

Artan Yükleme Test Protokolünün Egzersiz Sonrası Oksijen Tüketimi (EPOC) Alanı Üzerindeki Etkisi: Trapezoidal Yöntem

Effects of an Incremental Exercise Test Protocol on the Excess Post-Exercise Oxygen Consumption (EPOC) Area Using the Trapezoidal Method

Yaşar TUNÇ¹ , Gökhan DELİCEOĞLU² 

^{1,2} Gazi Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Ankara, Türkiye.

Özet

Bu çalışma, farklı dayanıklılık spor branşlarında (kürek, triatlon ve oryantiring) uygulanan artan yükleme test protokolü sırasında ve sonrasında elde edilen fizyolojik değişkenlerin egzersiz sonrası oksijen tüketimi (EPOC) alanı üzerindeki etkilerini trapezoidal yöntemi uygulayarak inceledi. Araştırmaya yaş ortalaması $20,1 \pm 2,3$ yıl olan toplam 22 erkek dayanıklılık sporcusu katılmıştır. Katılımcılar standart çevresel koşullar altında artan şiddetli egzersiz protokolünü tamamlamış ve solunum parametreleri Cosmed K5 taşınabilir gaz analizörü kullanılarak kaydedilmiştir. Egzersiz sürecinde referans, oksijen açığı, anaerobik eşik, solunum kompanzasyonu, VO_{2max} ile egzersiz sonrası alaktik ve laktik evreler ayrı ayrı belirlenmiş; her evreye ait oksijen tüketimi alanları trapezoidal yöntemle hesaplanmıştır. Verilerin analizinde IBM SPSS 26.0 programı kullanılmış; normallik Shapiro--Wilk testi ile değerlendirilmiş, değişkenler arasındaki ilişkiler Pearson korelasyon ve çoklu doğrusal regresyon analizleriyle incelenip anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edilmiştir. Bulgular, VO_{2max} ve oksijen açığının EPOC alanı ile en güçlü ilişkileri gösteren değişkenler olduğunu (örneğin, oksijen açığı ile total EPOC arasında anlamlı pozitif korelasyon, $r=0.403$, $p<0.05$) ortaya koymuştur. Ancak, EPOC bileşenlerini yordamaya yönelik çoklu doğrusal regresyon modelleri istatistiksel anlamlılığa ulaşmamıştır ($p>0.05$). Sonuç olarak, dayanıklılık sporlarında aerobik kapasitenin toparlanma sürecinde temel bir rol oynadığı, enerji sistemlerine özgü fizyolojik taleplerin ise EPOC bileşenlerinde branşa özgü değişkenlik yarattığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Anaerobik eşik, EPOC, Oksijen açığı, VO_{2max} , Dayanıklılık sporları, Branşa özgü toparlanma, Trapezoidal yöntem.

Abstract

This study investigated the effects of physiological variables obtained during and after an incremental exercise test protocol on the excess post-exercise oxygen consumption (EPOC) area by applying the trapezoidal method in different endurance sport disciplines (rowing, triathlon, and orienteering). A total of 22 male endurance athletes with a mean age of 20.1 ± 2.3 years participated in the study. All participants completed an incremental exercise protocol under standardized environmental conditions, and respiratory parameters were recorded using a portable gas analysis system (COSMED K5). During the exercise process, reference values, oxygen deficit, anaerobic threshold, respiratory compensation point, VO_{2max} , as well as post-exercise alactic and lactic phases were identified separately, and the oxygen consumption areas corresponding to each phase were calculated using the trapezoidal method. Data were analyzed using IBM SPSS version 26.0; normality was assessed with the Shapiro--Wilk test, and relationships between variables were examined using Pearson correlation and multiple linear regression analyses ($p < 0.05$). The findings revealed that VO_{2max} and oxygen deficit showed the strongest associations with the EPOC area (e.g., a significant positive correlation for oxygen deficit with total EPOC, $r=0.403$, $p<0.05$). However, the overall multiple linear regression models predicting EPOC components did not reach statistical significance ($p>0.05$). In conclusion, aerobic capacity plays a fundamental role in the recovery process in endurance sports, while sport-specific physiological demands related to energy systems lead to discipline-specific variations in EPOC components.

Keywords: Anaerobic threshold, EPOC, Oxygen deficit, VO_{2max} , Endurance sports, Sport-specific recovery, Trapezoidal method.

Spor ve Bilim Dergisi 4(1):110-127
e-ISSN: 2980-2067
Sorumlu yazar: Yaşar TUNÇ,
0000-0003-4467-8764,
ysrtnc.47@gmail.com

Künye: 1.Tunç, Y. & 2.Deliceoğlu, G. (2026). Artan yükleme test protokolünün egzersiz sonrası oksijen tüketimi (EPOC) alanı üzerindeki etkisi: Trapezoidal yöntem. Spor ve Bilim Dergisi, 4(1), 110-127.

Tarihler:
Geliş: 08.12.2025
Kabul: 28.12.2025
Yayın: 30.01.2026

GİRİŞ

Dayanıklılık sporlarında performansı belirleyen temel faktörlerden biri, yüklenmeler arasındaki toparlanmanın etkinliğidir. Toparlanma sürecinin nicel bir göstergesi olan Egzersiz Sonrası Fazla Oksijen Tüketimi (EPOC), organizmanın homeostazı yeniden sağlamak için harcadığı enerji maliyetini yansıtır ve dolayısıyla sonraki performansı doğrudan etkileyebilir (Børsheim & Bahr, 2003). Özellikle artan şiddetli egzersiz testleri gibi maksimal yüklenmeleri takiben, EPOC büyüklüğünün dayanıklılık sporcularında aerobik kapasite (VO_{2max}), anaerobik eşik ve enerji sistemlerinin kullanımı gibi fizyolojik parametrelerle ilişkili olduğu düşünülmektedir (LaForgia ve ark., 2006; Tomlin & Wenger, 2001). Bu nedenle, farklı dayanıklılık branşlarındaki sporcuların egzersiz sırasındaki fizyolojik yanıt profillerinin, toparlanma metabolizması (EPOC) üzerinde branşa özgü etkiler yaratıp yaratmadığının incelenmesi önem taşımaktadır. Dayanıklılığı etkileyen içsel ve dışsal faktörler (ortam koşulları, antrenman durumu, cinsiyet ve özellikle VO_{2max} gibi oksijen kullanım kapasitesi) performansı şekillendirir (Seiler, 2010). Yüklenmeler sırasında ortaya çıkan oksijen açığı ve enerji dengesindeki değişimler, toparlanma döneminin verimliliğini ve dolayısıyla EPOC'u doğrudan etkileyebilmektedir (Hoffman & Stuempfle, 2014; Heydenreich ve ark., 2017). Enerji dengesinin bozulması ise performans düşüşüne yol açabilen olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir (Arrese & Ostáriz, 2006).

