

PAPER DETAILS

TITLE: Farkli Tükenme Aralıkları ve Matematiksel Model Kullanımının Kritik Güç Tahminlerine Etkisi

AUTHORS: Mahdi NOROUZI, Refik ÇABUK, Görkem Aybars BALCI, Hakan AS, Özgür ÖZKAYA

PAGES: 151-166

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1745679>

Farklı Tükenme Aralıkları ve Matematiksel Model Kullanımının Kritik Güç Tahminlerine Etkisi

The Effect of Using Different Exhaustion Intervals and Mathematical Models on Critical Power Estimations

¹Mahdi NOROUZİ

²Refik ÇABUK

³Görkem Aybars BALCI

¹Hakan AS

³Özgür ÖZKAYA

¹Ege Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi

²Bayburt Üniversitesi, Beden Eğitimi ve Spor Yüksek Okulu

³Ege Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi

Yazışma Adresi

Corresponding Address:

Prof. Dr. Özgür Özkaya

ORCID No: 0000-0003-4222-5761

Ege Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü, Hareket ve Antrenman Bilimleri Anabilim Dalı

E-posta: ozgur.ozkaya@ege.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 03.05.2021

Kabul Tarihi (Accepted): 24.09.2021

ÖZ

Tahmin edilen kritik güç (KG) düzeyi, tercih edilen matematiksel model ve farklı tükenme zaman aralıklarına bağlı olarak %5-20 oranında farklılaşır. Bu oranlarda farklılaşan tahminler, KG ile ilişkili bir takım çelişkili sonuçlar yaratır. Bu çalışmanın amacı üç farklı tükenme aralığı (kısa: 2-10 dakika; orta: 2-15 dakika; uzun: 2-20 dakika) kullanılarak, her bir aralık için beş farklı matematiksel model (doğrusal toplam iş (KG₁), doğrusal 1/zaman (KG₂), doğrusal olmayan 2-parametrelili (KG₃), doğrusal olmayan 3-parametrelili (KG₄), ve üstel (KG₅)), yoluyla elde edilen KG tahminlerinden hangisi ya da hangilerinin maksimal laktat dengesi (MLD), ventilasyon eşiği (VE), solunumsal kompanzasyon noktası (SKN) ve/veya kritik eşikle (KE) ilişkili olduğunu değerlendirmektir. Çalışmaya 10 iyi antrene erkek bisiklet sporcusu gönüllü olarak katılmıştır. Sporcuların VE ve SKN düzeyleri kademeli rampa testleriyle belirlenmiştir. Maksimal oksijen kullanımı, zirve güç çıktısı, MLD, KE ve KG'yi hesaplamak için farklı günlerde sabit iş oranlarında testler uygulanmıştır. Elde edilen veriler geçerlilik analizleri ile sınanmıştır. Kullanılan matematiksel model ve tükenme aralıkları değiştiğinde elde edilen KG düzeyleri %20'ye kadar farklılaşmıştır. KG₄ dışındaki diğer KG düzeyleri MLD ve VE'ye karşılık gelen iş oranlarından daha yüksektir (p<0,05). Kısa tükenme aralıklarıyla bulunan KG₅ değeri, KE ve SKN iş oranlarına karşılık gelmiştir (p>0,05; tahmini standart hata ~%4 ve r>0,95). Tercih edilen tükenme aralığı fark etmeksizin diğer matematiksel modellerden elde edilen KG'ler herhangi bir anaerobik eşik indeksini tahmin etmede yetersizdir (p<0,05). Sonuç olarak, yalnızca kısa tükenme aralığıyla belirlenen KG₅ düzeyinin, KE ve SKN iş oranlarını tahmin etmede kullanılabileceği gösterilmiştir. Diğer eşik indekslerinin KG yoluyla tahmin edilmesi uygun değildir.

Anahtar Kelimeler: Kritik eşik, Kritik güç, Maksimal laktat dengesi, Solunumsal kompanzasyon noktası, Ventilasyon eşiği

ABSTRACT

Predicted critical power (CP) varies up to 5-20% depending on the preferred mathematical model and different time to exhaustion intervals. Those differentiation rates related to CP estimations cause some contradictory results. The aim of this study was to evaluate the relationship between CP predictions obtained from three different exhaustion approaches (short: 2-10 minutes; medium: 2-15 minutes; long: 2-20 minutes) using five mathematical models (linear total work (CP₁), linear 1/time (CP₂), nonlinear 2-parameter (CP₃), nonlinear 3-parameter (CP₄) and exponential (CP₅)), and other indices such as maximal lactate steady-state (MLSS), ventilatory threshold (VT), respiratory compensation point (RCP) and critical threshold (CT). 10 well trained male cyclists voluntarily participated in the study. VT and RCP levels of the athletes were determined by incremental ramp tests. Constant work rate exercises were applied on different days to determine maximal oxygen uptake, peak power output, MLSS, CT and CP. Obtained data were tested by validity analysis. As mathematical models and exhaustion intervals changed, the CP predictions varied up to 20%. Except the CP₄, other CP estimations were higher than the work rates corresponding to the MLSS and VT (p<0.05). The CP₅, which was estimated by short exhaustion interval, corresponded to the work rates belonging to the CT and RCP (p>0.05; standard error of estimate ~4% and r>0.95). Regardless of the preferred exhaustion interval, CP predictions obtained from the other mathematical models were insufficient to estimate any of anaerobic threshold indices (p<0.05). As a result, the CP₅ estimated by short exhaustion interval can be used to predict the work rates corresponded to the CT and RCP. It was not appropriate to estimate the other threshold intensities by the CP.

Keywords: Critical threshold, Critical power, Maximal lactate steady-state, Respiratory compensation point, Ventilatory threshold

GİRİŞ

Kritik güç (KG), yorgunluk oluşmadan en uzun süre sürdürülebilir iş oranı olarak tanımlanır ve bu değer oksijen kullanım düzeyinin ($\dot{V}O_2$) dengede tutulabildiği en yüksek egzersiz yoğunluğu olarak bilinir (Jones ve diğ., 2010). Bu güç üretim düzeyinin hemen üzerindeki iş yüklerinde egzersiz $\dot{V}O_2$ 'si dengede tutulamaz ve giderek artarak maksimal $\dot{V}O_2$ değerine ($\dot{V}O_{2maks}$) ulaşılır. KG, egzersiz alanı sınıflamasında ağır (-heavy) ve şiddetli (-severe) egzersiz alanlarının ayrımı olarak kabul gören iş oranıdır (Jones ve diğ., 2019). Bu iş oranını doğru tahlil edebilmek antrenman niteliğini artırmada önemlidir. Bu düzey ve hemen altındaki iş oranları (örneğin %70-90 $\dot{V}O_{2maks}$) aerobik kapasite gelişiminde önemli egzersiz yükleri olarak kullanılırken, bu iş oranının hemen üzerindeki egzersiz uyarılarının (örneğin %95-100 $\dot{V}O_{2maks}$) aerobik güç gelişiminde anahtar rol oynadığı bilinir (Jones ve Vanhatalo., 2017).

KG'yi belirleyebilmek için 1-2 dakikadan 10-20 dakikaya kadar değişen sürelerde bitkinlikle sonlanan 3-5 tüketici egzersiz uygulanır (Mattioni Maturana ve diğ., 2018). Genel olarak 4 tüketici egzersizden elde edilen veri yeterli kabul edilir (Morton, 2006). Bu egzersizlerden elde edilen tükenme zamanları, güç çıktıları ve/veya yapılan toplam iş gibi performans parametreleri matematiksel modellere uygulanarak KG düzeyi tahmin edilir (Hill, 1993). KG belirlemede beş temel matematiksel model kullanılır. Bu modeller; doğrusal toplam iş (KG_1), doğrusal 1/zaman (KG_2), doğrusal olmayan-2 parametrelili (KG_3), doğrusal olmayan-3 parametrelili (KG_4) ve üstel (KG_5) eşitliklerle oluşturulmuştur (Bull ve diğ., 2000). Bu eşitliklerden KG_4 genel olarak en düşük, KG_5 ise en yüksek KG tahmininde bulunur (Bull ve diğ., 2000; Mattioni Maturana ve diğ., 2018).

KG belirlemede kullanılan model, tüketici egzersiz sayısı ve tükenme süreleri değiştikçe elde edilen KG değerleri de anlamlı düzeyde farklılaşır (Bull ve diğ., 2000; Mattioni Maturana ve diğ., 2018). Literatüre göre KG anaerobik eşiğin altın standardı olarak kabul edilse de (Craig ve diğ., 2019), bazı çalışma bulguları KG'nin diğer önemli anaerobik eşik indekslerinden olan maksimal laktat dengesi (MLD) (Pringle ve Jones, 2002), ventilasyon eşiği (VE) (Bergstrom ve diğ., 2013) ya da solunumsal kompozisyon noktası (SKN) (Keir ve diğ., 2015) gibi parametreleri karşılamada başarısız olduğunu iddia eder. Diğer yandan son dönemde yayımlanan bir araştırma bulgusu; KG düzeyi önemli bir miktar aşılmış olmasına rağmen sürdürülen bir egzersize ait $\dot{V}O_2$ yanıtlarının halen stabil kalabildiğini ortaya koymuştur (Özkaya ve diğ., 2020). Aynı araştırmaya göre, egzersiz $\dot{V}O_2$ 'sinin zirve $\dot{V}O_2$ değerine ulaşmadan stabil tutulabildiği en yüksek iş oranı, KG düzeyinin yaklaşık 30 W üzerindeki bir düzeye karşılık gelmektedir. Dolayısıyla araştırmacılara göre ağır egzersiz alanına ait üst sınır ile şiddetli egzersiz alanına ait alt sınır arasında "gri bir alan" vardır. Özkaya ve arkadaşları (2020) bu gri alanın alt sınırını MLD olarak belirlerken, üst sınırını ise kritik eşik (KE) olarak tanımlamışlardır.

