

## Alt Maksimum ve Maksimum Egzersiz Testlerinde Oksijen ve Laktat Kinetiği

Seyed Houtan Shahidi<sup>1</sup>

### Özet

Egzersiz yoğunluğuna bağlı olarak oksijen alımı (VO<sub>2</sub>) kinetiğinin özellikleri farklılık gösterir. Egzersiz, belirli bir iş yükünde gerçekleştirildiğinde ve bu iş yükü laktat eşiği (LE) nin altında ise, VO<sub>2</sub> eksponansiyel olarak bir istikrarlı düzeye artar. Bu alan içinde VO<sub>2</sub> artışının iş yüküne göre eğimi veya VO<sub>2</sub> yanıtlarının zaman sabiti iş yükü ile ilişkili bulunmamıştır, bu da VO<sub>2</sub> ve iş yükü arasında lincer dinamik bir ilişki olduğunu göstermektedir. Ancak, fiziksel antrenman, yaş ve patolojik durumlar gibi bazı faktörler, egzersizin başlangıcında VO<sub>2</sub> kinetik yanıtlarını değiştirebilir. Egzersiz VO<sub>2</sub> kinetiği için kontrol mekanizması ile ilgili olarak, iki zıt hipotez öne sürülmüştür. Bunlardan biri, egzersizin başlangıcında VO<sub>2</sub> artış hızının aktif kaslara oksijen taşıma kapasitesi tarafından sınırlı olduğunu öne sürmektedir. Diğeri ise, egzersiz sırasında oksijen kullanımının yeteneğinin artış hızını belirleyen kısıtlayıcı adım olarak hareket ettiğini öne sürmektedir. Bu konu hala tartışılmaktadır. Egzersiz, LE'nin üzerinde bir iş yükünde gerçekleştirildiğinde, VO<sub>2</sub> kinetiği daha karmaşık hale gelir. Birkaç dakika egzersizden sonra ek bir bileşen geliştirilir. Yavaş bileşen, istikrarlı durum VO<sub>2</sub>'ye ulaşma süresini geciktirebilir veya egzersiz yoğunluğuna bağlı olarak VO<sub>2</sub>'yi maksimum seviyeye yönlendirebilir. Bu yavaş bileşenin büyüklüğü ayrıca egzersizin süresine bağlıdır. Ağır egzersiz sırasında VO<sub>2</sub>'nin yavaş bileşeninin olası nedenleri şunları içerir: (i) kan laktat seviyelerinin artışı; (ii) plazma epinefrin (adrenalin) seviyelerinin artışı; (iii) artmış ventilasyon işi; (iv) vücut sıcaklığının yükselmesi; ve (v) tip IIb liflerin devreye alınması. VO<sub>2</sub>'nin yavaş bileşeninin %86'sının egzersiz yapan ekstremitelere atfedilmesi nedeniyle, büyük katkı sağlayan muhtemelen egzersiz yapan kasın kendisi olduğu düşünülmektedir. Yüksek yoğunluklu egzersiz sırasında düşük verimlilikteki tip IIb liflerinin (yavaş bileşende yer alan lifler) artan bir şekilde devreye alınması, egzersizin oksijen maliyetinde artışa neden olabilir. Motor birim devreye alınmasının desenindeki değişiklikler ve dolayısıyla tip IIb liflerinin daha az aktivasyonu, fiziksel antrenman sonrası VO<sub>2</sub>'nin yavaş bileşeninde gözlenen azalmada büyük bir kısmı hesaba katabilir.

1 Dr. Öğr. Üyesi, Faculty of Sports Science, Department of Sports Coaching, Istanbul Gedik University, Istanbul, Turkey. <https://orcid.org/0000-0001-5379-3567>