EPOC kavramı, tarihsel olarak 'oksijen borcu' (oxygen debt) terimiyle ilişkilendirilmiştir. Klasik oksijen borcu teorisi, toparlanmadaki fazla oksijen tüketimini öncelikle laktik asidin uzaklaştırılmasına ve yüklenme sırasında oluşan anaerobik metabolizma ürünlerinin temizlenmesine bağlamaktaydı (Margaria ve ark., 1933). Ancak, ilerleyen araştırmalar, EPOC'un çok daha kapsamlı fizyolojik süreçlerin toplam enerji maliyetini temsil ettiğini göstermiştir. Bu süreçler arasında, hızlı evrede fosfokreatin (PCr) depolarının yenilenmesi, miyogloblin ve hemoglobinin yeniden oksijenlenmesi, artan vücut sıcaklığının düşürülmesi ve hormonal dengein sağlanması; yavaş evrede ise laktat klirensinin yanı sıra, artan solunum ve dolaşım aktivitesi, yağ asidi döngüsünün yeniden düzenlenmesi ve hücresel onarım süreçleri yer alır (Gaesser & Brooks, 1984; Børsheim & Bahr, 2003). Bu nedenle, modern literatürde EPOC, 'oksijen borcundan daha geniş bir anlama sahip olup, egzersiz sonrası tüm homeostatik restorasyon sürecinin metabolik bedelini ifade eden tercih edilen kavram haline gelmiştir. Bu çalışmada da bu modern ve kapsayıcı çerçeve benimsenmiştir.

EPOC'un değerlendirilmesi, sadece ulaşılan maksimum oksijen tüketimi (VO_{2max}) ile değil, toparlanma sürecinde oksijen tüketiminin zamana bağlı azalma eğrisinin altında kalan toplam

alan ile ilişkilidir. Bu alanın hesaplanmasında, literatürde sıklıkla trapezoidal yöntem gibi sayısal integrasyon yaklaşımları kullanılmaktadır. Bu yöntem, ardışık ölçüm noktaları arasında oluşan alanların (trapezler) toplamını alarak, egzersiz sonrası oksijen tüketim eğrisinin altındaki toplam fazlalığı nicel olarak belirlemeye olanak tanımaktadır ve farklı egzersiz şiddetlerinin EPOC üzerindeki etkilerinin karşılaştırılmasında pratik ve güvenilir bir teknik olarak kabul edilmektedir (Artioli ve ark., 2012; Hazell ve ark., 2012).

Literatürde yapılan çalışmalarda EPOC'un ortaya çıkış mekanizmaları farklı fizyolojik değişkenler üzerinden açıklanmış olsa da, genel olarak yaş, cinsiyet, yüklenme şiddeti, yüklenme süresi ve toparlanma türü gibi faktörlere bağlı olduğu ve araştırmaların bu parametreler üzerine yoğunlaştığı görülmektedir (McArdle ve ark., 2010; Brooks ve ark., 2005). Ancak egzersiz sırasında farklı şiddetlerde ortaya çıkan egzersiz evrelerinin (örn., oksijen açığı, anaerobik eşik, solunum kompanzasyonu ve VO_{2max} evreleri) EPOC'un hızlı ve yavaş bileşenleri üzerindeki spesifik etkilerini inceleyen deneysel çalışmaların sınırlı olduğu dikkat çekmektedir. Bu doğrultuda, çalışmamızın amacı artan yüklenme testinde farklı şiddetlere bağlı egzersiz alanlarının EPOC'un hızlı ve yavaş evreleri üzerindeki etkilerini ortaya koymak, ayrıca bu parametreler arasındaki korelasyonları değerlendirerek performans ve fizyolojik yanıtlar üzerindeki ilişkilerini incelemektir.

YÖNTEM

Bu çalışma, kesitsel tarama araştırma modeline dayalı olarak tasarlanmıştır. Kesitsel tarama modeli, belirli bir zaman dilimi içerisinde katılımcılardan tek oturumda elde edilen verilerin analiz edilmesine olanak tanıyan bir araştırma yaklaşımıdır. Kesitsel tarama modeli, mevcut durumun betimlenmesi ve değişkenler arasındaki ilişkilerin incelenmesi amacıyla sıklıkla tercih edilen bir yöntem olarak tanımlanmaktadır (Büyüköztürk ve ark., 2016).

Çalışma Tasarımı

Araştırma süreci çok oturumlu bir yapı içerisinde yürütülmüştür. Tüm test oturumları arasında, katılımcıların tamamen toparlanmalarını ve önceki oturumun etkilerinin ortadan kalkmasını sağlamak amacıyla en az 48 saat dinlenme süresi bırakılmıştır. Katılımcıların ilk ziyaretlerinde kişisel bilgileri kaydedilmiş, uygulanacak testler hakkında ayrıntılı bilgilendirme yapılmış ve yazılı aydınlatılmış onam formları temin edilmiştir. İkinci ziyarette antropometrik değerlendirme kapsamında boy uzunluğu ve vücut kütlesi ölçümleri gerçekleştirilmiş, ardından katılımcıların test protokolüne uyum sağlamaları amacıyla alıştırmaya testleri uygulanmıştır. Son ziyarette ise ölçümler öncesinde katılımcılardan standart bir ısınma gerçekleştirmeleri istenmiş; ısınma

sürecinin ardından artan yüklenmeli koşu bandı testi uygulanarak solunumsal veriler Cosmed K5 sistemi aracılığıyla kaydedilmiştir. Katılımcıların oksijen tüketim düzeylerinin değerlendirilmesi amacıyla ölçümler üç ayrı aşamada gerçekleştirilmiştir. Oksijen tüketimi verileri; egzersiz öncesi dinlenik durumda, koşu bandında uygulanan artan yüklenmeli egzersiz testi sırasında ve egzersizin tamamlanmasını izleyen toparlanma döneminde sürekli olarak kaydedilmiştir. Böylece oksijen tüketiminin hem egzersiz sürecindeki değişimi hem de egzersiz sonrası toparlanma evresindeki seyri kapsamlı bir biçimde izlenmiştir.