KG, pek çok test özelliğinden kolayca etkilenebilen hassas bir göstergedir (Galán-Rioja ve diğ., 2020). Diğer yandan, hangi tükenme zamanı yaklaşımı ve hangi modele ait tahminin KG'yi hangi düzeyde farklılaştırabileceği etraflıca ele alınmamıştır. Dahası, bu konuya odaklanmış sınırlı sayıda çalışma içinde yaygın olarak kullanılan beş matematiksel eşitliğe ait KG düzeyleri bir arada değerlendirilmemiştir. Bu çalışmanın amacı, farklılaşan tükenme zamanları ve farklı matematiksel modellerin kullanımıyla elde edilebilecek tüm KG alternatiflerinin diğer eşik türleriyle ilişkisini değerlendirmektir.

YÖNTEM

Araştırma Grubu: Çalışmaya 10 iyi antrene erkek bisikletçi katıldı. Katılımcıların vücut kütleleri ortalamaları $71,2 \pm 8$ kg, $\dot{V}O_{2maks}$ ortalamaları $65,4 \pm 4,35$ mL·dk⁻¹·kg⁻¹ ve bu düzeye karşılık gelen zirve güç çıktısı (ZGÇ) ortalamaları ise $380,5 \pm 64,7$ W idi. Katılımcıların ortalama antrenman geçmişleri $6,9 \pm 2,4$ yıl ve haftalık antrenman yoğunluğu ortalamaları $5,2 \pm 1,3$ idi. Antrenman etkisini en aza indirmek için çalışmaya müsabaka sezonundan sonra başlandı ve tüm

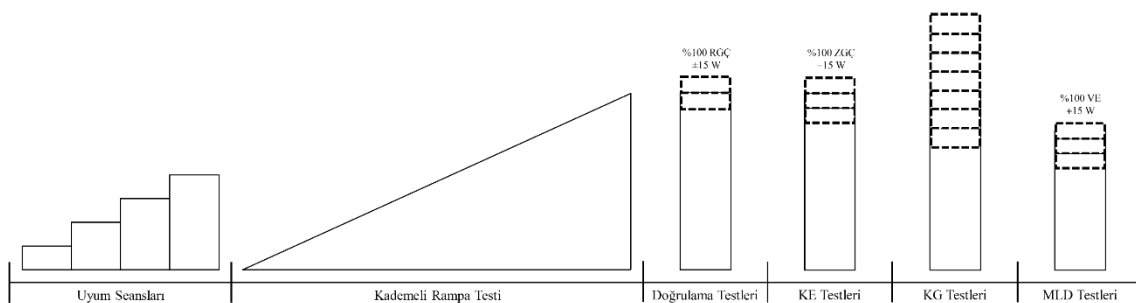
ölçümler 21 gün içinde tamamlandı. Ek olarak, sirkadiyen değişim etkilerini en aza indirmek için testin uygulandığı saat her bir katılımcıya özel olarak standardize edildi. Katılımcılar testlerden en az 48 saat önce tüketici egzersizlerden sakınmaları ve egzersiz seanslarına gelmeden 2 saat öncesinde kafein içerikli ürün tüketmemeleri konusunda uyarıldı. Katılımcıların herhangi bir sakatlık ve/veya kardiyovasküler, solunumsal, metabolik, kassal vb. sistemik bir rahatsızlıkları yoktu. Bu çalışma Ege Üniversitesi Tıbbi Araştırmalar Etik Kurulu tarafından onaylandı (Etik kurul no: 18-6/28; proje kodu: 17.BESYO.002). Çalışmanın her aşamasında Helsinki Deklerasyonu'nda açıklanan yönergelere uyuldu. Çalışmaya katılan her bir gönüllü, çalışmanın prosedürleri ve içerdiği riskler hakkında önceden bilgilendirildi. Tüm katılımcılara “bilgilendirilmiş gönüllü olur formu” imzalatıldı.

Veri Toplama Araçları: Tüm ölçümler Ege Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi'nde bulunan İklimlendirme Laboratuvarında yapıldı. Laboratuvar tamamıyla izole ve ortam koşullarının sabitlenebildiği özelliklere sahipti. Ölçümler süresince 20 °C sıcaklık, %20,8 O₂, <500 ppm CO₂ ve %50-60 nem koşulları standardize edildi. Test ergometresi olarak bilgisayar kontrollü elektromanyetik dirençli bisiklet kullanıldı (Lode Excalibur Sport, Groningen, Hollanda). Kalp atım sayısı takiplerinde yaygın olarak kullanılan ve diğer laboratuvar sistemleriyle uyumlu bir tele-metrik cihaz kullanıldı (Polar RS 400, Polar Electro Oy, Kempele, Finlandiya). Solunum gazı analizlerinde laboratuvar tipi gaz analizörü sistemi kullanıldı (Innocor, Inno-500, Odense, Danimarka). Kan laktatı analizlerinde enzimatik amperometrik yöntemle analiz yapan Biosen Laktat Analizörü kullanıldı (Biosen C-line, EKF Diagnostics, GmbH, Barleben, Almanya).

DeneySEL Tasarım: Bu çalışma ileriye dönük tekrarlanan ölçümler deney tasarımına sahip ve deney koşullarının standardize edildiği kontrollü bir laboratuvar çalışmasıdır. Uyum seanslarının ardından sporcular, egzersiz şiddetinin doğrusal olarak arttırıldığı kademeli rampa testlerine alınmıştır. Bu testlerden elde edilen veriye dayalı olarak her sporcu için bireysel VE ve SKN düzeyleri ve bu düzeylere karşılık gelen iş oranları hesaplanmıştır. Akabinde sporcuların bireysel $\dot{V}O_{2maks}$ ve bu düzeye karşılık gelen ZGÇ değerleri farklı günlerde uygulanan sabit yüklü tüketici egzersizlerle bulunmuştur. Sonrasında ZGÇ'nin 15 W altına karşılık gelen iş oranından başlanarak farklı günlerde yapılan sabit yüklü tüketici egzersizlerle KE belirlenmiştir. Diğer yandan her katılımcı, farklı tükenme aralıklı yaklaşımlara dayalı ve bireysel olarak hesaplanacak KG değerlerinin elde edilebilmesi için yaklaşık yedi tüketici egzersize alınmıştır. Bu egzersizler de sabit iş oranlarında yapılmıştır. Bu aşamada her bir katılımcı için kısa, orta ve uzun tükenme esaslı ve beş farklı matematiksel modele ait 15 farklı KG değeri hesaplanmıştır. Diğer yandan her bir sporcu için bireysel bir MLD iş oranı belirlenmiştir. Her katılımcı çalışma süresince laboratuvarında yaklaşık 15-20 test seansına katılmıştır (Şekil 1).

Şekil 1

Çalışmanın Akış Şeması



Not. RGC: Kademeli rampa testinde ulaşılan en yüksek 30 saniyelik $\dot{V}O_2$ ortalamasına karşılık gelen güç çıktısı; ZGÇ: Zirve güç çıktısı; KE: Kritik eşik; KG: Kritik güç; VE: Ventilasyon eşiği; MLD: Maksimal laktat dengesi.

Verilerin Toplanması:

Uyum seansı: Her katılımcının gaz analizörüne, bisiklet ergometresine, kalp atım sayısı takip sistemine ve laboratuvar koşullarına alışabilmesi için uyum seansları yapılmıştır. Uyum seansında katılımcılara dört kademeden oluşan ve kademeler arasında 30 W'lık yük artışlarının olduğu submaksimal egzersizler uygulanmıştır.

Uyum seansı ve sonrasındaki tüm egzersiz aşamaları öncesinde 15 dakikalık standart ısınma protokolleri uygulanmıştır. Bu ısınmalarda 100-150 W iş oranında 10 dakikalık egzersizler yaptırılmıştır ve ısınmanın ardından 5 dakikalık pasif dinlenme periyotları bırakılmıştır (Morgan ve diğ., 2019). Uyum seansları ve devamındaki tüm egzersizlerde 90 ± 10 rpm pedal devir hızları kullanılmıştır. Bu seanslarda bisiklet ergometresinin sele ve gidon yükseklikleri her bisikletçi için bireysel olarak optimize edilmiştir ve devamındaki tüm egzersizlerde aynı ayarlar her bir katılımcı için standart olarak kullanılmıştır.