## Giriş

Fiziksel aktivite, iskelet kaslarının ve kardiyovasküler sistemin aktivitesini artırmak için etkili bir uyarıcıdır. Egzersizin başlangıcında, atmosferden aktif kaslara oksijen taşınması, dokulardaki adenozin trifosfat (ATP) üretimine yanıt olarak artar (Shahidi, Coşkun, & Holway, 2023). Oksijen arzı yetersiz olduğunda, ATP üretimi anaerobik glikoliz'e bağlı hale gelir, bu da laktik asidin oluşmasına neden olur. Kan laktat seviyelerinin artmasıyla ilişkilendirilen yorgunluk giderek gelişir ve iş tolere edilebilirliği azalır (Shahidi, Al-Gburı, Karakas, & Taşkiran, 2023). Ağızdan ölçülen oksijen alımı (VO<sub>2</sub>) 'nin, aktif dokulardaki oksidatif enzim değişikliklerini yansıttığı öne sürülmüştür. Bu nedenle, egzersizin başlangıcında VO<sub>2</sub> yanıtlarının hızı, hem sistemik oksijen (O<sub>2</sub>) taşıma hem de kas metabolizmasının ayarlanmasını yansıtan değerli bir gösterge olarak kabul edilir. Sabit bir yük egzersizi sırasında gaz değişim yanıtlarının üstel doğasının ilk raporundan bu yana, egzersiz VO<sub>2</sub> kinetiği geniş kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Bugüne kadar, farklı yoğunluklardaki egzersiz VO<sub>2</sub> yanıtının karakteri açıkça tanımlanmıştır (Jones & Carter, 2000). Egzersiz VO<sub>2</sub> kinetiğini etkileyen bazı faktörler, fiziksel antrenman, yaş ve hastalıklar da araştırılmıştır. Ancak, kontrol mekanizması gibi bazı sorular hala tartışma konusudur. Tıbbi terminolojide fizyolojik değerlendirme, insan vücudunun işleyiş durumunun incelenmesi anlamına gelir (Tan et al., 2023). Bu nedenle, egzersiz bilimi terminolojisinde fizyolojik değerlendirme, vücudun çeşitli fizyolojik sistemlerinin egzersize nasıl tepki verdiğinin ve uyum sağladığının araştırılması olarak tanımlanabilir. Sporcular tarafından sürekli performans geliştirme çabası, sporcuların antrenmanlarını optimize edecek mekanizmaların tanınması ihtiyacını vurgulamaktadır. Fizyolojik değerlendirmeler çeşitli nedenlerle yapılabilirken, bunların kullanımı için yaygın olarak belirtilen gerekçeler arasında sporcunun güçlü ve zayıf yönlerinin değerlendirilmesi yer almaktadır. Bu tür bilgiler daha sonra bireyselleştirilmiş optimum antrenman yoğunluklarının reçetelenmesi de dahil olmak üzere antrenman programı tasarımını bilgilendirebilir. Bir sporcunun fizyolojik değerlendirmesi, performansın gelişip gelişmediğini ve ilgili fizyolojik adaptasyonların gerçekleşip gerçekleşmediğini anlamak için antrenman programlarının etkinliğini izlemek ve değerlendirmek için de yararlı olabilir (Poole, Wilkerson, & Jones, 2008). Ayrıca, bir sporcu için fizyolojik testin ek bir faydasının da, programlarına dahil edilen düzenli test olasılığının, genellikle bir antrenman döngüsü sırasında daha fazla motivasyon etkisi yaratabileceği öne sürülmüştür. Bir performans testindeki biyolojik hata kaynaklarının etkisini en aza indirmek için, tüm tekrar ziyaretlerinden önce tutarlı bir test öncesi rutini önemlidir. Mümkünse, sporcular performans testinden önceki 24 saat içinde antrenman seanslarının

zamanını ve türünü standartlaştırmalıdır. İdeal olarak bu zaman aralığındaki antrenman hafif toparlanma tipi antrenman olmalıdır. Sporcular testten önceki günlerde diyetlerinde köklü değişiklikler yapmaktan kaçınmalıdır ve genellikle testten önceki üç saat içinde hiçbir şey yememeleri tavsiye edilir. Bununla birlikte, sporcuların testten önceki 12 saat içinde yeterli sıvı tüketmeleri önemlidir. Orta ve uzun mesafe koşucuları ile çalışırken ayakkabılar önemli bir husus haline gelir. Farklı kütlelerdeki ayakkabılar sporcunun ekonomisini etkileyebilir, dolayısıyla koşu sırasında oksijen maliyetini etkileyebilir. Sonuç olarak, sporculara her test seansı için aynı (veya benzer) ayakkabı türünü giymeleri tavsiye edilmelidir. Tekrarlanan test ziyaretlerinde koşulları standartlaştırmak (mümkün olduğunca) amacıyla çevresel koşullar kaydedilmelidir. Son olarak, bir sporcunun test protokollerine aşına olması, performansının tekrarlanabilirliğini etkileyecektir. Bu nedenle, test performanslarını kaydetmeden önce bir alıştırmaya seansı/seansları düşünülmelidir (Poole & Jones, 2012).

### Laboratuvar tabanlı testler

Bir sporcu için fizyolojik bir değerlendirme yapılırken, laboratuvar tabanlı testler daha yüksek bir hassasiyet düzeyi sağlama fırsatı sunar. Çevresel koşullar kontrol edilebilir ve tekrarlanabilirken, kalibre edilmiş koşu bantları her ziyarette tutarlı bir hız sunar. Sonuç olarak, laboratuvar temelli fizyolojik değerlendirmelerin tekrarlanabilirliği yüksek olma potansiyeline sahiptir ve bu tür testlerin sporcuların performansındaki küçük değişiklikleri tespit etme hassasiyetini artırır (Jones & Poole, 2013). Tipik olarak, orta ve uzun mesafe koşucuları ile tekrarlanan fizyolojik değerlendirmeler, bir sporcunun mevsimsel antrenman ve yarışma programındaki önemli geçişlere karşılık gelecek şekilde, tipik olarak Ekim, Ocak, Nisan ve Temmuz aylarında olmak üzere yaklaşık 3 ayda bir planlanır. Bununla birlikte, saha tabanlı test protokollerinin geliştirilmesiyle, bir antrenman döngüsü içinde daha sık test noktaları için fırsat bulunmaktadır.

### Laboratuvar temelli fizyolojik değerlendirme:

Orta ve uzun mesafe koşu performansını etkileyen çok çeşitli laboratuvar temelli fizyolojik parametreler için değerlendirme seçenekleri mevcuttur. Bu bölümde, mesafe koşu performansında sporcular arasındaki farklılıkları açıkladığı gösterilen üç temel belirleyiciye odaklanılacaktır; Maksimal oksijen alımı ( $VO_{2max}$ ), koşu ekonomisi (RE) ve laktat eşiği (LT).  $VO_{2max}$ , bir bireyin maksimum aerobik enerji harcama oranını karakterize eder. RE, belirli bir mutlak egzersiz yoğunluğunda gereken oksijen alımını, örneğin bir sporcunun  $16 \text{ kmh}^{-1}$  hızında koşması için gereken oksijen alımını