Katılımcılar/Araştırma Grubu

Bu çalışmanın örneklem grubunu, dayanıklılık spor branşlarında aktif olarak yer alan ve haftada en az üç gün düzenli antrenman yapan toplam 22 erkek sporcu oluşturmuştur. Katılımcıların yalnızca erkeklerden oluşması, cinsiyetler arasında hormon profili, vücut kompozisyonu ve metabolik yanıtlarda farklılıklar olması nedeniyle EPOC gibi bir metabolik yanıt değişkeninde potansiyel karıştırıcı etkiyi kontrol altına almak amacıyla bilinçli bir tercihtir. Tüm katılımcılar, en az üç yıldır resmi müsabakalarda yer alma geçmişine sahip olup, ulusal veya bölgesel düzeyde rekabet eden amatör sporculardan oluşmaktadır. Test protokolünün uygulanmasını engelleyebilecek herhangi bir akut veya kronik hastalık ya da sakatlık durumu bulunmamaktadır. Sporcuların branşlara göre dağılımı; sekiz kürekçi, yedi triatloncu ve yedi oryantiring sporcusu şeklindedir. Gruplar arası performans seviyesinin genel olarak karşılaştırılabilir olduğunu göstermek amacıyla, katılımcıların testlerde ölçülen VO_{2max} değerleri 48.2 ile 68.7 $mL \cdot kg^{-1} \cdot dk^{-1}$ aralığında yer almıştır (Tablo 1).

Çalışmaya dahil edilen tüm katılımcılara araştırma süreci ve uygulanacak test protokolü ayrıntılı biçimde açıklanmış; gönüllü katılım esasına dayalı olarak yazılı aydınlatılmış onam formları imzalatılmıştır. Katılımcılara herhangi bir finansal teşvik veya ücret ödenmemiştir. Testlerin standardizasyonunu sağlamak amacıyla katılımcılardan, test öncesindeki günlerde uyku düzenlerini korumaları ve en az sekiz saat uyumaları, testten önceki 24 saatlik süre içerisinde ve test günü herhangi bir antrenman gerçekleştirmemeleri, alkol ve kafein tüketiminden kaçınmaları istenmiştir. Ayrıca test gününde ölçümlerin başlamasından en az üç saat önce kahvaltılarını tamamlamaları talep edilmiştir.

Tablo 1. Erkek (n=22) dayanıklılık sporcularının demografik ve performans bilgileri

Spor Branşı	Sporcu Sayısı	Yaş (yıl) $\bar{X} \pm SS$ (Min-Maks)	Boy (cm) $\bar{X} \pm SS$ (Min-Maks)	Vücut ağırlığı (kg) $\bar{X} \pm SS$ (Min-Maks)	Spor Yaşı (yıl) $\bar{X} \pm SS$ (Min-Maks)
Kürek	8	22,38 $\pm$ 2,88 (18–25)	176,88 $\pm$ 3,98 (172–183)	69,88 $\pm$ 3,80 (40–85)	4,75 $\pm$ 1,48 (3–7)
Triatlon	7	22,09 $\pm$ 2,34 (18–27)	177,27 $\pm$ 5,24 (166–184)	65,72 $\pm$ 5,02 (60–75)	6,09 $\pm$ 1,14 (4–8)
Oryantring	7	23,71 $\pm$ 3,15 (18–28)	175,71 $\pm$ 5,35 (169–185)	68,29 $\pm$ 4,96 (61–75)	5,43 $\pm$ 2,71 (3–7)

İstatistiksel Analiz

Araştırmada belirlenen alt problemlere ilişkin tüm veriler sistematik olarak düzenlenerek analiz sürecine dâhil edilmiştir. G*Power yazılımı (sürüm 3.1.9.7; Heinrich-Heine University, Düsseldorf, Almanya) kullanılmıştır. Güç analizi, araştırmada kullanılan korelasyon ve çoklu regresyon analizleri temel alınarak gerçekleştirilmiştir. Hesaplama orta düzey etki büyüklüğü ($f^2 = 0,35$), %95 güven düzeyi ($\alpha = 0,05$) ve %80 istatistiksel güç ($1-\beta = 0,80$) kriterleri esas alınmıştır. İstatistiksel analizler IBM SPSS paket programı (sürüm 22.0) aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro–Wilk testi ile değerlendirilmiştir. Tanımlayıcı istatistikler, ortalama $\pm$ standart sapma ($\bar{X} \pm SS$) şeklinde sunulmuştur. Egzersiz sonrası oksijen tüketimi (EPOC) ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiler Pearson korelasyon ve çoklu doğrusal regresyon analizleri kullanılarak incelenmiş; korelasyon katsayıları 0,00–0,29 çok zayıf, 0,30–0,49 zayıf, 0,50–0,69 orta, 0,70–0,89 yüksek ve 0,90–1,00 çok yüksek ilişki düzeyleri olarak sınıflandırılmıştır. Tüm istatistiksel değerlendirmelerde anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edilmiştir.

Uygulanan Testler/Veri Toplama Prosedürü

Artan yüklenme koşu testi: Maksimum oksijen tüketimi (VO_{2max}), taşınabilir bir kardiyopulmoner egzersiz test sistemi kullanılarak değerlendirilmiştir (Cosmed K5, İtalya; Seri No: 2019030706). Test protokolü, tüm branşlar için standardizasyonu sağlamak amacıyla koşu bandında yürütülmüştür. Bu durumun, özellikle kürek gibi üst vücut dominant bir spor dalındaki sporcuların mutlak performans değerlerini ve fizyolojik eşik yanıtlarını etkilemiş olabileceği kabul edilmekte ve bu metodolojik sınırlılık 'Tartışma' bölümünde ele alınmıştır. Ölçümlerin doğruluğunu sağlamak amacıyla cihaz, bilinen konsantrasyonlara sahip gaz karışımı (%5,0 CO_2 ve %16,0 O_2) ile test öncesinde kalibre edilmiştir. Egzersiz performansı üzerinde çevresel koşulların olası etkilerini en aza indirmek için ölçümler kontrollü laboratuvar ortamında

gerçekleştirilmiş; ortam sıcaklığı 18--23 °C aralığında, bağıl nem düzeyi ise %70'in altında olacak şekilde sabit tutulmuştur (Crouter ve ark., 2019 Tortu ve ark., 2024).

Sporcuların aerobik kapasitelerinin belirlenmesi ve maksimal tükenme düzeyine ulaşmalarının sağlanması amacıyla koşu bandı ergometresinde artan yüklenmeli bir test protokolü uygulanmıştır. Test öncesinde katılımcılar, $6 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ hızda 3 dakika süreyle standart bir ısınma gerçekleştirmiştir. Isınma evresinin ardından, önceden programlanan koşu bandı üzerinde egzersiz testi başlatılmış ve her 90 saniyede bir hız $1 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$, eğim ise %0,5 oranında artırılmıştır. Test süresince katılımcılar, yük artışları hakkında sözlü olarak bilgilendirilmiştir. Uygulanan protokol, literatürde Barbosa ve ark. (2020) tarafından tanımlanan artan dereceli koşu bandı testine benzer şekilde planlanmıştır. Testin sonlandırılması, maksimal oksijen tüketimine ulaşıldığını gösteren ölçütlere dayandırılmıştır. Literatürde bildirilen VO_2max kriterlerinden en az üçünün eş zamanlı olarak gözlenmesi, maksimal oksijen kullanım kapasitesine ulaşıldığının göstergesi olarak kabul edilmiştir. Söz konusu kriterlerin sağlanamaması durumunda elde edilen değerler zirve oksijen tüketimi (VO_2max) olarak değerlendirilmiştir (Bogdanis ve ark., 1995).