Kademeli rampa testi ile ventilasyon eşiği ve solunumsal kompanzasyon noktasının belirlenmesi: Yapılan ısınmanın ardından kademeli rampa testlerine yüksüz 4 dakika pedal çevirme ile başlanmıştır. Daha sonra, iş yükü her iki saniyede 1 W olacak şekilde arttırılmıştır ($30 \text{ W} \cdot \text{dk}^{-1}$). Testler katılımcıların istemli bitkinlikleriyle sonlandırılmıştır. Güçlü sözel motivasyon desteğine rağmen 80 rpm'in altında 10 saniyeden daha uzun süre kalınması durumunda test sonlandırılarak tükenme süresi kaydedilmiştir. Tükenme sonrasında elde edilen verilerin uygunluğu; i) $\dot{V}O_2$ 'de plato ($150 \text{ mL} \cdot \text{dk}^{-1}$), ii) maksimum kalp atım sayısı yanıtının ($220 - \text{Yaş}$) %95'inden daha yüksek bir kalp atım sayısı yanıtına ulaşmak ($\text{vuru} \cdot \text{dk}^{-1}$), iii) $1,05$ 'in üzerinde solunum değişim oranı ve iv) Borg skalasında algılanan zorluk düzeyinin 19-20 olması kriterleriyle sınanmıştır. Bu kriterlerden üçünün sağlandığı test sonucu doğru kabul edilmiştir (Howley ve diğ., 1995). Kriterlerin sağlanamaması durumunda, tüketici test en az 24 saatlik bir zaman sonra tekrarlanmıştır. Kademeli rampa testinde en yüksek 30 saniyelik $\dot{V}O_2$ ortalaması 5 saniyelik hareketli ortalamalar üzerinden belirlenmiştir. Ek olarak, bu düzeye karşılık gelen güç çıktısı hesaplanmıştır. Kademeli rampa testinde ilgili güç üretim düzeyinin yüksek tahmin edileceği önceden gösterildiğinden (Boone ve diğ., 2008), test sonuçlarına "ortalama yanıt zamanı" (OYZ) düzeltilmesi uygulanmıştır. Bu uygulamalarda egzersizin en başından, dakika ventilasyonu (V_E) ve $\dot{V}O_2$ ilişkisindeki ($V_E - \dot{V}O_2$) birinci kırılma düzeyine kadar alınan $\dot{V}O_2$ yanıtları 15 saniyelik ortalamalar şeklinde kullanılmıştır. Sonrasında $\dot{V}O_2$ 'ye göre zamana ait regresyon ilişkisi; $y = a \cdot x + b$ olarak hesaplanmıştır. OYZ hesaplamalarında paraziti azaltabilmek için zamana göre fonksiyon olarak ifade edilecek $\dot{V}O_2$ verilerinin ilk üç dakikasına ait değerler regresyondan çıkarılmıştır (Leo ve diğ., 2017). Bu analiz $\dot{V}O_2$ 'de doğrusal trendin oluşmasıyla kontrol edilmiştir. Elde edilen veri, yüksüz pedal çevrimi sırasında ulaşılan $\dot{V}O_2$ düzeyine kadar doğrusal regresyon modelinde geri-ekstrapolasyon uygulanarak çizdirilmiştir. Bu kesişimin zaman eksenindeki iz düşümünden OYZ değeri hesaplanmıştır. $\dot{V}O_2$ düzeyine karşılık gelen yükler, hesaplanan OYZ kadar ileri alınarak, üretilen güç çıktısına kıyasla $\dot{V}O_2$ yanıtlarında oluşan gecikme düzeltilmiştir. Sonrasında V_E düzeyi $V_E - \dot{V}O_2$ ilişkisindeki ikinci kırılma, SKN ise V_E 'ye kıyasla üretilen karbondioksit hacmi ($\dot{V}CO_2$) arasındaki ilişkide ($V_E - \dot{V}CO_2$) saptanan kırılma bulunarak değerlendirilmiştir (Binder ve diğ., 2008). Ek olarak her iki kırılma düzeyine karşılık gelen iş oranları kaydedildi.

Maksimal oksijen kullanımı ve zirve güç çıktısının sabit yüklü testlerle belirlenmesi: Katılımcıların $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ düzeyleri her biri ayrı günlerde uygulanan doğrulama fazlarıyla belirlenmiştir. Doğrulama fazları, kademeli rampa testinde ulaşılan en yüksek $\dot{V}O_2$ ortalaması yanıtını veren güç üretim düzeyinden başlanarak $\pm 15 \text{ W}$ aralıklarla ve farklı günlerde yapılan sabit yüklü tüketici egzersizlerle yapılmıştır. Güçlü sözel motivasyon desteğine rağmen rpm değerinin 10 saniyeden daha uzun bir süre 80'in altında kalması durumunda egzersizler sonlandırılmıştır. Tüketici doğrulama testlerinin uygunlukları, kademeli testlerde esas alınan kriterler kullanılarak değerlendirilmiştir. Her sporcu için bireysel

$\dot{V}O_{2maks}$ değeri, yapılan tüketici egzersizlerden elde edilen en yüksek 30 saniyelik $\dot{V}O_2$ ortalaması olarak kabul edilmiştir. $\dot{V}O_{2maks}$ 'a karşılık gelen güç çıktısı, ZGÇ olarak kaydedilmiştir.

Kritik eşik düzeylerinin belirlenmesi: Katılımcıların KE düzeyleri, ZGÇ'nin 15 W altına karşılık gelen iş oranından başlanarak farklı günlerde 15 W aralıklarla yapılan sabit yüklü tüketici egzersizlerle belirlenmiştir. KE düzeyi; egzersiz $\dot{V}O_2$ 'sinin bireysel $\dot{V}O_{2maks}$ 'ın %95'inden daha yüksek bir değere ulaşmadan stabil tutulabildiği en yüksek iş oranı olarak sınımlanmıştır (Özkaya ve diğ., 2020). Bu egzersizlerde de sporculardan 90±10 rpm aralığında kalmaları istenmiştir ve egzersizler sporcuların istemli bitkinlikleriyle sonlandırılmıştır.

Matematiksel modeller ile kritik güç tahminlerinin elde edilmesi: Her katılımcı, farklı tükenme aralıklı yaklaşımlara dayalı ve bireysel olarak hesaplanacak KG değerleri elde edebilmek için toplamda yaklaşık yedi tüketici egzersiz testine alınmıştır. Bu egzersizlere VE düzeyinin 30 W üzerinden başlanarak, her biri farklı günlerde uygulanan ve 30 W'lık artışlarla gerçekleştirilen egzersizlerle devam edilmiştir. Bu tüketici egzersizlere her katılımcı iki dakikalık tükenme süresine ulaşana kadar devam edildi. Bu uygulamaların sonunda elde edilen dört standart tüketici egzersize ait yapılan toplam iş, tükenme zamanı ve güç çıktısı verileri; 2-10 dakika arası (kısa tükenme aralığı), 2-15 dakika arası (orta tükenme aralığı) ve 2-20 dakika arasındaki (uzun tükenme aralığı) tükenmeler esas alınarak, beş temel matematiksel modele uygulanmıştır. KG tahminleri için; doğrusal toplam iş (KG_1 ; Eşitlik 1), doğrusal 1/zaman (KG_2 ; Eşitlik 2), doğrusal olmayan 2-parametrelili (KG_3 ; Eşitlik 3), doğrusal olmayan 3-parametrelili (KG_4 ; Eşitlik 4) ve üstel model (KG_5 ; Eşitlik 5) kullanılmıştır:

$$\dot{I}ş=W'+(KG \times Zaman) \quad (\text{Monod ve Scherrer, 1965}) \quad (1)$$

$$Güç=W' \times (1/Zaman)+KG \quad (\text{Whipp ve diğ., 1982}) \quad (2)$$

$$Zaman=W'/(Güç-KG) \quad (\text{Moritani ve diğ., 1981}) \quad (3)$$

$$Zaman=W'/(Güç-KG)-W'/(\text{『Güç』}_{maks}-KG) \quad (\text{Morton, 1996}) \quad (4)$$

$$Güç=KG+(\text{『Güç』}_{maks} - KG) \times üst(-zaman/tau) \quad (\text{Hopkins ve diğ., 1989}) \quad (5)$$

Maksimal laktat dengesinin belirlenmesi: MLD, sabit yüklü bir egzersiz sırasında 20 dakika süresince kan laktatı birikiminin 1 mmol·L⁻¹'den küçük olacağı en yüksek egzersiz yoğunluğu olarak belirlenmiştir. MLD'nin belirlenebilmesi için VE iş yükünden başlanarak 15 W'lık yük artışlarıyla farklı günlerde 30 dakikalık sabit yüklü egzersizler yaptırılmıştır. Testin 10. ve 30. dakikalarına ait kan laktatı farklılıkları (ΔLa), sporcuların parmak ucundan alınan 20 µL kan örneklerinden analiz edilmiştir. Testin 10. ve 30. dakikalarındaki ΔLa değerinin 1 mmol·L⁻¹'den daha az olduğu en yüksek güç çıktısı düzeyi, MLD'yi veren iş oranı olarak kaydedilmiştir (Beneke, 2003).