tanımlar.  $VO_{2max}$  ve RE'nin fonksiyonu  $VO_{2max}$  ( $vVO_{2max}$ ) ile ilişkili hızı oluşturur. LT, bilimsel ve atletik spor toplulukları için bazı karışıklıklar yaratabilecek çok sayıda tanımlı olan bir parametredir. En basit haliyle, LT burada kan laktatında dinlenme seviyelerinin üzerindeki ilk artışa karşılık gelen egzersiz yoğunluğu olarak tanımlanmaktadır. Bu test,  $VO_{2max}$ , RE, LT ve  $v-VO_{2max}$ 'ın aynı test protokolü içinde ölçülmesini ve kaydedilmesini sağlama avantajına sahiptir. Sporculara, tipik bir antrenman seansından önce kullandıkları ısınma rutinini yakından taklit etmesi gereken, kendi seçtikleri bir ısınmayı tamamlamaları için zaman tanınmalıdır. Testten önce sporcunun vücut kütlesi ve boyu kaydedilmeli ve istirahat kan laktat konsantrasyonunu belirlemek için parmak ucu kılcal kan örneği alınmalıdır (Poole et al., 2008).



### Submaksimal test

İlk bölüm, %1'lik bir koşu bandı eğimi kullanılarak yapılan bir submaksimal testtir. Testin bu aşaması için başlangıç koşu bandı hızı, testin submaksimal aşaması sırasında 5 ila 9 aşamayı tamamlamak amacıyla mevcut kondisyon seviyelerine göre her sporcu için ayrı ayrı kararlaştırılmalıdır. Tipik olarak, testin sondan bir önceki aşaması genellikle sporcunun 60 dakikalık zorlu bir koşu sırasında tutabileceğine eşdeğer bir hıza eşittir. Bu nedenle, sondan bir önceki aşamanın hızı, sporcunun yeteneğine bağlı olarak 10 mil veya yarı maraton yarış temposuna yakın olabilir (Jones & Doust, 1996). Testin her aşaması 4 dakika sürmelidir, ancak yüksek antrenmanlı sporcularda, her aşamada sabit oksijen tüketimi durumuna ulaşmak için daha hızlı bir süre olması nedeniyle 3 dakikalık aşamaların uygun olduğu öne sürülmüştür. Koşu bandı hızı her etabın sonunda 1,0 km.h artırılmalıdır, ancak LT belirleme hassasiyetinin artırılması için 0,5 km.h'lik artışlar uygun olabilir. Her etabın son 30 saniyesindeki ortalama kalp atış hızı kaydedilmelidir. Her 4 dakikalık etabın sonunda kılcal kan alınır ve gerekirse Borg 6-20 ölçeği kullanılarak algılanan efor seviyesi belirlenir. Sub-maksimal test, kan laktatında ikinci bir kırılma noktası gözlemlendiğinde sonlandırılmalıdır (aşağıdaki yorumlama bölümüne bakınız). Tipik olarak, katılımcının kan laktat konsantrasyonu  $4,0 \text{ mmol.l}^{-1}$  değerini aştığında bu değer elde edilmiş olacaktır. Test boyunca sporcunun soluduğu gazların nefes nefese sürekli ölçümü yapılmalıdır. Sporcu koşu bandı testinin ikinci aşamasına geçmeden önce, submaksimal testin sona ermesini takiben 10-15 dakikalık aktif bir toparlanma süreci yaşanmalıdır (Burnley, Jones, Carter, & Doust, 2000).

### Maksimal test

Testin ikinci aşaması  $\text{VO}_2\text{max}$  ve  $\text{VO}_2\text{max}$  hızını ( $v\text{-VO}_2\text{max}$ ) belirlemek için kullanılır. Bu test %1'lik bir eğimde ve katılımcının testin ilk aşamasını bitirdiği hızın 2,0 km.s altında bir hızda başlatılmalıdır. Koşu bandı hızı testin bu aşaması boyunca sabit kalmalı ve koşu bandı eğimi katılımcı istemli tükenmeye ulaşana kadar her dakika %1 artırılmalıdır. Test boyunca sporcunun soluduğu gazlar nefes nefese sürekli olarak ölçülmeli ve test sonlandırıldığında maksimum kalp atış hızı kaydedilmelidir (Mezzani et al., 2013).

### $\text{VO}_2\text{max}$

$\text{VO}_2\text{max}$ 'ın hesaplanması için çeşitli yöntemler önerilmiştir, ancak nefes nefese sonlanan hava analizi kullanıldığında, basit bir yöntem, 1 dakikalık ortalama kullanılarak test sırasında elde edilen en yüksek  $\text{VO}_2$ 'yi rapor etmektir.  $\text{VO}_2\text{max}$  için mutlak değerler  $\text{L.min}^{-1}$  biriminde rapor edilir, ancak