Egzersiz alanlarının belirlenmesi ve formülü:

Dinlenik oksijen tüketimi: ölçümleri, egzersiz test protokolünün başlangıcında katılımcılar istirahat halindeyken gerçekleştirilmiştir. Dinlenik oksijen tüketiminin belirlenmesi amacıyla, Hp Cosmos sistemi kullanılarak nefes-nefese (breath-by-breath) ölçüm yöntemiyle VO_2 değerleri üç dakika süreyle kesintisiz olarak kaydedilmiştir. Bu ölçüm periyodunda elde edilen ortalama oksijen tüketim değerleri, katılımcıların dinlenik metabolik düzeylerini temsil eden referans değerler olarak değerlendirilmiştir.

Oksijen açığı: Egzersizin başlangıcından itibaren oksijen tüketiminin dinlenik seviyeden çıkarak anaerobik eşik düzeyine ulaşmasına kadar geçen süre içerisinde ortaya çıkan oksijen gereksinimini ifade etmektedir. Bu parametre, artan yüklenme sırasında organizmanın ihtiyaç duyduğu oksijen miktarı ile fiilen tüketilen oksijen arasındaki farkın nicel bir göstergesi olarak ele alınmıştır. Hesaplama sürecinde, zamanla değişen gerçek oksijen tüketim eğrisi $\text{VO}_2(t)$ ile teorik olarak doğrusal kabul edilen ve egzersiz süresince oksijen talebini temsil eden referans eğri arasındaki alan farkı esas alınmıştır.

Anaerobik eşik noktası: Anaerobik eşik değerlendirmeleri, HP Cosmos koşu bandı sistemi kullanılarak breath-by-breath ölçüm yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Anaerobik eşik düzeyi,

noninvaziv yaklaşımlar kapsamında cihaz yazılımı tarafından otomatik olarak hesaplanan solunum değişim oranı (RER) ve V-Slope yöntemi esas alınarak belirlenmiştir. Buna ek olarak, eşik tespiti arteriyal kan laktat konsantrasyonunun $4 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 'ı geçtiği nokta referans alınarak regresyon analizi yöntemi kullanılarak doğrulanmıştır. Regresyon analizinde, solunumsal parametreler (özellikle ventilasyon eşiği- ve karbondioksit üretimi- VCO_2) ile eş zamanlı alınan kan laktat değerleri arasındaki ilişki modellenmiştir.

Solunum kompanzasyon noktası (SKN): Noninvaziv yaklaşımlar birlikte kullanılarak belirlenmiştir. Noninvaziv değerlendirmede, HP Cosmos koşu bandı sisteminin otomatik analiz modülü aracılığıyla hesaplanan solunum değişim oranı (RER) ve V-Slope yöntemi esas alınmıştır. Bununla birlikte, solunum kompanzasyon noktasının doğrulanması amacıyla kan laktat eğrisinde ikinci keskin artışın gözlemlendiği noktanın regresyon analizi yönteminden de yararlanılmıştır.

Maksimum oksijen tüketimi ($\text{VO}_{2\text{max}}$): Artan iş yüküne rağmen oksijen tüketiminde (VO_2) ek bir yükselmenin gözlenmediği nokta esas alınarak belirlenmiştir. Bu temel ölçütü desteklemek amacıyla, çeşitli fizyolojik göstergeler değerlendirmeye alınmıştır. Bu kapsamda; solunum değişim oranının (RER) $\geq 1,15$ düzeyine ulaşması, kalp atım sayısının bireylerin tahmini maksimal kalp atım sayısının %85'ine veya üzerine çıkması ve artan iş yüküne karşın kalp atım hızında ilave bir artışın gözlenmemesi kriterleri dikkate alınmıştır. Söz konusu göstergelerden en az üçünün aynı anda sağlanması, katılımcının maksimal oksijen kullanım kapasitesine ulaştığı şeklinde değerlendirilmiştir. $\text{VO}_{2\text{max}}$ değeri, egzersizin son 30 saniyesi içerisinde kaydedilen VO_2 verilerinin ortalaması alınarak hesaplanmış ve katılımcıların vücut kütlesine göre normalize edilerek $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{dk}^{-1}$ cinsinden ifade edilmiştir.

EPOC alanının belirlenmesi: Egzersiz sonrası fazla oksijen tüketimi (EPOC), toparlanma sürecinde organizmanın metabolik dengesini yeniden kurmaya yönelik fizyolojik yanıtı yansıtmaktadır. Bu çalışmada, egzersizin tamamlanmasının ardından katılımcılar pasif toparlanmaya alınmıştır. Katılımcılar, testin yapıldığı koşu bandının hemen yanına yerleştirilmiş bir sandalyede oturur pozisyonda dinlendirilmiş ve hareket etmemeleri istenmiştir. EPOC ölçümleri, egzersiz bitimini takiben bu standart oturur pozisyonda ayrılmadan aynı laboratuvar ortamında 10 dakika süreyle devam ettirilmiştir. Literatürde, EPOC yanıtının önemli bir bölümünün toparlanmanın ilk 5--10 dakikalık periyodu içerisinde gerçekleştiği bildirilmektedir

(LaForgia ve ark., 2006). Egzersiz sonrası oksijen tüketiminin hızlı ve yavaş fazlarını ayırmak amacıyla VO_2 toparlanma verilerine çift eksponansiyel regresyon modeli uygulanmıştır.

Bu model, VO_2 eğrisinin zamana bağlı olarak hızlı [$A_1 \cdot e^{-k_1/t}$] ve yavaş [$A_2 \cdot e^{-k_2/t}$] olmak üzere iki ayrı bileşene ayrılmasına olanak tanımaktadır. EPOC'un bu iki fazlı yapısı, metabolik temelleri açısından daha önce tanımlanmış olup egzersiz sonrası VO_2 kinetiğinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Bahr & Sejersted, 1991; Gaesser & Brooks, 1984).