Verilerin Analizi: Sonuçlar SPSS 20.0 (SPSS Inc., Chicago, ABD) paket programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçların normal dağılıp dağılmadığı Shapiro-Wilk testiyle analiz edilmiştir. Sonuçlar arasındaki farklar tekrarlı ölçümler ANOVA ile belirlenmiştir. Post-hoc olarak Bonferroni kullanılmıştır. Pratik anlamlılık analizi için etki büyüklüğü (EB) hesaplanarak, EB değerleri; 0-0,2 arası etkisiz, 0,2-0,5 düşük, 0,5-0,8 orta ve 0,8 üzeri ise yüksek olarak sınıflandırılmıştır (Wassertheil ve Cohen, 1970). Sonrasında KG değerleri ile diğer göstergeler arasındaki ilişkilerin

değerlendirilebilmesi için Pearson korelasyon katsayısı (r) dikkate alınmıştır. Ardından KG değerlerinin geçerli bir eşik indeksi sunup sunmadığını sınamak için doğrusal regresyon analizleri yapılarak, tahmini standart hata (TSH) hesaplanmıştır. Ölçümler arasındaki sapma (ortalama fark) belirlenmiştir ve rastgele hata değeri sapmanın $\pm 1,96$ standart sapması olarak kabul edilen sınır değer (uyum limiti) dikkate alınarak hesaplanmıştır (Atkinson ve Nevill, 1998). KG değerleri ile diğer göstergeler arasındaki ortalama farkların analizi içinse tek örneklem t-testi kullanılmıştır. Son olarak uyumlu bulunan parametrelerin sistematik ve rastgele hatalarının hem görsel hem de sayısal açıdan ayırt edilebilmesi için Bland-Altman analizi yapılmıştır (Bland ve Altman, 1986). KG değerlerinin, diğer hangi gösterge için geçerli bir uygulama olduğunu sınamak için, yüksek bir kabul sınır değeri (± 25 W) ve düşük bir standart hata tahmin değerine ($<5\%$) ulaşmak esas alınmıştır (Karsten ve diğ., 2015). Tüm istatistiksel analizlerde anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak dikkate alınmıştır.

BULGULAR

KG düzeyleri, tükenme süresi ve kullanılan matematiksel model farklılaştıkça, ulaşılan en düşük KG ortalamasına göre %20 oranında değişim göstermiştir (272 W'a kıyasla 327 W; $p<0,001$). Kısa, orta ve uzun tükenme aralıklarında kullanılan matematiksel modeller değiştikçe elde edilen KG değerleri sırasıyla %11,6, %12,1 ve %9,3 oranında farklılaşmıştır (Tablo 1). Kısa, orta ve uzun tükenme aralıkları kullanılarak elde edilen ortalama KG değerleri sırasıyla; 306 ± 14 W, $294\pm 14,6$ W ve $286\pm 11,3$ W'tır ($p<0,01$). Tüketici egzersizler sırasında benimsenen tükenme zamanları uzadıkça elde edilen KG düzeyi düşmüştür. Kısa, orta ve uzun tükenme aralıklarındaki en yüksek KG tahminlerine KG₅ (uzun tükenme aralığında KG₂ hariç) ve en düşük KG tahminlerine ise KG₄ (orta tükenme süresinde KG₃ hariç) ile ulaşılmıştır ($p<0,05$). Rampa ve sabit iş oranında uygulanan tüketici egzersizlerden elde edilen güç çıktısı, $\dot{V}O_2$ ve egzersiz zamanları Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 1

Farklı Tükenme Aralıklarıyla Beş Matematiksel Modelden Elde Edilen KG, W' ve TSH Oranları

Tükenme Aralığı	Değişkenler	KG (W)	TSHKG (%)	W'	TSHW' (%)
2-10 Dakika	KG ₁	303 $\pm$ 41,8	4,86 $\pm$ 4,03	20,0 $\pm$ 3,24	1,99 $\pm$ 1,26
	KG ₂	310 $\pm$ 43,1	7,56 $\pm$ 5,64	18,4 $\pm$ 3,20	1,68 $\pm$ 1,11
	KG ₃	301 $\pm$ 42,6	4,41 $\pm$ 3,17	21,4 $\pm$ 3,42	2,30 $\pm$ 1,31
	KG ₄	289 $\pm$ 50,2	14,6 $\pm$ 15,8	33,1 $\pm$ 16,2	5,51 $\pm$ 6,58
	KG ₅	327 $\pm$ 45,9	8,38 $\pm$ 8,30	-	-
2-15 Dakika	KG ₁	295 $\pm$ 38,9	7,35 $\pm$ 5,88	21,6 $\pm$ 3,32	4,01 $\pm$ 3,14
	KG ₂	301 $\pm$ 38,7	5,08 $\pm$ 3,89	19,4 $\pm$ 3,13	1,25 $\pm$ 0,77
	KG ₃	285 $\pm$ 37,7	6,92 $\pm$ 6,62	27,9 $\pm$ 6,50	5,01 $\pm$ 4,87
	KG ₄	275 $\pm$ 38,3	10,6 $\pm$ 5,47	34,3 $\pm$ 9,32	7,03 $\pm$ 4,02
	KG ₅	313 $\pm$ 45,2	11,8 $\pm$ 8,31	-	-
2-20 Dakika	KG ₁	285 $\pm$ 39,8	6,66 $\pm$ 3,59	25,4 $\pm$ 5,38	4,95 $\pm$ 3,01
	KG ₂	295 $\pm$ 38,7	7,15 $\pm$ 3,90	20,3 $\pm$ 3,56	1,89 $\pm$ 1,02
	KG ₃	281 $\pm$ 37,1	7,60 $\pm$ 9,21	31,3 $\pm$ 5,52	5,28 $\pm$ 2,85
	KG ₄	272 $\pm$ 42,8	9,27 $\pm$ 7,03	39,3 $\pm$ 11,9	9,37 $\pm$ 8,98
	KG ₅	300 $\pm$ 40,6	7,54 $\pm$ 4,57	-	-

Not. KG: Kritik güç; TSHKG: KG'ye ait tahmini standart hata; W': Anaerobik iş kapasitesi; TSHW': W' değerine ait tahmini standart hata.

Tablo 2

İlgili Parametrelere Ait Güç Çıktısı, $\dot{V}O_2$ ve Tükenme Zamanı Sonuçları

Değişkenler	Güç Çıktısı (W)	$\dot{V}O_2$ (ml·dk ⁻¹ ·kg ⁻¹)	Zaman (dk)
Doğrulama	374±66,3 ^{ab}	65,1±4,79 ^{ab}	5,77±1,76 ^a
Rampa	399±51,4 ^b	62,8±5,33 ^b	14,1±1,63
SKN	327±44,8 ^a	61,8±4,23 ^a	-
KE	324±43,7 ^a	61,1±4,55 ^a	13,6±3,88 ^b
VE	272±34,3 ^{ab}	57,3±4,44 ^{ab}	-
MLD	263±40,1 ^{ab}	56,3±4,75 ^{ab}	-

Not. KE: Kritik Eşik; MLD: Maksimal laktat dengesi; VE: Ventilasyon eşiği; SKN: Solunum kompanzasyon noktası; ^a Rampa teste oranla anlamlı farklılık; ^b KE'ye oranla anlamlı farklılık.

Yalnızca kısa tükenme aralığıyla üstel model kullanıldığında elde edilen KG₅ düzeyi (327±45,9 W); KE ve SKN'yi doğru tahmin etmiştir ($p>0,05$; $EB<0,2$; $r>0,95$; %TSH<5) (Tablo 7). Diğer tükenme aralıkları ve/veya matematiksel modeller kullanılarak ulaşılan KG düzeyleri ise geçerli ve kabul gören sınır değerler dikkate alındığında diğer eşik türlerini tahmin etmede başarısız olmuştur (Tablo 3-7). Ayrıca, KG₅ ile SKN ve KE arasındaki ortalama farklar sıfırdan farklı değildir ($p>0,05$) ve %95'lik uyum limiti kabul edilir aralıktadır (sırasıyla; ±20,7 ile ±25,4) (Şekil 2).

Tablo 3

Farklı Tükenme Aralıklarıyla Elde Edilen KG₁'in VE, MLD, SKN ve KE ile Karşılaştırılması

Tükenme Aralığı	Karşılaştırılan Değişken	Ortalama Fark (W)	T-Testi (p)	EB	Pearson (r)	TSH (%)
2-10 Dakika	VE	-31,1±20,1	0,00	-1,55	0,88	6,36
	MLD	-40,0±11,7	0,00	-3,42	0,96	4,53
	SKN	23,8±11,1	0,00	2,14	0,97	3,57
	KE	21,5±10,1	0,00	2,13	0,97	3,28
2-15 Dakika	VE	-23,2±10,9	0,00	-2,14	0,96	3,56
	MLD	-32,1±13,4	0,00	-2,41	0,94	5,37
	SKN	31,7±10,1	0,00	3,14	0,98	2,84
	KE	29,4±11,6	0,00	2,54	0,97	3,62
2-20 Dakika	VE	-13,5±15,3	0,02	-0,88	0,93	5,06
	MLD	-22,4±14,0	0,00	-1,60	0,94	5,56
	SKN	41,5±10,8	0,00	3,83	0,97	3,28
	KE	39,1±13,7	0,00	2,85	0,95	4,46

Not. KG₁: Doğrusal toplam iş modeliyle elde edilen kritik güç değeri; VE: Ventilasyon eşiği; MLD: Maksimal laktat dengesi; SKN: Solunumsal kompanzasyon noktası; KE: Kritik eşik; EB: Etki büyüklüğü; TSH: Tahmini standart hata.