performans ölçümleri vücut boyutundan etkilendiğinden, mutlak değerler ölçeklendirilmiş bir ayarlaması yaygındır. Geleneksel olarak  $VO_{2max}$ ,  $mL.kg^{-1} .min^{-1}$  biriminde tüm vücut kütlelerine ölçeklendirilir ve farklı sporcular arasında  $VO_{2max}$  karşılaştırması için faydalı bir yöntem sağlar (Poole et al., 2008). Yüksek düzeyde antrenmanlı koşucularda,  $VO_{2max}$ 'ın sonunda stabilize olacağı ve daha fazla performans artışının RE ve LT'nin sürekli gelişimine atfedileceği öne sürülmüştür. Örneğin, Billat ve arkadaşları (1999) yüksek antrenmanlı bir grup mesafe koşucusunda (ortalama  $VO_{2max} >70 mL.kg.dk^{-1}$ ) 9 haftalık bir dayanıklılık antrenmanının ardından  $VO_{2max}$  değerinde bir değişiklik olmadığını bildirmiştir. Ayrıca, Martin ve arkadaşları (1986) dokuz yüksek antrenmanlı erkek mesafe koşucusunu (ortalama  $VO_{2max} >70 mL.kg.min^{-1}$ ) 30 aylık bir süre boyunca Olimpiyat denemelerine hazırlanırken değerlendirmiştir. Tekrarlanan on koşu bandı testinde, veriler bu izleme süresi boyunca  $VO_{2max}$ 'ta önemli bir değişiklik olmadığını, anaerobik eşiğin ise %5,6 oranında arttığını vurgulamıştır. Buna ek olarak, Jones (1998) dünya standartlarında bir kadın mesafe koşucusunda 5 yıllık bir izleme dönemi boyunca  $VO_{2max}$ 'ta artış olmadığını (aslında hafif bir düşüş olduğunu) bildirmiştir. (Jones & Carter, 2000; Jones & Doust, 1996).

### **koşu ekonomisi (RE )**

Koşu bandı testinden elde edilen oksijen maliyetinin belirli bir hızda rapor edilmesi, farklı yaş ve yeteneklere sahip sporcular arasında adil bir karşılaştırma sağlamayabilir, bu nedenle RE'nin koşu bandı testinin ilk aşamasında kullanılan submaksimal hız aralığı üzerinden, her bir sabit durum aşamasının son dakikası için ortalama  $VO_2$  ( $ml.kg^{-1}.dak^{-1}$ ) kaydedilerek hesaplanması faydalı olabilir (Midgley, McNaughton, & Jones, 2007). Alternatif olarak, LT hızında RE'nin raporlanması faydalı karşılaştırmalar sağlayabilir. Farklı yetenek seviyelerindeki erkek ve kadın koşucular için kapsamlı normatif koşu ekonomisi verileri sağlamaktadır. Bu veriler şunları bildirmektedir: Rekreatif eğitim almış koşucular  $12 km.h^{-1}$  adresinde, erkekler için ortalama  $42,2 ml.kg^{-1}.dak^{-1}$  (aralık 40,4-45,3) ve kadınlar için ortalama  $43,2 ml.kg^{-1}.dak^{-1}$  (aralık 38,5-48,1) RE bildirmiştir.

Orta düzeyde antrenmanlı koşucular  $14 km.h^{-1}$  adresinde erkekler için ortalama  $46,8 ml.kg^{-1}.dak^{-1}$  (aralık 42,0-55,5) ve kadınlar için ortalama  $47,9 ml.kg^{-1}.dak^{-1}$  (aralık 41,3-53,5) RE bildirmiştir.

Yüksek antrenmanlı koşucular  $16 km.h^{-1}$  adresinde erkekler için ortalama  $50,6 ml.kg^{-1}.dak^{-1}$  (aralık 40,5-66,8) ve kadınlar için ortalama  $54,5 ml.kg^{-1}.dak^{-1}$  (aralık 46,2-61,9) RE bildirmiştir.

RE, seçilen yoğunluktaki ortalama VO<sub>2</sub>'yi aşağıdaki denkleme girerek ml.kg<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup> birimlerinde de rapor edilebilir.

$$RE \text{ (ml.kg}^{-1}\text{.km}^{-1}\text{)} = VO_2 \text{ ml.kg}^{-1} \text{ .dak}^{-1} / (\text{hız km.h}^{-1} / 60)$$

Bu ölçüm birimlerinde RE için normatif veriler Jones (2006) tarafından şu şekilde rapor edilmiştir;

Mükemmel: 170-180 ml.kg<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup>

Çok İyi: 180-190 ml.kg<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup>

Ortalama Üstü: 190-200 ml.kg<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup>

Ortalama Altı: 200-210 ml.kg<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup>

Zayıf: 210-220 ml.kg<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup>

Bir dayanıklılık antrenmanı dönemini takiben RE'deki değişimin derecesi, bireyin başlangıçtaki kondisyon seviyesine bağlı olacaktır ve daha az antrenmanlı bireylerde daha yüksek büyüklükte bir iyileşme için daha büyük bir kapsam olacaktır. Bununla birlikte, uzunlamasına bir dayanıklılık antrenmanı dönemini takiben RE'deki yüksek büyüklükteki iyileşmeler, yüksek antrenmanlı bireylerde hala rapor edilmiştir; Jones (1998), yüksek antrenmanlı bir kadın mesafe koşucusunda 5 yıllık bir dönem boyunca RE'de kademeli bir iyileşme olduğunu ve değerlerin ~200 ml.kg<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup> 'den ~180 ml.kg<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup>'ye yükseldiğini bildirmiştir. Antrenman sonrası RE'deki değişiklikleri inceleyen araştırmaların çoğu nispeten kısa sürelerde (~6-8 hafta) gerçekleştirilmiştir. Zaten antrenmanlı koşucular söz konusu olduğunda, kısa süreli 'normal' dayanıklılık antrenmanının RE üzerinde çok az etkisi olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, daha az antrenmanlı bireylerde kısa süreli antrenman programları ile koşu ekonomisinde iyileşmeler bazen gözlemlenebilir. Yakın tarihli bir çalışmada Jones ve arkadaşları (1999), LT'ye yakın bir hızda sürekli ve aralıklı koşudan oluşan 6 haftalık bir dayanıklılık antrenman programının, rekreasyonel olarak aktif öğrencilerde koşu ekonomisinde önemli bir iyileşmeye neden olduğunu ve değerlerin ~195 ml.kg<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup> 'den ~180 ml.kg<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup> 'ye yükseldiğini bildirmiştir. Halihazırda antrenmanlı koşucularda, RE'de kısa vadeli bir iyileşme sağlamak için tipik antrenmanın üzerinde ek bir uyarana ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Yüksek yoğunluklu aralıklı koşu antrenmanının eklenmesi, 6-8 haftalık bir antrenman dönemi boyunca RE'de ~%3-7 oranında iyileşme göstermiştir. Patlayıcı kuvvet / pliometrik antrenmanın eklenmesinin 6-9 haftalık bir antrenman dönemi boyunca RE'de ~%2-7 iyileşme sağladığı gösterilmiştir (Jones, Carter, & Doust, 1999; Jones & Doust, 1996, 1998).