Matematiksel olarak model şu şekilde ifade edilir:

$$VO_2(t) = A_1 \cdot e^{-k_1 \cdot t} + A_2 \cdot e^{-k_2 \cdot t}$$

Burada:

- $VO_2(t)$: Zamana bağlı oksijen tüketimi (mL/kg/dk)
- A_1 : Hızlı evrenin başlangıç genliği
- k_1 : Hızlı evrenin azalma katsayısı
- A_2 : Yavaş evrenin genliği
- k_2 : Yavaş evrenin azalma katsayısı
- t : Süre (dakika veya saniye)

Trapez yöntemi ile alan hesaplanması: Bu çalışmada, egzersiz sırasında ve sonrasında elde edilen fizyolojik parametrelerin zamana bağlı değişimini temsil eden eğrilerin altındaki alanlar, sayısal integrasyon yaklaşımlarından biri olan trapezoidal yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. Trapezoidal yaklaşımda, ardışık ölçüm noktaları arasındaki değerler trapezler şeklinde ele alınmakta ve bu trapezlerin alanlarının toplamı hesaplanarak eğri altı alan belirlenmektedir. Sürekli veri içeren fizyolojik ölçümler için bu yöntem yüksek doğruluk ve uygulanabilirlik sağlamaktadır. Hesaplamalarda, dinlenik durumdan toparlanma sonuna kadar her 3 saniyede bir kaydedilen ortalama solunum verileri kullanılmıştır. Egzersiz şiddetine göre tanımlanan farklı fizyolojik evrelere ait eğri altı alanlar ayrı ayrı belirlenmiştir. Trapezoidal yöntemin kullanımı, daha önce EPOC alanının değerlendirilmesine yönelik çalışmalarda da rapor edilmiştir (Artioli ve ark., 2012; Hazell ve ark., 2012; Tortu ve ark. 2024; Tortu & Deliceoglu, 2024).

$$A_{toplam} = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(y_i + y_{i+1})}{2} (x_{i+1} - x_i)$$

Burada:

- y_i ve y_{i+1} : Ardışık iki ölçümdeki dikey eksen değerleri VO_2 temsil eder.
- x_i ve x_{i+1} : Bu değerlere karşılık gelen zaman noktalarıdır.

Egzersiz süresince sporcuların algılanan zorluk düzeyini belirlemek amacıyla, Borg (1982) tarafından geliştirilen Modifiye Borg Algılanan Zorluk Skalası kullanılmıştır. Bu ölçek, dispne şiddetinin 6 ile 20 arasında derecelendirildiği on beş basamaklı bir yapıdan oluşmaktadır. Egzersiz testinin tamamlanmasını takiben katılımcılardan algıladıkları nefes darlığı düzeyini skala üzerinde işaretlemeleri istenmiş ve elde edilen öznel değerlendirmeler kayıt altına alınmıştır (Tuncay, 2010; Tortu ve ark., 2024).

BULGULAR

Tablo 2. Katılımcıların (N = 22) EPOC hızlı evre ve fizyolojik değişkenlerine ait tanımlayıcı istatistikler

Parametreler	Ortalama.	Standart Sapma
Alaktik oksijen borcu (L/dk)	403,60	88,75
Referans (L/dk)	103,84	19,20
Oksijen açığı (L/dk)	1340,51	623,06
Anaerobik eşik (L/dk)	924,57	262,42
Solunum kompanzasyon (L/dk)	944,96	339,79
VO_{2max} (L/dk)	122,09	15,24
Algılanan Zorluk Derecesi	18,7	2,66

Tablo 3. Alaktik oksijen borcunu açıklayan çoklu regresyon ve ilişkili korelasyon analizi

Model	B Katsayıları		β Katsayıları		t	p	Korelasyon		
	B	Std. Sapma	Beta				R_0	R_p	R_{yp}
Sabit	190,574	221,393			,861	,402			
Referans	-1,368	1,394	-,296		-,982	,341	-,267	-,238	-,209
Oksijen açığı	,043	,041	,304		1,060	,305	,393	,256	,226
Anaerobik eşik	,048	,084	,142		,574	,574	-,048	,142	,122
Solunum kompanzasyon	,013	,065	,050		,202	,842	,053	,050	,043
VO_{2max}	1,968	1,473	,338		1,335	,200	,234	,317	,285

a. Bağımlı değişken: Alaktik oksijen borcu
 $R=,523$; $R^2=,273$; $F_{(5-16)}=1,202$; $P=0,352$

Çoklu doğrusal regresyon analizi, alaktik oksijen borcunu açıklamak için kurulan modelin istatistiksel olarak anlamlı olmadığını göstermiştir ($F(5,16) = 1,202$; $p = 0,352$). Tablo 3 incelendiğinde, modelin bağımlı değişkeni açıklama düzeyinin sınırlı olduğu görülmektedir ($R = 0,523$; $R^2 = 0,273$). Bağımsız değişkenler, alaktik oksijen borcundaki toplam varyansın yaklaşık %27,3'ünü açıklamakla birlikte, model kapsamında değerlendirilen referans değer, oksijen açığı, anaerobik eşik, solunum kompanzasyonu ve VO_{2max} değişkenlerinin alaktik oksijen borcu üzerinde anlamlı bir yordayıcı etki göstermediği görülmüştür. Regresyon katsayıları incelendiğinde, alaktik oksijen borcuna en yüksek katkıyı VO_{2max} 'ın sağladığı ($\beta = 0,338$), bunu oksijen açığının izlediği ($\beta = 0,304$) belirlenmiştir. Söz konusu katkılar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p > 0,05$).

Tablo 4. Katılımcıların ($N = 22$) EPOC yavaş evre ve fizyolojik değişkenlerine ait tanımlayıcı istatistikler

Parametreler	Ortalama.	Standart Sapma
Laktik asit oksijen borcu (L/dk)	192,39	42,63
Referans (L/dk)	103,84	19,20
Oksijen açığı (L/dk)	1340,51	623,06
Anaerobik eşik (L/dk)	924,57	262,42
Solunum kompanzasyon (L/dk)	944,96	339,79
VO_{2max} (L/dk)	122,09	15,24

Tablo 5. Laktik asit oksijen borcunu açıklayan çoklu regresyon ve ilişkili korelasyon analizi

Model	B Katsayıları		β Katsayıları			Korelasyon		
	B	Std. Sapma	Beta	t	p	R_0	R_p	R_{yp}
Sabit	46,922	98,538		,476	,640			
Referans	-,755	,620	-,340	-1,218	,241	-,089	-,291	-,241
Oksijen açığı	,013	,018	,191	,718	,483	,236	,177	,142
Anaerobik eşik	,061	,037	,375	1,631	,122	,275	,378	,322
Solunum kompanzasyonu	-,015	,029	-,122	-,529	,604	-,159	-,131	-,105
VO_{2max}	1,348	,656	,482	2,055	,057	,370	,457	,406

b. Bağımlı değişken: Laktik asit oksijen borcu
 $R=,613$; $R^2=,376$; $F(5-16)=1,926$; $P=0,146$

Laktik asit oksijen borcu için kurulan çoklu doğrusal regresyon modeli istatistiksel olarak anlamlı değildir ($F(5,16) = 1,926$; $p = 0,146$). Tablo 5'e incelendiğinde, modelin bağımlı değişkeni yordama düzeyinin orta ölçekli olduğu saptanmıştır ($R = 0,613$; $R^2 = 0,376$). Bağımsız değişkenler toplam varyansın yaklaşık %37,6'sını açıklamakla birlikte, düzeltilmiş R^2 değerinin düşük olması modelin genellenebilirliğinin sınırlı olduğunu göstermektedir. Korelasyon analizi sonuçlarına göre, laktik evre oksijen borcu ile VO_{2max} arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki belirlenmiştir ($r = 0,406$; $p < 0,05$). Buna karşılık, laktik evre oksijen borcu ile anaerobik eşik arasında pozitif ancak istatistiksel açıdan anlamlı olmayan bir ilişki gözlenmiştir ($r = 0,275$; $p > 0,05$).