Tablo 4

Farklı Tükenme Aralıklarıyla Elde Edilen KG₂'nin VE, MLD, SKN ve KE ile Karşılaştırılması

Tükenme Aralığı	Karşılaştırılan Değişken	Ortalama Fark (W)	T-Testi (p)	EB	Pearson (r)	TSH (%)
2-10 Dakika	VE	-38,5±18,8	0,00	-2,05	0,91	5,65
	MLD	-47,4±16,7	0,00	-2,84	0,92	6,27
	SKN	16,4±9,40	0,00	1,75	0,98	3,04
	KE	14,1±8,54	0,00	1,65	0,98	2,79
2-15 Dakika	VE	-29,1±12,7	0,00	-2,3	0,95	4,29
	MLD	-38,0±13,1	0,00	-2,91	0,95	5,25
	SKN	25,9±9,70	0,00	2,66	0,98	2,63
	KE	23,5±10,2	0,00	2,30	0,98	3,09
2-20 Dakika	VE	-23,7±14,1	0,00	-1,68	0,93	4,83
	MLD	-32,6±12,7	0,00	-2,57	0,95	5,11
	SKN	31,2±10,2	0,00	3,06	0,98	2,83
	KE	28,9±11,1	0,00	2,60	0,97	3,41

Not. KG₂: Doğrusal 1/zaman modeliyle elde edilen kritik güç değeri; VE: Ventilasyon eşiği; MLD: Maksimal laktat dengesi; SKN: Solunumsal kompanzasyon noktası; KE: Kritik eşik; EB: Etki büyüklüğü; TSH: Tahmini standart hata.

Tablo 5

Farklı Tükenme Aralıklarıyla Elde Edilen KG₃'ün VE, MLD, SKN ve KE ile Karşılaştırılması

Tükenme Aralığı	Karşılaştırılan Değişken	Ortalama Fark (W)	T-Testi (p)	EB	Pearson (r)	TSH (%)
2-10 Dakika	VE	-29,3±19,4	0,00	-1,51	0,90	5,95
	MLD	-38,2±11,3	0,00	-3,39	0,96	4,27
	SKN	25,7±10,0	0,00	2,57	0,98	3,22
	KE	23,3±10,0	0,00	2,33	0,97	3,27
2-15 Dakika	VE	-13,3±10,2	0,00	-1,31	0,96	3,53
	MLD	-22,2±17,4	0,00	-1,23	0,90	6,98
	SKN	41,7±16,7	0,00	2,50	0,93	5,24
	KE	39,3±18,3	0,00	2,15	0,91	5,94
2-20 Dakika	VE	-9,1±11,5	0,03	-0,79	0,95	4,15
	MLD	-18,0±12,8	0,00	-1,40	0,95	5,14
	SKN	45,9±13,2	0,00	3,47	0,97	3,79
	KE	43,5±14,1	0,00	3,08	0,95	4,37

Not. KG₃: Doğrusal olmayan 2-parametrel model yoluyla elde edilen kritik güç değeri; VE: Ventilasyon eşiği; MLD: Maksimal laktat dengesi; SKN: Solunumsal kompanzasyon noktası; KE: Kritik eşik; EB: Etki büyüklüğü; TSH: Tahmini standart hata.

Tablo 6

Farklı Tükenme Aralıklarıyla Elde Edilen KG₄'ün VE, MLD, SKN ve KE ile Karşılaştırılması

Tükenme Aralığı	Karşılaştırılan Değişken	Ortalama Fark (W)	T-Testi (p)	EB	Pearson (r)	TSH (%)
2-10 Dakika	VE	-17,5±28,5	0,08	-0,61	0,84	7,29
	MLD	-26,4±15,7	0,00	-1,69	0,96	4,29
	SKN	37,5±17,1	0,00	2,19	0,94	4,91
	KE	35,1±19,3	0,00	1,82	0,93	5,42
2-15 Dakika	VE	-3,09±19,7	0,63	-0,16	0,86	6,87
	MLD	-12,0±30,2	0,24	-0,40	0,70	11,5
	SKN	51,9±31,0	0,00	1,67	0,73	9,89
	KE	49,5±31,8	0,00	1,56	0,71	10,10
2-20 Dakika	VE	-0,40±17,4	0,94	-0,02	0,92	5,18
	MLD	-9,30±13,6	0,06	-0,68	0,95	5,15
	SKN	54,6±11,9	0,00	4,59	0,96	3,85
	KE	52,2±13,9	0,00	3,77	0,95	4,51

Not. KG₄: Doğrusal olmayan 3-parametrel model yoluyla elde edilen kritik güç değeri; VE: Ventilasyon eşiği; MLD: Maksimal laktat dengesi; SKN: Solunumsal kompanzasyon noktası; KE: Kritik eşik; EB: Etki büyüklüğü; TSH: Tahmini standart hata

Tablo 7

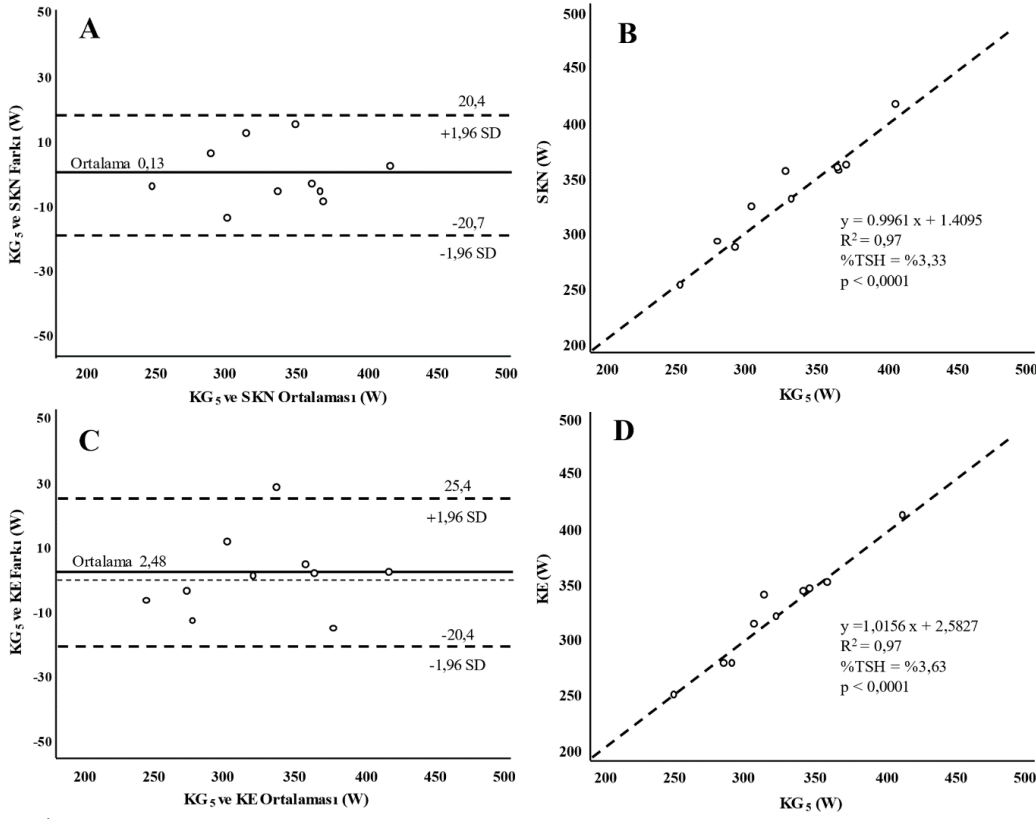
Farklı Tükenme Aralıklarıyla Elde Edilen KG₅'in VE, MLD, SKN ve KE ile Karşılaştırılması

Tükenme Aralığı	Karşılaştırılan Değişken	Ortalama Fark (W)	T-Testi (p)	EB	Pearson (r)	TSH (%)
2-10 Dakika	VE	-55,1±40,1	0,00	-1,13	0,92	5,24
	MLD	-64±12,0	0,00	-5,32	0,97	3,96
	SKN	-0,1±10,5	0,91	-0,01	0,97	3,33
	KE	-2,5±11,7	0,52	-0,20	0,97	3,63
2-15 Dakika	VE	-41,3±17,1	0,00	-2,39	0,93	6,05
	MLD	-50,2±13,6	0,00	-3,69	0,96	4,75
	SKN	13,6±8,02	0,00	1,70	0,98	2,58
	KE	11,3±10,9	0,01	1,07	0,97	3,34
2-20 Dakika	VE	-27,8±16,4	0,00	-1,69	0,92	5,30
	MLD	-36,7±15,4	0,00	-2,39	0,93	6,05
	SKN	27,2±13,1	0,00	2,08	0,96	4,18
	KE	24,8±16,4	0,00	1,52	0,93	5,35

Not. KG₅: Üstel model yoluyla elde edilen kritik güç; VE: Ventilasyon eşiği; MLD: Maksimal laktat dengesi; SKN: Solunumsal kompanzasyon noktası; KE: Kritik eşik; EB: Etki büyüklüğü; TSH: Tahmini standart hata

Şekil 2

KG₅ ile SKN ve KE Arasındaki Ortalama Farklar ve Uyum Limiti



Not. İyi antrene erkek bisiklet sporcularına ait üstel model (KG₅) ve solunumsal kompanzasyon noktası (SKN) (A ve B) ile kritik eşik (KE) (C ve D) arasındaki ilişki ve Bland-Altman. A ve C panellerindeki siyah kesik çizgiler %95 uyum limitini temsil ederken, siyah düz çizgi iki ölçüm arasındaki ortalama farkı gösterir. B ve D panellerindeki siyah kesikli düz çizgiler en uygun doğrusal regresyonu temsil ederken, siyah kesik çizgiler tam eşitlik çizgisini gösterir. TSH: Tahmini standart hata.