RE'deki bir iyileşme, herhangi bir egzersiz yoğunluğu için VO<sub>2</sub>max'ın daha düşük bir yüzdesinin kullanılmasıyla sonuçlanacaktır. Bunu bir bağlama oturtmak gerekirse, VO<sub>2</sub>maks değeri 70 mL.kg<sup>-1</sup>.dak<sup>-1</sup> olan ve 16 km.h<sup>-1</sup> hızında koşarken 200 mL.kg<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup> RE gösteren bir sporcu, VO<sub>2</sub>maks değerinin %76'sında çalışıyor olacaktır. Bir eğitim müdahalesinin ardından RE'de %5'lik bir iyileşme, sporcunun artık aynı hızda koşmak için VO<sub>2</sub>max'ının yalnızca %72'sini kullandığı anlamına gelecektir. Ayrıca, oksijen tüketimi doğrudan enerji harcamasıyla ilişkili olduğundan, sporcu bu hızda koşmak için daha az enerjiye ihtiyaç duyacak ve yarışın ilerleyen bölümleri için enerji tasarrufu sağlayacaktır (Mezzani et al., 2013).

### v-VO<sub>2</sub>max

v-VO<sub>2</sub>max, submaksimal egzersiz yoğunluğundaki VO<sub>2</sub> ile VO<sub>2</sub>max arasındaki ilişkiyi tanımlar ve bu ilişkiyi tanımlayan regresyonun çözülmesiyle hesaplanır. Jones (2006) tarafından, daha önce açıklanan koşu bandı testinden v-VO<sub>2</sub>maks değerinin tahmin edilmesini sağlayan basit bir denklem sunulmuştur:

$$v\text{-VO}_2\text{max (km.h)} = (\text{VO}_2\text{max} * 60) / \text{RE}$$

Burada VO<sub>2</sub>max (mL.kg<sup>-1</sup>.dk<sup>-1</sup>), koşu bandı testinin maksimal fazı sırasında 1 dakikalık ortalama kullanılarak elde edilen en yüksek VO<sub>2</sub> olarak hesaplanır. RE (mL.kg<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup>) ise koşu bandı testinin submaksimal fazının her aşamasının son dakikasında elde edilen ortalama VO<sub>2</sub> olarak alınır (bu değer ilk 4-5 aşamanın ortalaması olarak alınır). Önceki bölümde açıklanan ve 70 mL.kg<sup>-1</sup>.dk<sup>-1</sup> VO<sub>2</sub>maks ve 200 mL.kg<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup> RE değerine sahip olduğu bildirilen örnek sporcu kullanılarak, bu sporcu için karşılık gelen v-VO<sub>2</sub>maks değeri 21,0 km.s olarak tahmin edilebilir (Jones, 2006). Yüksek antrenmanlı (ortalama VO<sub>2</sub>max >70 mL.kg<sup>-1</sup>.dk<sup>-1</sup>) erkek orta ve uzun mesafe koşucularından oluşan bir kohorttan elde edilen v-VO<sub>2</sub>max için normatif veriler Galbraith ve arkadaşları (2014a) tarafından bir antrenman yılı boyunca tekrarlanan testlerde ~19-20 km.h<sup>-1</sup> değerleri ile sunulmuştur. Bu durum, yüksek antrenmanlı (VO<sub>2</sub>max ~72 mL.kg<sup>-1</sup>.dk<sup>-1</sup>) erkek orta ve uzun mesafe atletlerinden oluşan küçük bir grupta ortalama v-VO<sub>2</sub>max değerini 21,1±0,8 km.h<sup>-1</sup> olarak bildiren Billat ve arkadaşlarının (1999) verileriyle desteklenmektedir. Kadın sporcularda, Jones (1998) dünya klasmanında bir kadın mesafe koşucusunun beş yıllık vaka çalışması sırasında 20,4 km.h<sup>-1</sup> 'lik bir zirve v-VO<sub>2</sub>max bildirmiştir. Rekreatif sporcularda ise Jones ve arkadaşları (1999) bir grup spor öğrencisinde ~15- 17 km.h<sup>-1</sup> aralığında değerler rapor etmiştir. v-VO<sub>2</sub>max'ın mesafe koşu performansının güçlü bir belirleyicisi olduğu ve özellikle orta mesafe koşularında önemli olduğu