Tablo 6. Katılımcıların ($N = 22$) Total EPOC ve fizyolojik değişkenlerine ait tanımlayıcı istatistikler

Parametreler	Ortalama.	Standart Sapma
Total EPOC (L/dk)	595,99	111,57
Referans (L/dk)	103,84	19,20
Oksijen açığı (L/dk)	1340,51	623,06
Anaerobik eşik (L/dk)	924,57	262,42
Solunum kompanzasyon (L/dk)	944,96	339,79
VO_{2max} (L/dk)	122,09	15,24

Tablo 7. Total EPOC'u açıklayan çoklu regresyon ve ilişkili korelasyon analizi

Model	B Katsayıları		β Katsayıları		t	p	Korelasyon		
	B	Std. Sapma	Beta				R_0	R_p	R_{yp}
Sabit	237,496	256,622			,925	,368			
Referans	-2,124	1,615	-,365		-1,315	,207	-,246	-,312	-,258
Oksijen açığı	,056	,047	,315		1,190	,251	,403	,285	,234
Anaerobik eşik	,109	,097	,256		1,121	,279	,067	,270	,220
Solunum kompanzasyonu	-,002	,075	-,007		-,029	,977	-,019	-,007	-,006
VO_{2max}	3,316	1,708	,453		1,941	,070	,327	,437	,382

c.Bağımlı değişken: Total EPOC
 $R = ,618$; $R^2 = ,382$; $F(5-16) = 1,978$; $P = 0,137$

Total EPOC'u açıklamak üzere kurulan çoklu doğrusal regresyon modeli istatistiksel anlamlılığa ulaşmamıştır ($F(5,16) = 1,978$; $p = 0,137$). Tablo 7'ye göre modelin yordama gücü orta düzeydedir ($R = 0,618$; $R^2 = 0,382$). Bağımsız değişkenler toplam varyansın %38,2'sini açıklamakla birlikte, düzeltilmiş R^2 değerinin düşük olması modelin genellenebilirliğinin sınırlı olduğunu göstermektedir. Standartlaştırılmış katsayılara göre, total EPOC'un açıklanmasında en yüksek katkı VO_{2max} 'tan ($\beta = 0,453$) sağlanmış, bunu negatif yönde referans ($\beta = -0,365$) ve oksijen açığı ($\beta = 0,315$) izlemiştir. Ancak bu değişkenlerin hiçbiri istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır ($p > 0,05$). Diğer değişkenlerin total EPOC üzerindeki etkileri de anlamlı değildir. Korelasyon analizi sonucunda, total EPOC ile oksijen açığı arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki saptanmıştır ($r = 0,403$; $p < 0,05$). VO_{2max} ile total EPOC arasında ise pozitif yönde, ancak istatistiksel anlamlılığa ulaşmayan bir ilişki gözlenmiştir ($r = 0,327$; $p = 0,080$).

TARTIŞMA

Bu çalışmanın temel amacı, artan yüklenme testi sırasında farklı egzersiz şiddetlerine karşılık gelen fizyolojik alanların, egzersiz sonrası oksijen tüketiminin (EPOC) hızlı ve yavaş evreleri üzerindeki etkilerini incelemek ve bu ilişkileri trapezoidal yöntem kullanarak nicel olarak ortaya koymaktır.

EPOC'un Hızlı Evresinin (Alaktik Oksijen Borcu) Belirleyicileri

Bu çalışmada alaktik oksijen borcunu etkileyen fizyolojik parametreler çoklu regresyon analizi ile incelenmiştir. Elde edilen bulgular, oluşturulan modelin bağımlı değişkendeki varyansın sınırlı bir bölümünü açıkladığını göstermektedir ($R^2 = 0,221$). Düzeltilmiş R^2 değerinin negatif olması ve modelin genel anlamlılık düzeyine ulaşmaması ($p > 0,05$), alaktik oksijen borcunun tek başına bu değişkenlerle yeterince açıklanamadığını düşündürmektedir. Bununla birlikte, standartlaştırılmış regresyon katsayıları oksijen açığı ve VO_{2max} değişkenlerinin alaktik oksijen borcuna görece daha yüksek katkı sağladığını, ancak bu katkıların istatistiksel anlamlılık düzeyine ulaşmadığını ortaya koymuştur. Öte yandan, tanımlayıcı analizler ve korelasyon eğilimleri, egzersizin başlangıcında ortaya çıkan oksijen açığı ile alaktik oksijen borcu arasında bir ilişki olabileceğine işaret etmekle birlikte, bu ilişki mevcut çalışmada istatistiksel anlamlılık düzeyine ulaşmamıştır. Literatürde Margaria ve arkadaşları (1933), egzersizin ilk aşamalarında enerji gereksiniminin büyük ölçüde ATP-PCr sistemi tarafından karşılandığını ve bu sistemin yeniden sentezinin egzersiz sonrası hızlı oksijen tüketimi artışının temelini oluşturduğunu bildirmiştir. Bu klasik yaklaşımı takiben yapılan güncel çalışmalar da EPOC'un hızlı evresinin, özellikle alaktik enerji sistemine bağlı fizyolojik süreçlerle yakından ilişkili

olduğunu ortaya koymaktadır. Nitekim son yıllarda yapılan araştırmalarda, egzersiz sonrası hızlı EPOC bileşeninin büyük ölçüde fosfokreatin resentezi ile kas içi oksijen depolarının (hemoglobin ve miyogloblin) yeniden doldurulmasına bağlı olduğu vurgulanmaktadır (Burnley & Jones, 2018; Poole ve ark., 2016).

Bu bağlamda, çalışmamızda gözlemlenen ve istatistiksel olarak anlamlılık düzeyine ulaşmamakla birlikte pozitif yönde seyreden ilişki eğilimi, alaktik oksijen borcunun oksijen açığı ile ilişkili fizyolojik mekanizmalar üzerinden şekillenebileceğine işaret etmektedir. Benzer şekilde Gaesser ve Brooks (1984), EPOC'un hızlı bileşeninin esas olarak fosfokreatin resentezi ve oksijen depolarının yeniden doldurulmasına bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Güncel literatür, bu görüşü destekler nitelikte olup, özellikle yüksek şiddetli egzersizler sonrasında ATP-PCr sisteminin yeniden yapılandırılmasının EPOC'un erken dönemindeki oksijen tüketimini belirleyen temel faktörlerden biri olduğunu göstermektedir (Jones ve ark., 2010; Saunders ark., 2004).