TARTIŞMA

Bu çalışmanın amacı, farklılaşan tükenme zamanları ve farklı matematiksel modellerin kullanımıyla elde edilebilecek tüm KG alternatiflerinin MLD, VE, SKN ve KE gibi eşik türleriyle ilişkisini değerlendirmektir. Ana bulgularımıza göre, kullanılan matematiksel modeller ve tükenme süreleri değiştikçe KG tahminleri %20 oranında farklılaşmıştır. Tükenme süreleri uzadıkça KG tahminleri azalma eğilimindedir. Yalnızca üstel model kısa tükenme aralığıyla uygulandığında ulaşılan KG₅ değeri, SKN ve KE'yi doğru saptamıştır. Diğer KG tahminleri anaerobik eşik indekslerini göstermede başarısızdır. Ayrıca KG₄ ile hesaplananlar hariç, diğer KG'lerde ulaşılan güç çıktısı değerleri MLD ve VE'den anlamlı düzeyde yüksektir.

Matematiksel modellerden elde edilen KG tahminleri yarım yüzyıldır ağır ve şiddetli egzersiz alanlarının sınırını belirlemede kullanılmaktadır. Bu alanların sınır değerinin altın standardı bazı araştırmacılar için KG iken (Jones ve diğ., 2019) bazıları içinse MLD olarak kabul edilmektedir (Faude ve diğ., 2009). KG, oldukça pratik gibi görünen ve laboratuvar ölçümleri gerektirmeyen non-invaziv bir eşik türüken, MLD invaziv birtakım girişimler yoluyla elde edilmektedir. Ancak yine de anaerobik katkının büyüklüğünü göstererek denge koşullarının ortadan kalktığı iş oranlarının anlaşılması, MLD adına akla yatkın bir çerçeve oluşturmuştur. Doğal olarak KG ve MLD arasında oldukça yüksek bir korelasyon olması beklenir. Ancak KG düzeyleri her koşulda MLD'ye karşılık gelmemektedir (Jones ve diğ., 2019). Örneğin Keir ve diğerleri (2015), uzun tükenme aralıklarıyla ve doğrusal olmayan 3-parametrel model kullanılarak elde edilen KG'nin, MLD'ye ait iş yükünü ~3 W'lık farkla doğru gösterdiğini rapor etmişlerdir (Keir ve diğ., 2015). Ancak

bulguları güç çıktısı değerleri üzerinden güven aralığı analizi ve dolayısıyla %TSH değerleri rapor edilmeden yayımlanmıştır. Bizim çalışmamızda da uzun tükenme aralıkları kullanılarak sonlanan egzersiz verileri esas alınarak bir değerlendirme yapıldığında; KG₄ düzeyiyle MLD'ye ait iş yükleri arasında yalnızca 9 W'lık bir fark vardır ve bu değer anlamlı değildir ($p>0,05$). Ancak yapılan uyum analizinde %TSH değerinin %5'in üzerinde (%5,3), etki büyüklüğünün 0,68 ve korelasyon düzeyinin de %95'in altında ($r: 0,92$) olduğu saptandığından, KG₄ ile ulaşılan güç çıktısının MLD yerine kullanılamayacağı çıkarımında bulunulmuştur. Diğer yandan, KG'nin MLD'ye ait iş yükünü yüksek tahmin ettiğini iddia eden araştırma raporları da vardır. Örneğin Pringle ve Jones (2002), orta tükenme aralıklarıyla doğrusal 1/zaman modelden elde edilen KG₂'nin MLD'ye karşılık gelen iş yükünü %10 (22 W) kadar yüksek tahmin ettiğini ortaya koymuştur (Pringle ve Jones, 2002). Çalışmamızda orta tükenme aralığı ve KG₂ ile ulaşılan güç çıktısı MLD'den 38 W daha yüksektir. Benzer şekilde Maturana ve diğerleri (2017), uzun tükenme aralıklarıyla doğrusal olmayan 2-parametrelili modelden elde edilen KG₃'ün MLD'ye ait iş yükünü %8 kadar yüksek tahmin ettiğini göstermiştir (Mattioni Maturana ve diğ., 2017). Bu çalışmada da uzun tükenme aralığı ve KG₃ yoluyla elde edilen güç çıktısı MLD'den ortalama %6 kadar daha yüksektir. Dekerle ve diğerleri (2003), orta tükenme aralıkları kullanılarak doğrusal toplam iş modelinden elde edilen KG₁'in MLD'yi %15 yüksek tahmin ettiğini bulmuşlardır (Dekerle ve diğ., 2003). Ancak ilgili KG düzeyinin SKN'den yalnızca 8 W düşük olduğu ve aralarındaki farkın anlamlı olmadığını rapor ettikleri çalışmalarında uyum analizi yapılmamıştır. Bulgularımıza göre orta tükenme aralığı ve KG₁ yoluyla elde edilen güç çıktısı MLD'den ortalama %11 kadar ve SKN düzeyi KG'den 32 W daha yüksektir. Bu çalışmanın bulgularına göre, pratik bir şekilde MLD tahmin etmede en düşük KG tahmininde bulunan KG₄ eşitliği, ortalama fark bakımında yakın sonuçlar verse de MLD ile arasındaki uyum aralıkları istenilen sınırlarda değildir.

KG düzeyi MLD'yi genellikle yüksek tahmin ettiğinden, son yıllarda yapılan bazı çalışmalarda MLD ve VE'den daha yüksek egzersiz şiddetlerine denk gelen SKN'nin KG eşdeğeri olup olmadığına odaklanılmıştır. Nitekim VE ve MLD oldukça ilişkili kabul edilen anaerobik eşik türleri olarak genellikle SKN'nin altında bir iş oranını işaret ederler (Galán-Rioja ve diğ., 2020). Örneğin Caen ve diğerleri (2018) tarafından yayımlanan bir araştırma bulgusuna göre, KG düzeyi ile SKN'ye karşılık gelen güç üretimi arasında yüksek bir korelasyon bulunsa da her iki güç üretim düzeyi arasındaki fark anlamlı bulunmuştur (Caen ve diğ., 2018). Son dönemde yayınlanan diğer bir çalışmada, KG'nin SKN'ye ait güç çıktısını tahmin etmede geçerli bir yöntem olmadığı gösterilmiştir ($r<0,74$; %TSH=%11,2) (Leo ve diğ., 2017). Benzer bir şekilde KG düzeyinin SKN'ye karşılık gelen güç çıktısını %6-21 oranında daha düşük tahmin ettiği rapor edilmiştir (Galán-Rioja ve diğ., 2020). Keir ve diğerleri (2015) bir raporunda, KG₄'ün SKN'ye ait iş yükünü %14 (36 W) kadar düşük tahmin ettiği ifade edilmiştir (Keir ve diğ., 2015). Sonuç olarak elde edilen her KG tahmini, diğer muhtemel anaerobik eşik indeksleri gibi, SKN düzeyini de her zaman doğru göstermeyebilir. Tahmin edilebileceği gibi, bu konuda en yakın sonuç vereni, en yüksek KG değeri sunan üstel model olacaktır. Bu çalışmanın sonucunda, kısa tükenme aralıklarıyla kurgulanan KG₅ düzeyi SKN'yi başarılı şekilde tahmin etmiştir (ortalama güç çıktısı farkı $0,1\pm 10,49$; $p>0,05$; EB: 0,01; $r: 0,97$; %TSH: %3,33).

