ilişkisi, danışmanlık, bilirkişilik, herhangi bir firmada çalışma durumu, hissedarlık ve benzer durumları yoktur.

### Yazar Katkıları

**Fikir/Kavram:** Egemen Alp, Refik Çabuk, Özgür Özkaya; **Tasarım:** Egemen Alp, Refik Çabuk, Özgür Özkaya, Hakan As, Görkem Aybars Balci; **Denetleme/Danışmanlık:** Özgür Özkaya; **Veri Toplama ve/veya İşleme:** Egemen Alp, Refik Çabuk, Görkem Aybars Balci; **Analiz ve/veya Yorum:** Özgür Özkaya, Egemen Alp, Refik Çabuk, Hakan As, Görkem Aybars Balci; **Kaynak Taraması:** Egemen Alp, Refik Çabuk, Özgür Özkaya; **Makalenin Yazımı:** Egemen Alp, Refik Çabuk, Hakan As, Görkem Aybars Balci, Özgür Özkaya; **Eleştirel İnceleme:** Özgür Özkaya, Refik Çabuk, Hakan As, Görkem Aybars Balci.

## KAYNAKLAR

1. 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(3):117-30. [Crossref] [PubMed]
2. Beneke R, von Duvillard SP. Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. *Med Sci Sports Exerc.* 1996;28(2):241-6. [Crossref] [PubMed]
3. Caputo F, Denadai BS. The highest intensity and the shortest duration permitting attainment of maximal oxygen uptake during cycling: effects of different methods and aerobic fitness level. *Eur J Appl Physiol.* 2008;103(1):47-57. [Crossref] [PubMed]
4. Hill DW, Poole DC, Smith JC. The relationship between power and the time to achieve.  $VO_{2max}$ . *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(4):709-14. [Crossref] [PubMed]
5. Gaesser GA, Poole DC. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exerc Sport Sci Rev.* 1996;24:35-71. [Crossref] [PubMed]
6. Hopkins WG. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med.* 2000;30(1):1-15. [Crossref] [PubMed]
7. Cohen J. Statistical power analysis. *Current Directions in Psychological Science.* 1992;1:98-101. [Crossref]
8. Midgley AW, Mc Naughton LR. Time at or near  $VO_{2max}$  during continuous and intermittent running. A review with special reference to considerations for the optimisation of training protocols to elicit the longest time at or near  $VO_{2max}$ . *J Sports Med Phys Fitness.* 2006;46(1):1-14. [PubMed]
9. Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Med.* 2013;43(5):313-38. [Crossref] [PubMed]
10. Colakoglu M, Ozkaya O, Balci GA. The importance of the verification phase following an incremental exercise to ensure maximum oxygen consumption. *J Sports Med Phys Fitness.* 2020;60(10):1342-8. [Crossref] [PubMed]
11. Billat VL, Morton RH, Blondel N, Berthoin S, Bocquet V, Koralsztein JP, et al. Oxygen kinetics and modelling of time to exhaustion whilst running at various velocities at maximal oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol.* 2000;82(3):178-87. [Crossref] [PubMed]
12. Black MI, Jones AM, Bailey SJ, Vanhatalo A. Self-pacing increases critical power and improves performance during severe-intensity exercise. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2015;40(7):662-70. [Crossref] [PubMed]
13. de Aguiar RA, Turnes T, de Oliveira Cruz RS, Caputo F. Fast-start strategy increases the time spent above 95 % $VO_{2max}$  during severe-intensity intermittent running exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2013;113(4):941-9. [Crossref] [PubMed]
14. Wakefield BR, Glaister M. Influence of work-interval intensity and duration on time spent at a high percentage of  $VO_{2max}$  during intermittent supramaximal exercise. *J Strength Cond Res.* 2009;23(9):2548-54. [Crossref] [PubMed]
15. Ozkaya O, Balci GA, As H, Cabuk R, Norouzi M. Grey zone: a gap between heavy and severe exercise domain. *J Strength Cond Res.* 2022;36(1):113-20. [Crossref] [PubMed]
16. Özkaya Ö, Balci GA, As H, Cabuk R, Norouzi M. Tek bir seansta zirve oksijen kullanım düzeyini veren en yüksek güç çıktısını tahmin etmenin basit bir yöntemi [A simple method to predict the highest power output to elicit peak oxygen consumption in a single session]. *Spor Bilimleri Dergisi.* 2019;30(4):168-76. [Crossref]
17. Turnes T, de Aguiar RA, de Oliveira Cruz RS, Pereira K, Salvador AF, Caputo F. High-intensity interval training in the boundaries of the severe domain: effects on sprint and endurance performance. *Int J Sports Med.* 2016;37(12):944-51. [Crossref] [PubMed]
18. Turnes T, de Aguiar RA, Cruz RS, Caputo F. Interval training in the boundaries of severe domain: effects on aerobic parameters. *Eur J Appl Physiol.* 2016;116(1):161-9. [Crossref] [PubMed]
19. Turnes T, de Aguiar RA, de Oliveira Cruz RS, Lisboa FD, Pereira KL, Caputo F. Short-term interval training at both lower and higher intensities in the severe exercise domain result in improvements in  $VO_{2}$  on-kinetics. *Eur J Appl Physiol.* 2016;116(10):1975-84. [Crossref] [PubMed]
20. Poole DC, Ward SA, Gardner GW, Whipp BJ. Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics.* 1988;31(9):1265-79. [Crossref] [PubMed]
21. Norouzi M. Maksimal oksijen kullanım düzeyini veren farklı iş yükleriyle yapılan kesintili antrenman modellerinin aerobik güç ve anaerobik kapasite geliştirici etkileri [Doktora tezi]. İzmir: Ege Üniversitesi; 2020. Erişim Tarihi: 01.02.2023 Erişim linki: [Link]
22. Keir DA, Fontana FY, Robertson TC, Murias JM, Paterson DH, Kowalchuk JM. Exercise intensity thresholds: identifying the boundaries of sustainable performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2015;47(9):1932-40. [Crossref] [PubMed]
23. Pallarés JG, Lillo-Bevia JR, Morán-Navarro R, Cerezuela-Espejo V, Mora-Rodríguez R. Time to exhaustion during cycling is not well predicted by critical power calculations. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2020;45(7):753-60. [Crossref] [PubMed]

24. Dekerle J, Baron B, Dupont L, Vanvelcenaher J, Pelayo P. Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *Eur J Appl Physiol.* 2003;89(3-4):281-8. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
25. Jenkins DG, Quigley BM. Blood lactate in trained cyclists during cycle ergometry at critical power. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1990;61(3-4):278-83. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
26. Smith CG, Jones AM. The relationship between critical velocity, maximal lactate steady-state velocity and lactate turnpoint velocity in runners. *Eur J Appl Physiol.* 2001;85(1-2):19-26. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
27. Mattioni Maturana F, Keir DA, McLay KM, Murias JM. Can measures of critical power precisely estimate the maximal metabolic steady-state? *Appl Physiol Nutr Metab.* 2016;41(11):1197-203. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
28. Pringle JS, Jones AM. Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling. *Eur J Appl Physiol.* 2002;88(3):214-26. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
29. Bader DS, Maguire TE, Balady GJ. Comparison of ramp versus step protocols for exercise testing in patients > or = 60 years of age. *Am J Cardiol.* 1999;83(1):11-4. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
30. Boone J, Koppo K, Bouckaert J. The VO<sub>2</sub> response to submaximal ramp cycle exercise: Influence of ramp slope and training status. *Respir Physiol Neurobiol.* 2008;161(3):291-7. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]