Dolayısıyla çalışmamızdan elde edilen bulgular, alaktik oksijen borcunun özellikle oksijen açığıyla ilişkili fizyolojik süreçler üzerinden şekillendiğini ve bu sürecin güncel fizyolojik modellerle uyumlu olduğunu ortaya koymaktadır. EPOC'un Yavaş Evresinin (laktasid Oksijen Borcu) Belirleyicileri

EPOC'un hızlı evresine ilişkin bulguların ardından, toparlanmanın ikinci bileşeni olan yavaş evre (laktasid oksijen borcu) değerlendirilmiştir. EPOC'un yavaş evresini açıklamak üzere kurulan çoklu doğrusal regresyon modeli istatistiksel olarak anlamlı değildir ($F(5,16) = 1,926$; $p = 0,146$). Bu nedenle, model içindeki bireysel değişkenlerin (VO_{2max} , oksijen açığı vb.) katkıları yorumlanamaz. Ancak, çalışmamızın önemli bir bulgusu, basit korelasyon analizi ile ortaya çıkmıştır. VO_{2max} ile EPOC yavaş evresi arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki saptanmıştır ($r = 0,406$; $p < 0,05$). Bu bulgu, bireylerin maksimal aerobik kapasitelerinin, toparlanmanın yavaş evresindeki oksijen tüketimi miktarı ile doğrudan ilişkili olabileceğini düşündürmektedir. Meyer vd., (2005), yüksek aerobik kapasiteye sahip sporcuların egzersiz sonrası toparlanma döneminde daha uzun süreli oksijen tüketim artışı sergilediklerini ve bu durumun EPOC'un yavaş fazıyla yakından ilişkili olduğunu bildirmiştir. Ayrıca Saunders vd. (2004), dayanıklılık antrenmanına uyum sağlamış bireylerde laktat uzaklaştırma süreçlerinin daha etkin olduğunu ve toparlanma evresinde oksijen kullanımının optimize edildiğini göstermiştir.

EPOC'un hızlı ve yavaş evreleri literatürde farklı metabolik mekanizmalarla açıklanmaktadır. Tomlin ve Wenger (2001), hızlı evrede ATP-PCr depolarının yeniden sentezinin temel belirleyici

olduğunu ve antrenmanlı bireylerde bu evrede daha yüksek oksijen tüketimi gözlemlendiğini ifade etmiştir. Çalışmamızda farklı egzersiz evrelerine bağlı olarak hesaplanan EPOC alanlarının, egzersiz şiddetine göre hızlı ve yavaş fazlarda farklı yanıtlar oluşturduğu görülmüştür

Total EPOC'un Belirleyicileri

Total EPOC'a ilişkin bulgular, oluşturulan regresyon modelinin toplam varyansın yaklaşık %38,2'sini açıkladığını, ancak modelin istatistiksel anlamlılık düzeyine ulaşmadığını göstermiştir. Standartlaştırılmış katsayılar incelendiğinde, total EPOC'un açıklanmasında VO_2max ve oksijen açığının görece daha yüksek katkı sunduğu görülmüştür. Korelasyon analizi sonuçları da bu bulguları destekler nitelikte olup, total EPOC ile oksijen açığı arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki bulunurken, VO_2max ile total EPOC arasında pozitif yönde ancak istatistiksel anlamlılığa ulaşmayan bir ilişki saptanmıştır. Bu sonuçlar, egzersiz sonrası toparlanma sürecinde hem aerobik kapasitenin hem de egzersiz başlangıcında ortaya çıkan oksijen açığının önemli rol oynadığını düşündürmektedir.

Literatürde EPOC büyüklüğünün egzersiz şiddetiyle yakından ilişkili olduğu ve şiddet arttıkça hem hızlı hem de yavaş faz EPOC yanıtının belirginleştiği bildirilmektedir. Børsheim ve Bahr (2003), yüksek şiddetli egzersizlerin toparlanma sırasında daha büyük bir EPOC yanıtı oluşturduğunu vurgulamışlardır. Çalışmamızda VO_2max 'ın total EPOC üzerinde öne çıkan bir değişken olması, aerobik kapasitenin toparlanma fizyolojisindeki kritik rolünü desteklemektedir. Buna ek olarak, oksijen açığı ile total EPOC arasında saptanan anlamlı ilişki, egzersizin başlangıç evresinde devreye giren anaerobik enerji katkısının toparlanma sürecine yansıdığını göstermektedir. Bu bulgular, daha önce yapılan çalışmalarla da uyumludur (LaForgia ark., 2006). VO_2max düzeyi yüksek sporcularda egzersiz sonrası toparlanma sürecinde oksijen tüketiminin daha belirgin olduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde Juel ark. (2004), egzersiz başlangıcında oluşan oksijen açığının toparlanma dinamikleriyle ilişkili olduğunu rapor etmiştir. Çalışmamızın bulgularını yorumlarken, bazı metodolojik sınırlılıkların göz önünde bulundurulması önemlidir. Öncelikle, nispeten küçük örneklem büyüklüğü ($n=22$), istatistiksel analizlerin gücünü sınırlamış ve regresyon modellerinin anlamlılık düzeyine ulaşmasını zorlaştırmış olabilir. İkincisi, tüm branşlar için standardizasyon amacıyla seçilen koşu bandı testi, özellikle kürekçiler için branşa özgü olmayan bir egzersiz modudur; bu durumun, mutlak performans değerlerini ve buna bağlı fizyolojik yanıtları etkilemiş olma ihtimali vardır. Son olarak, EPOC'u etkileyebilecek diğer potansiyel faktörler (örneğin, diyet, hidrasyon durumu, bazal metabolik hız) kontrol edilmemiş veya ölçülmemiştir. Bu sınırlılıklar, gözlemlenen anlamlı korelasyonların (VO_2max -yavaş EPOC

ve oksijen açığı-total EPOC) gücünü azaltmamakla birlikte, bu ilişkilerin daha büyük ve daha heterojen örneklemelerde, branşa özgü test protokolleri ile doğrulanması gerektiğini göstermektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada, egzersiz sonrası oksijen tüketiminin (EPOC) hızlı ve yavaş evreleri ile total EPOC'un belirleyicileri incelenmiş; fizyolojik değişkenlerin toparlanma yanıtları üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, total EPOC ile oksijen açığı arasında pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmıştır. Bu durum, egzersiz başlangıcında devreye giren anaerobik enerji katkısının ve buna bağlı fosfokreatin yeniden sentezinin toparlanma sürecinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Ayrıca EPOC'un yavaş evresi ile VO_{2max} arasında anlamlı bir ilişki bulunması, aerobik kapasitenin özellikle uzun süreli toparlanma maliyetinin belirlenmesinde kritik bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır.