bildirilmiştir (Jones & Carter, 2000; Jones et al., 1999; Jones & Doust, 1998). Buna ek olarak, v-VO<sub>2</sub>maks değerinin VO<sub>2</sub>maks değerindeki gelişmeleri teşvik etmek amacıyla antrenman yapmak için en uygun hızı sağladığı öne sürülmüştür. VO<sub>2</sub>max'ta antrenman kaynaklı gelişmeler, VO<sub>2</sub>max'ın belirli bir yüzdesinin daha hızlı bir koşu hızıyla ilişkilendirilmesine neden olacaktır. Bu nedenle, örneğin 3000 metrelik bir yarış, bir sporcunun VO<sub>2</sub>max'ının ~%100'ünde koşmasını gerektirdiğinden, v-VO<sub>2</sub>max'taki iyileşme ile yarış hızındaki artış arasındaki bağlantı belirgin hale gelir. Tamamen matematiksel bir örnekle, v-VO<sub>2</sub>max değerinin 19.0'dan 19.2'ye çıkması (%1'lik bir iyileşme), 3000 metre süresinde teorik olarak ~5 saniyelik bir iyileşmeye yol açacaktır. Bir dayanıklılık antrenmanı dönemini takiben v-VO<sub>2</sub>max'taki değişimin derecesi, bireyin başlangıçtaki kondisyon seviyesine bağlı olacaktır ve daha az antrenmanlı bireylerde daha yüksek büyüklükte bir iyileşme için daha büyük bir kapsam olacaktır. Yüksek antrenmanlı sporcularda kısa ve uzun süreli antrenman programları için sırasıyla ~%3-7'lik iyileşmeler rapor edilmiştir. Jones ve arkadaşları (1999), rekreasyonel olarak daha fazla antrenman yapan sporcularda 6 haftalık bir antrenman döneminin ardından ~%9'luk bir artış rapor etmiştir (Jones, 1998, 2006; Jones et al., 1999; Poole & Jones, 2012).

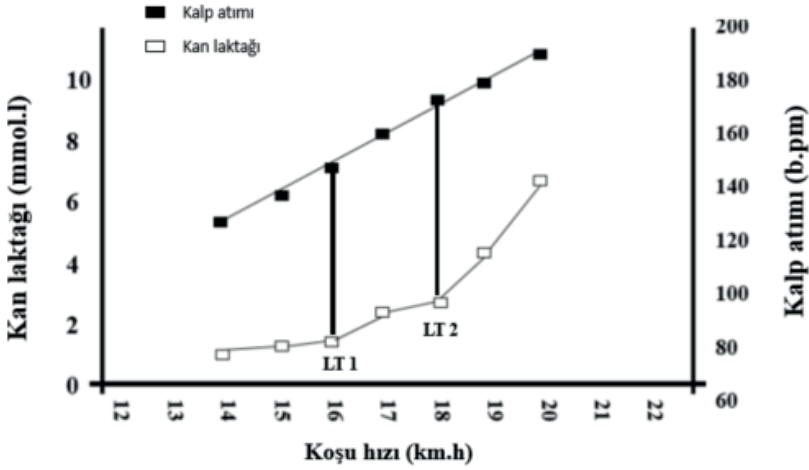
### Laktat Eşiği (LT)

LT, bilimsel ve atletik spor toplulukları için bazı karışıklıklar yaratabilecek çok sayıda tanıma sahip bir parametredir. Bu alandaki araştırmaların gözden geçirildiği bir çalışmada Faude ve arkadaşları (2009) yayınlanmış literatürde 25 farklı KT kavramı tespit etmiştir. Yaygın olarak iki eşik (kırılma noktası) kullanılmaktadır (Şekil 1); bunlar teorik olarak koşu bandı testinin submaksimal fazı sırasında elde edilen koşu hızına (x eksenini) karşı kan laktat (y eksenini) verilerinin grafiğinden belirlenebilir. Bununla birlikte, pratikte bu yöntemlerle belirlenen LT değerlerinde farklı gözlemciler tarafından bildirilen farklılıklar nedeniyle bu durum sorunlu olabilir (Jones, 1998, 2006; Jones & Doust, 1998).



Laktat Eşiği: En basit ifadeyle, 1. (veya aerobik) LT (Şekil 1'de LT1 olarak tanımlanmıştır), kan laktatında başlangıç seviyelerinin üzerindeki ilk artışa karşılık gelen egzersiz yoğunluğu (koşu hızı) olarak tanımlanır. Değerlendirmeye nesnellik katmak amacıyla, LT genellikle  $2 \text{ mmol.L}^{-1}$  gibi sabit bir kan laktat seviyesiyle ilişkili egzersiz yoğunluğu olarak tanımlanır veya kan laktatında başlangıç değerlerinin üzerinde sabit bir artışa neden olan egzersiz yoğunluğu olarak tanımlanır, örneğin kan laktat konsantrasyonunda başlangıç değerinin üzerinde  $1 \text{ mmol.L}^{-1}$  artış (Spencer, Murias, & Paterson, 2012; Winkert, Kirsten, Kamnig, Steinacker, & Treff, 2021).

Maksimal Kararlı Durum: 2. (veya anaerobik) LT, kan laktatında ani ve sürekli bir artışın gözlemlendiği koşu hızı olarak tanımlanmıştır. Bu nokta LT1 ile VO2max arasında bir yerde yer alır ve kan laktatı ile koşu hızı ilişkisi çizilirken görülen ikinci kırılma noktası olarak tanımlanır (Şekil 1'de LT2 olarak tanımlanmıştır). Bu eşiği belirlemek için genellikle 4 mmol.L<sup>-1</sup>'lik sabit bir kan laktat seviyesi de uygulanır (Keir, Murias, Paterson, & Kowalchuk, 2014; Murias, Kowalchuk, & Paterson, 2010).



Şekil 1: Submaksimal koşu bandı testinden örnek kan laktat ve kalp atış hızı verileri.