Teorik olarak; KG'nin üzerindeki iş yüklerindeki oksijen kullanımında dengenin bozulduğu ve tükenene kadar herhangi bir zamanda egzersiz $\dot{V}O_2$ 'sinin giderek artarak önceden ölçülmüş en yüksek düzeylerine ulaştığı kabul edilir (Jones ve diğ., 2010). Fakat KG'nin hemen üzerindeki iş yüklerinde sürdürülen egzersizlere ait $\dot{V}O_2$ yanıtlarının her koşulda $\dot{V}O_{2maks}$ 'ı vermediği önceden gösterilmiştir. Sawyer ve diğerleri (2012) üstel model (KG₅) hariç diğer dört matematiksel modeli kullanarak uzun tükenme aralıklarıyla elde ettikleri KG'lerin üzerindeki güç çıktılarında oksijen kullanımının zirve değerlere ulaşmadığını göstermişlerdir (Sawyer ve diğ., 2012). Benzer şekilde Billat ve diğerleri (1998) de uzun tükenme aralıklarında tamamlanan tüketici egzersizler ve doğrusal 1/zaman modeliyle elde edilen KG

düzeylerinin bir miktar üzerindeki iş oranlarında sürdürülen egzersizlerle zirve $\dot{V}O_2$ dolaylarına ulaşamamışlardır (Billat ve diğ., 1998). Bu bulgular, matematiksel modellere dayalı olarak hesaplanan KG'nin, fizyolojik anlamını her koşulda karşılamadığının kanıtıdır.

Bu bulguların paralelinde bir başka çalışmada konu bir parça daha farklı bir yaklaşımla ele alınmıştır. Ozkaya ve diğerleri (2020) yaptıkları bir çalışmada; KG'nin fizyolojik tanımını sorgulayarak, bu tanıma uygun ve her sporcu için bireysel olarak belirlenebilecek bir eşik türü ortaya atmışlardır. KE olarak tanımlanan bu eşik, direkt olarak egzersize $\dot{V}O_2$ yanıtları esas alınarak ve her sporcu için yapılan bireysel analizlerle belirlenir. Bu yöntemde ilgili iş oranı bir parça bile aşılsa egzersiz $\dot{V}O_2$ 'sinin maksimal değere ulaşması teminat altına alınmıştır. Yapılacak analizler bireysel olacağından ve tek bir sporcunun laboratuvar değerlendirmelerinde grup ortalamasına ait istatistiksel veriler elde edilemeyeceğinden; burada $\dot{V}O_{2maks}$ 'a ulaşmak, bu değere %5'den daha yakın $\dot{V}O_2$ yanıtları elde etmek olarak kabul edilmiştir (Billat ve diğ., 2000; Black ve diğ., 2015; Buchheit ve Laursen, 2013; de Aguiar ve diğ., 2013; Dupont ve diğ., 2002; Hill ve diğ., 1997; Wakefield ve Glaister, 2009). Kısaca, sabit iş oranında sürdürülen bir egzersizde sporcunun KE iş oranı aşılmışsa, egzersiz $\dot{V}O_2$ 'si hızla artarak $\dot{V}O_{2maks}$ 'a %5'den daha yakın (örneğin %1-2) hale gelir. Ancak araştırmacıların elde ettikleri bulgulara göre; ne MLD, ne VE ne de KG aşıldığında sürdürülen bir egzersiz yoluyla zirve $\dot{V}O_2$ ($\dot{V}O_{2pik}$) elde edilemez (Ozkaya ve diğ., 2020). Bu çalışmadan elde edilen KG tahminleri içinde yalnızca KG₅ düzeyi KE'yi doğru tahmin edebilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, KG₅ ve KE'ye ait ortalama güç çıkışı farkı $2,5 \pm 11,67$ ($p > 0,05$; EB:0,2), %TSH değeri ~%4 ve korelasyon düzeyi $> 0,95$ olarak bulunmuştur.

Çalışmamızın en büyük sınırlılığı örneklem sayısının ideal sınırların bir miktar altında kalması olarak değerlendirilebilir ($n=10$). Geniş bir örneklem büyüklüğünün yüksek geçerlilik tahminleri sağlamada önemli olduğu bilinir (Hopkins ve diğ., 2009). Ancak çalışmanın örneklem büyüklüğü, yeterli bir homojenlik düzeyi de sağlamalıdır. Bu çalışmada beklenen homojenitenin sağlanabilmesi adına, her bir bisikletçinin iyi antrene dayanıklılık sporcuları için açıklanan normlara uygun olarak; $> 5,0 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ düzeyinde bir ZGÇ değerine sahip olması istenmiştir (Jeukendrup ve diğ., 2000). Dolayısıyla çalışmamızda bu düzeye sahip iyi antrene bisikletçi sayısı 10 ile sınırlı kalmıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Eşik değerlerin yüksek ya da düşük tahmin edilmesi, bu eşik değerlerin oluşturduğu egzersiz alanlarının değerlendirilmesinde ciddi hatalara yol açarak, egzersizlerden beklenen ölçüde verim alınamamasına neden olabilir. Bu durumda kullanılacak matematiksel model ve tükenme zamanlarının KG tahminlerine muhtemel etkileri iyi bilinmeli ve bu etkiler doğru değerlendirilmelidir. Ana bulgularımıza göre; tüketici egzersizlerin tükenme süreleri uzadıkça KG tahminleri azalma eğilimindeydi. Diğer yandan kullanılan matematiksel modeller ve tükenme süreleri değiştikçe KG tahminleri %20 oranında farklılaştı. Yalnızca üstel modelden kısa tükenme aralığıyla elde edilen KG₅ tahmini, SKN ve KE'yi doğru gösterdi. Ayrıca KG₄ ile hesaplananlar hariç, diğer KG değerleri MLD ve VE'den anlamlı ölçüde yüksekti.

Antrenör ve sporcular SKN ya da KE'yi saha koşullarında ve daha düşük bir hata payı ile tahmin edebilmek için kısa tükenme aralığı esas alınarak seçilecek iş oranlarında yapılacak tüketici egzersizlerden elde edecekleri sonuçları üstel modele uygulayabilirler. Diğer yandan yaygın olarak kullanılan anaerobik eşik göstergeleri birbirini karşılamada büyük ölçüde yetersiz kaldığından, söz konusu tüm bu sınır/eşik göstergelerinin “anaerobik eşik” olarak nitelendirilmesinin büyük hatalara yol açabileceği unutulmamalıdır. Doğru bir yaklaşım olarak bu göstergeler için “anaerobik eşik” genellemesi yapılmamalı, hangi kriter hangi esaslara dayalı olarak değerlendirildiyse (örneğin; SKN, VE, KG, KE veya MLD) aslına bağlı kalınarak isimlendirilmelidir.

Yazar Katkısı (Author contributions):

1. **Mahdi NOROUZİ:** Fikir/Kavram, Tasarım, Veri Toplama ve/veya İşleme, Analiz-Yorum, Makale Yazımı
2. **Refik ÇABUK:** Fikir/Kavram, Tasarım, Denetleme, Analiz-Yorum, Makale Yazımı, Eleştirel İnceleme
3. **Görkem Aybars BALCI:** Fikir/Kavram, Tasarım, Denetleme, Analiz-Yorum, Makale Yazımı, Eleştirel İnceleme
4. **Hakan AS:** Analiz-Yorum, Makale Yazımı, Veri Toplama ve/veya İşleme, Eleştirel İnceleme
5. **Özgür ÖZKAYA:** Fikir/Kavram, Tasarım, Analiz-Yorum, Makale Yazımı, Eleştirel İnceleme