LT'deki egzersiz yoğunluğu tipik olarak koşu hızı (km.h<sup>-1</sup>) veya koşu temposu (dk:mil veya dk:km) olarak rapor edilir. Buna ek olarak, bu hızda/ tempoda egzersiz yapmak için gereken kalp atış hızını dakika başına atım (b.min<sup>-1</sup>) olarak bildirmek de faydalıdır. Jones (1998) kadın atletlerde, dünya klasmanında bir kadın mesafe koşucusunun beş yıllık vaka çalışması sırasında 15,0 (6:26 dk:mil) ile 18,0 km.h<sup>-1</sup> (5:22 dk:mil) arasında değişen LT (kan laktatının koşu hızına karşı grafiğinden elde edilen kan laktatında net bir eşik artışı) değerleri bildirmiştir. Rekreatif sporcularda ise Jones ve arkadaşları (1999) bir grup spor öğrencisinde 11.2±1.8 km.h<sup>-1</sup> (8:37 dk:mil) LT (koşu hızına karşı kan laktat grafiğinden kan laktatında net bir eşik artışı) değerleri bildirmiştir. LT'nin daha yüksek bir koşu hızına doğru sağa kayması, başarılı dayanıklılık antrenman programlarının karakteristik özelliğidir. Kan laktatına karşı koşu hızı ilişkisindeki bu sağa doğru kayma (Şekil 1'deki soluk noktalı çizgi), belirli bir kan laktat seviyesinde daha yüksek bir koşu hızının sürdürülebilmesini sağlar. Bir dayanıklılık antrenmanı dönemini takiben LT'deki değişimin derecesi, bireyin başlangıçtaki kondisyon seviyesine bağlı

olacaktır ve daha az antrenmanlı bireylerde daha yüksek büyüklükte bir iyileşme için daha büyük bir kapsam olacaktır. Bununla birlikte, uzunlamasına bir dayanıklılık antrenmanı dönemini takiben LT1'deki yüksek büyüklükteki gelişmeler, yüksek antrenmanlı bireylerde hala rapor edilmiştir; Jones (1998), dünya standartlarında bir kadın mesafe koşucusunda beş yıllık bir izleme dönemi boyunca LT1'de %20'lik bir gelişme olduğunu bildirmiştir. Buna karşın, Galbraith ve arkadaşları (2014a) yüksek düzeyde antrenmanlı (ortalama  $VO_{2max} > 70 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ ) bir grup erkek orta ve uzun mesafe koşucusunda bir antrenman yılı boyunca LT1'de çok az değişiklik (<%1) rapor etmiştir. Bununla birlikte, bir grup antrenmanlı (ortalama  $VO_{2max} 65,9 \pm 4,2 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ ) erkek genç mesafe koşucusunda, Tanaka ve arkadaşları (1984) sezon öncesinden sezon sonrasına kadar LT1'de ~%2'lik bir artış bildirmiştir. Jones ve arkadaşları (1999), daha rekreasyonel olarak antrenman yapan sporcularda, bir grup spor öğrencisinde ( $VO_{2max} \sim 50 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ ) 6 haftalık sürekli ve aralıklı koşu antrenmanının ardından LT'de ~%6,5'lik bir artış rapor etmiştir. LT2'de antrenman kaynaklı iyileşmeler de bildirilmiştir (Bailey et al., 2009; Burnley & Jones, 2007; Carter et al., 2000; Jones, 1998, 2006; Jones & Carter, 2000; Jones & Doust, 1996; Jones & Poole, 2013; Midgley et al., 2007; Vanhatalo et al., 2010).

Jones (2006) LT1'deki hızın bir Maraton boyunca sürdürülebilecek hız ile yakından ilişkili olduğunu, LT2'deki hızın ise yüksek antrenmanlı koşucularda ~60 dakika boyunca sürdürülebildiğini, dolayısıyla 10 mil ila yarı Maraton mesafelerinde sürdürülebilecek hız ile yakından ilişkili olabileceğini öne sürmektedir (Jones, 2006).

Koşu bandı testinden elde edilen LT verileri, sporcular için antrenman seanslarının tasarlanmasında da faydalı bir uygulamaya sahiptir. LT'deki hız ve bu hız ile ilişkili kalp atış hızı, çeşitli egzersiz yoğunluğu bölgeleri arasındaki geçiş noktalarını belirlemede faydalıdır (Şekil 1). Örneğin, LT1'in altındaki hızlar/kalp atış hızları kolay veya 'toparlanma' antrenman koşuları için faydalı yoğunluklar sağlayabilir. LT1 ve LT2 arasındaki hızlar/kalp atış hızları 'sabit' koşu seansları için faydalı yoğunluklar sağlayabilirken, LT2'nin üzerindeki hızlar/kalp atış hızları daha 'tempo' hızında ayarlanan antrenman koşuları için faydalı yoğunluklar sağlayabilir (Jones & Poole, 2013; Keir et al., 2014; Keir, Paterson, Kowalchuk, & Murias, 2018; Mezzani et al., 2013; Midgley et al., 2007). LT'de antrenman yapmak aerobik bir antrenman uyarını sağlarken, kan laktat seviyelerinin düşük kalmasını sağlayarak yüksek kilometre koşularının bu yoğunlukta yapılmasına olanak tanır. Genel olarak, LT'ye yakın veya LT'nin biraz üzerindeki yoğunluklarda antrenman yapmanın LT'deki gelişmeleri teşvik etmek için önemli olduğu görülmektedir (Burnley & Jones, 2007; Jones, 1998; Pringle et al., 2003).