Etik Kurul İzni ile İlgili Bilgiler

Kurul Adı: Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu

Tarih: 05.06.2018

Sayı No: 18-6/28

KAYNAKÇA

1. **Atkinson, G., ve Nevill, A. M.** (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Medicine*, 26(4), 217–238. <https://doi.org/10.2165/00007256-199826040-00002>
2. **Beneke, R.** (2003). Methodological aspects of maximal lactate steady state-implications for performance testing. *European Journal of Applied Physiology*, 89(1), 95–99. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0783-1>
3. **Bergstrom, H. C., Housh, T. J., Zuniga, J. M., Traylor, D. A., Camic, C. L., Lewis, R. W., Schmidt, R. J., ve Johnson, G. O.** (2013). The relationships among critical power determined from a 3-min all-out test, respiratory compensation point, gas exchange threshold, and ventilatory threshold. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 84(2), 232–238. <https://doi.org/10.1080/02701367.2013.784723>
4. **Billat, V. L., Binsse, V., Petit, B., ve Koralsztejn, J. P.** (1998). High level runners are able to maintain a VO₂max steady state below VO₂max in all out run over their critical velocity. *Archives of Physiology and Biochemistry*, 106(1), 38–45. <https://doi.org/10.1076/apab.106.1.38.4396>
5. **Billat, V. L., Morton, R. H., Blondel, N., Berthoin, S., Bocquet, V., Koralsztejn, J. P. ve Barstow, T. J.** (2000). Oxygen kinetics and modelling of time to exhaustion whilst running at various velocities at maximal oxygen uptake. *European Journal of Applied Physiology*, 82(3), 178–187. <https://doi.org/10.1007/s004210050670>
6. **Binder, R. K., Wonisch, M., Corra, U., Cohen-Solal, A., Vanhees, L., Saner, H., ve Schmid, J. P.** (2008). Methodological approach to the first and second lactate threshold in incremental cardiopulmonary exercise testing. *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation*, 15(6), 726–734. <https://doi.org/10.1097/HJR.0b013e328304fed4>
7. **Black, M. I., Jones, A. M., Bailey, S. J. ve Vanhatalo, A.** (2015). Self-pacing increases critical power and improves performance during severe-intensity exercise. *Applied physiology, nutrition, and metabolism*, 40(7), 662–670. <https://doi.org/10.1139/apnm-2014-0442>
8. **Bland, J. M., ve Altman, D. G.** (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet*, 327(8476), 307–310. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(86\)90837-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(86)90837-8)
9. **Boone, J., Koppo, K., ve Bouckaert, J.** (2008). The VO₂ response to submaximal ramp cycle exercise: Influence of ramp slope and training status. *Respiratory Physiology and Neurobiology*, 161(3), 291–297. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2008.03.008>
10. **Brickley, G., Doust, J., ve Williams, C.** (2002). Physiological responses during exercise to exhaustion at critical power. *European journal of applied physiology*, 88(1-2), 146–151. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0706-1>
11. **Buchheit, M. ve Laursen, P. B.** (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Med*, 43(5), 313–338. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0029-x>
12. **Bull, A. J., Housh, T. J., Johnson, G. O., ve Perry, S. R.** (2000). Effect of mathematical modeling on the estimation of critical power. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(2), 526–530. <https://doi.org/10.1097/00005768-200002000-00040>
13. **Caen, K., Vermeire, K., Bourgois, J. G., ve Boone, J.** (2018). Exercise Thresholds on Trial: Are They Really Equivalent? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 50(6), 1277–1284. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001547>
14. **Craig, J. C., Vanhatalo, A., Burnley, M., Jones, A. M., ve Poole, D. C.** (2019). Critical Power: Possibly the Most Important Fatigue Threshold in Exercise Physiology. In J. Zoladz (Ed.), *Muscle and Exercise Physiology* (pp. 159–181). Elsevier, London. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814593-7.00008-6>
15. **de Aguiar, R. A., Turnes, T., de Oliveira Cruz, R. S., ve Caputo, F.** (2013). Fast-start strategy increases the time spent above 95% VO₂max during severe-intensity intermittent running exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 113(4), 941–949. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2508-4>
16. **Dekerle, J., Baron, B., Dupont, L., Vanvelcenaher, J., ve Pelayo, P.** (2003). Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *European Journal of Applied Physiology*, 89(3), 281–288. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0786-y>
17. **Dupont, G., Blondel, N., Lensele, G., ve Berthoin, S.** (2002). Critical velocity and time spent at a high level of for short intermittent runs at supramaximal velocities. *Canadian journal of applied physiology*, 27(2), 103–115. <https://doi.org/10.1139/h02-008>
18. **Faude, O., Kindermann, W., ve Meyer, T.** (2009). Lactate threshold concepts: How valid are they? *Sports Medicine*, 39(6), 469–490. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939060-00003>
19. **Felippe, L. C., Ferreira, G. A., Learsi, S. K., Boari, D., Bertuzzi, R., ve Lima-Silva, A. E.** (2018). Caffeine increases both total work performed above critical power and peripheral fatigue during a 4-km cycling time trial. *Journal of Applied Physiology*, 124(6), 1491–1501. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00930.2017>
20. **Fukuba, Y., Miura, A., Endo, M., Kan, A., Yanagawa, K., ve Whipp, B. J.** (2003). The curvature constant parameter of the power-duration curve for varied-power exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(8), 1413–1418. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000079047.84364.70>
21. **Galán-Rioja, M. Á., González-Mohino, F., Poole, D. C., ve González-Ravé, J. M.** (2020). Relative proximity of critical power and

- metabolic/ventilatory thresholds: Systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 50(10), 1771–1783. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01314-8>
22. **Hill, D. W.** (1993). The critical power concept. *Sports Medicine*, 16(4), 237–254. <https://doi.org/10.2165/00007256-199316040-00003>
 23. **Hill, D. W., Williams, C. S., ve Burg, S. E.** (1997). Responses to exercise at 92% and 100% of the velocity associated with VO₂max. *International journal of sports medicine*, 18(05), 325–329. <https://doi.org/10.1055/s-2007-972641>
 24. **Hopkins, W. G., Edmond, I. M., Hamilton, B. H., Mac Farlane, D. J., ve Ross, B. H.** (1989). Relation between power and endurance for treadmill running of short duration. *Ergonomics*, 32(12), 1565–1571. <https://doi.org/10.1080/00140138908966925>
 25. **Howley, E. T., Bassett, D. R., ve Welch, H. G.** (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(9), 1292–1301.
 26. **Jeukendrup, A. E., Craig, N. P., ve Hawley, J. A.** (2000). The bioenergetics of World Class Cycling. *Journal of science and medicine in sport*, 3(4), 414–433. [https://doi.org/10.1016/s1440-2440\(00\)80008-0](https://doi.org/10.1016/s1440-2440(00)80008-0)
 27. **Jones, A. M., Burnley, M., Black, M. I., Poole, D. C., ve Vanhatalo, A.** (2019). The maximal metabolic steady state: redefining the ‘gold standard.’ *Physiological Reports*, 7(10), e14098. <https://doi.org/10.14814/phy2.14098>
 28. **Jones, A. M. ve Vanhatalo, A.** (2019). The ‘critical power’ concept: Applications to sports performance with a focus on intermittent high-intensity exercise. *Sports Medicine*, 47(1), 65–78. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0688-0>
 29. **Jones, A. M., Vanhatalo, A., Burnley, M., Morton, R. H., ve Poole, D. C.** (2010). Critical power: implications for determination of VO₂max and exercise tolerance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(10), 1876–1890. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181d9cf7f>
 30. **Karsten, B., Jobson, S. A., Hopker, J., Stevens, L., ve Beedie, C.** (2015). Validity and reliability of critical power field testing. *European Journal of Applied Physiology*, 115(1), 197–204. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-3001-z>
 31. **Keir, D. A., Fontana, F. Y., Robertson, T. C., Murias, J. M., Paterson, D. H., Kowalchuk, J. M., ve Pogliaghi, S.** (2015). Exercise Intensity Thresholds: Identifying the Boundaries of Sustainable Performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(9), 1932–1940. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000613>
 32. **Leo, J. A., Sabapathy, S., Simmonds, M. J., ve Cross, T. J.** (2017). The respiratory compensation point is not a valid surrogate for critical power. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(7), 1452–1460. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001226>
 33. **Mattioni Maturana, F., Fontana, F. Y., Pogliaghi, S., Passfield, L., ve Murias, J. M.** (2018). Critical power: How different protocols and models affect its determination. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(7), 742–747. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.11.015>
 34. **Mattioni Maturana, F., Keir, D. A., McLay, K. M., ve Murias, J. M.** (2017). Critical power testing or self-selected cycling: Which one is the best predictor of maximal metabolic steady-state? *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(8), 795–799. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.11.023>
 35. **Monod, H., ve Scherrer, J.** (1965). The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics*, 8(3), 329–338. <https://doi.org/10.1080/00140136508930810>
 36. **Morgan, P., Vanhatalo, A., Bowtell, J. L., Jones, A. M., ve Bailey, S. J.** (2019). Acetaminophen ingestion improves muscle activation and performance during a 3-min all-out cycling test. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 44(4), 434–442
 37. **Moritani, T., Ata, A. N., Devries, H. A., ve Muro, M.** (1981). Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. *Ergonomics*, 24(5), 339–350. <https://doi.org/10.1080/00140138108924856>
 38. **Morton, R. H.** (2006). The critical power and related whole-body bioenergetic models. *European Journal of Applied Physiology*, 96(4), 339–354. <https://doi.org/10.1007/s00421-005-0088-2>
 39. **Morton, R. H.** (1996). A 3-parameter critical power model. *Ergonomics*, 39(4), 611–619. <https://doi.org/10.1080/00140139608964484>
 40. **Ozkaya, O., Balci, G. A., As, H., Cabuk, R., ve Norouzi, M.** (2020). Grey Zone: A gap between heavy and severe exercise domain. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, Basım aşamasında. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003427>
 41. **Pringle, J., ve Jones, A.** (2002). Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling. *European Journal of Applied Physiology*, 88(3), 214–226. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0703-4>
 42. **Sawyer, B. J., Morton, R. H., Womack, C. J., ve Gaesser, G. A.** (2012). VO₂max may not be reached during exercise to exhaustion above critical power. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(8), 1533–1538. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31824d2587>
 43. **Vanhatalo, A., Doust, J. H., ve Burnley, M.** (2007). Determination of critical power using a 3- min all-out cycling test. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(3), 548–555. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31802dd3e6>
 44. **Wakefield, B. R., ve Glaister, M.** (2009). Influence of Work-Interval Intensity and Duration on Time Spent at a High Percentage of V O₂max During Intermittent Supramaximal Exercise. *Journal of strength and conditioning research*, 23(9), 2548–2554. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bc19b1>
 45. **Wassertheil, S., ve Cohen, J.** (1970). Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. *Biometrics*, 26(3), 588. <https://doi.org/10.2307/2529115>

46. **Whipp, B. J., Huntsman, D. J., Stoner, N., Lamarra, N., ve Wasserman, K.** (1982). A constant which determines the duration of tolerance of high-intensity work. *Federation Proceedings*, 41(5), 1591.