## Kaynaklar

- Bailey, S. J., Winyard, P., Vanhatalo, A., Blackwell, J. R., DiMenna, F. J., Wilkerson, D. P., . . . Jones, A. M. (2009). Dietary nitrate supplementation reduces the O<sub>2</sub> cost of low-intensity exercise and enhances tolerance to high-intensity exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*.
- Burnley, M., & Jones, A. M. (2007). Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. *European journal of sport science*, 7(2), 63-79.
- Burnley, M., Jones, A. M., Carter, H., & Doust, J. H. (2000). Effects of prior heavy exercise on phase II pulmonary oxygen uptake kinetics during heavy exercise. *Journal of Applied Physiology*, 89(4), 1387-1396.
- Carter, H., Jones, A. M., Barstow, T. J., Burnley, M., Williams, C. A., & Doust, J. H. (2000). Oxygen uptake kinetics in treadmill running and cycle ergometry: a comparison. *Journal of Applied Physiology*, 89(3), 899-907.
- Jones, A. M. (1998). A five year physiological case study of an Olympic runner. *British Journal of Sports Medicine*, 32(1), 39-43.
- Jones, A. M. (2006). The physiology of the world record holder for the women's marathon. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 1(2), 101-116.
- Jones, A. M., & Carter, H. (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Medicine*, 29, 373-386.
- Jones, A. M., Carter, H., & Doust, J. H. (1999). A disproportionate increase in VO<sub>2</sub> coincident with lactate threshold during treadmill exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(9), 1299-1306.
- Jones, A. M., & Doust, J. H. (1996). A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. *Journal of Sports Sciences*, 14(4), 321-327.
- Jones, A. M., & Doust, J. H. (1998). The validity of the lactate minimum test for determination of the maximal lactate steady state. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(8), 1304-1313.
- Jones, A. M., & Poole, D. C. (2013). *Oxygen uptake kinetics in sport, exercise and medicine*: Routledge.
- Keir, D. A., Murias, J. M., Paterson, D. H., & Kowalchuk, J. M. (2014). Breath-by-breath pulmonary O<sub>2</sub> uptake kinetics: effect of data processing on confidence in estimating model parameters. *Experimental Physiology*, 99(11), 1511-1522.
- Keir, D. A., Paterson, D. H., Kowalchuk, J. M., & Murias, J. M. (2018). Using ramp-incremental V̇O<sub>2</sub> responses for constant-intensity exercise selection. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 43(9), 882-892.
- Mezzani, A., Hamm, L. F., Jones, A. M., McBride, P. E., Moholdt, T., Stone, J. A., . . . Williams, M. A. (2013). Aerobic exercise intensity assessment and prescription in cardiac rehabilitation: a joint position statement of the European Association for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation,

- the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation and the Canadian Association of Cardiac Rehabilitation. *European journal of preventive cardiology*, 20(3), 442-467.
- Midgley, A. W., McNaughton, L. R., & Jones, A. M. (2007). Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance: can valid recommendations be given to runners and coaches based on current scientific knowledge? *Sports Medicine*, 37, 857-880.
- Murias, J. M., Kowalchuk, J. M., & Paterson, D. H. (2010). Speeding of VO<sub>2</sub> kinetics with endurance training in old and young men is associated with improved matching of local O<sub>2</sub> delivery to muscle O<sub>2</sub> utilization. *Journal of Applied Physiology*, 108(4), 913-922.
- Poole, D. C., & Jones, A. M. (2012). Oxygen uptake kinetics. *Compr Physiol*, 2(2), 933-996.
- Poole, D. C., Wilkerson, D. P., & Jones, A. M. (2008). Validity of criteria for establishing maximal O<sub>2</sub> uptake during ramp exercise tests. *European Journal of Applied Physiology*, 102(4), 403-410.
- Pringle, J. S., Doust, J. H., Carter, H., Tolfrey, K., Campbell, I. T., & Jones, A. M. (2003). Oxygen uptake kinetics during moderate, heavy and severe intensity submaximal exercise in humans: the influence of muscle fibre type and capillarisation. *European Journal of Applied Physiology*, 89, 289-300.
- Shahidi, S. H., Al-Gburi, A. H., Karakas, S., & Taşkıran, M. Y. (2023). Anthropometric and Physical Performance Characteristics of Swimmers. *International Journal of Kinanthropometry*, 3(1), 1-9.
- Shahidi, S. H., Coşkun, G., & Holway, F. E. (2023). Investigation of Oxygen Uptake Kinetics and Anthropometric Profiles in Elite Kickboxing Athletes. *International Journal of Kinanthropometry*, 3(2), 1-8.
- Spencer, M. D., Murias, J. M., & Paterson, D. H. (2012). Characterizing the profile of muscle deoxygenation during ramp incremental exercise in young men. *European Journal of Applied Physiology*, 112, 3349-3360.
- Tan, R., Black, M., Home, J., Blackwell, J., Clark, I., Wylie, L., . . . Jones, A. M. (2023). Physiological and performance effects of dietary nitrate and N-acetylcysteine supplementation during prolonged heavy-intensity cycling. *Journal of Sports Sciences*, 1-10.
- Vanhatalo, A., Bailey, S. J., Blackwell, J. R., DiMenna, F. J., Pavey, T. G., Wilkerson, D. P., . . . Jones, A. M. (2010). Acute and chronic effects of dietary nitrate supplementation on blood pressure and the physiological responses to moderate-intensity and incremental exercise. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*.
- Winkert, K., Kirsten, J., Kamnig, R., Steinacker, J. M., & Treff, G. (2021). Differences in V O<sub>2</sub>max measurements between breath-by-breath and mixing-chamber mode in the COSMED K5. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(9), 1335-1340.