Buna karşın, dinlenik oksijen tüketimi, anaerobik eşik ve solunum kompanzasyonu değişkenlerinin EPOC'un hızlı ve yavaş evreleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir katkı sağlamadığı belirlenmiştir. Korelasyon analizlerinde bazı fizyolojik parametreler ile EPOC bileşenleri arasında anlamlı ilişkiler saptanmasına rağmen, regresyon analizlerinde oluşturulan modellerin genel olarak hedef parametreleri istatistiksel düzeyde yeterli biçimde yordayamadığı görülmüştür. Bu durumun, çalışmanın örneklem büyüklüğünün sınırlı olmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Özellikle çoklu regresyon modellerinde değişken sayısının artmasıyla birlikte, sınırlı örneklem büyüklüğünün model gücünü ve yordama kapasitesini azalttığı bilinmektedir.

Bu bağlamda, elde edilen bulgular korelasyon düzeyinde fizyolojik ilişkilerin varlığına işaret etmekle birlikte, bu ilişkilerin neden-sonuç düzeyinde açıklanabilmesi için daha geniş örneklem gruplarıyla gerçekleştirilecek ileri çalışmalara ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Gelecek araştırmalarda, daha yüksek örneklem büyüklükleri ile farklı egzersiz şiddetleri ve sürelerinin EPOC üzerindeki etkilerinin incelenmesi; ayrıca biyokimyasal göstergelerin ve farklı toparlanma protokollerinin analize dahil edilmesi, EPOC'un belirleyicilerinin daha kapsamlı biçimde ortaya konmasına katkı sağlayacaktır.

Sınırlılıklar

Çalışmaya triatlon, kürek ve oryantiring sporunu aktif yapan en az 3 yıllık spor geçmişi olan 22 erkek sporcu ile sınırlıdır.

Etik Beyanı

Bu alışma, Helsinki Bildirgesinde yer alan ilkeler doğrultusunda yürütülmüş ve Gazi Üniversitesi, Giriřimsel Olmayan Etik Kurulu'nun E-77082166-302.08.01-1091540 sayılı, 19.11.2024 tarihli kararı ile onaylanmıştır.

Yazar Katkıları

Çalışma kurgusu: YT, GD; Denetim: YT, GD; Literatür denetimi: YT, GD; Yazım: YT ; Eleřtirel İnceleme: YT, GD.

KAYNAKLAR

- Arrese, A. L., and Ostáriz, E. S. (2006). Skinfold thicknesses associated with distance running performance in highly trained runners. *Journal of Sports Sciences*, 24(1), 69-76. <https://doi.org/10.1080/02640410500127751>
- Artioli, G. G., Bertuzzi, R. C., Roschel, H., Mendes, S. H., Lancha Jr, A. H., and Franchini, E. (2012). Determining the contribution of the energy systems during exercise. *Journal of Visualized Experiment*, 20(61), 3413. <https://doi.org/10.3791/3413>
- Bahr, R., and Sejersted, O. M. (1991). Effect of intensity of exercise on excess postexercise O₂ consumption. *Metabolism*, 40(8), 836-841. [https://doi.org/10.1016/0026-0495\(91\)90012-L](https://doi.org/10.1016/0026-0495(91)90012-L)
- Barbosa, F. P., Silva, P. E., Guimarães, A. C., Pernambuco, C. S., and Dantas, E. H. (2020). Prediction of maximum oxygen uptake through incremental exercise testing using ventilometry: a cross-sectional study. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 24(4), 365-372. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2019.07.002>
- Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Boobis, L. H., Lakomy, H. K., and Nevill, A. M. (1995). Recovery of power output and muscle metabolites following 30 s of maximal sprint cycling in man. *The Journal of Physiology*, 482(2), 467-480. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1995.sp020533>
- Borg, G. (1982). A category scale with ratio properties for intermodal and interindividual comparisons. In H. G. Geissler, and P. Petzold (Eds.), *Psychophysical judgment and the process of perception* (pp. 25-34). VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Børsheim, E., and Bahr, R. (2003). Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. *Sports Medicine*, 33(14), 1037-1060. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333140-00002>
- Brooks, G. A., Fahey, T. D., & Baldwin, K. M. (2005). *Exercise physiology: human bioenergetics and its applications*. McGraw-Hill:Boston
- Burnley, M., & Jones, A. M. (2018). Power-duration relationship: Physiology, fatigue, and the limits of human performance. *European Journal of Sport Science*, 18(1), 1-12.
- Büyüköztürk, Ş., Çakmak, E. K., Akgün, Ö. E., Karadeniz, Ş. ve Demirel, F. (2016). *Bilimsel araştırma yöntemleri* (2. Baskı). Pegem Akademi.
- Crouter, S. E., LaMunion, S. R., Hibbing, P. R., Kaplan, A. S., and Bassett Jr, D. R. (2019). Accuracy of the Cosmed K5 portable calorimeter. *PLoS One*, 14(12), e0226290. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226290>
- Gaesser, G. A., and Brooks, C. A. (1984). Metabolic bases of excess post-exercise oxygen. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16(1), 29-43.
- Hazell, T. J., Olver, T. D., Hamilton, C. D., and Lemon, P. W. (2012). Two minutes of sprint-interval exercise elicits 24-hr oxygen consumption similar to that of 30 min of continuous endurance exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 22(4), 276-283. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.22.4.276>
- Heydenreich, J., Kayser, B., Schutz, Y., and Melzer, K. (2017). Total energy expenditure, energy intake, and body composition in endurance athletes across the training season: a systematic review. *Sports Medicine-Open*, 3, 1-24. <https://doi.org/10.1186/s40798-017-0076-1>
- Hoffman, M. D., and Stuempfle, K. J. (2014). Hydration strategies, weight change and performance in a 161 km ultramarathon. *Research in Sports Medicine*, 22(3), 213-225. <https://doi.org/10.1080/15438627.2014.915838>
- Jones, A. M., Poole, D. C., Grassi, B., & Christensen, P. M. (2010). The slow component of VO₂ kinetics: mechanistic bases and practical applications.
- Juel, C., Klarskov, C., Nielsen, J. J., Krustrup, P., Mohr, M., and Bangsbo, J. (2004). Effect of high-intensity intermittent training on lactate and H⁺ release from human skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 286(2), 245-251. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00303.2003>
- Laforgia, J., Withers, R. T., and Gore, C. J. (2006). Effects of exercise intensity and duration on the excess post-exercise oxygen consumption. *Journal of Sports Sciences*, 24(12), 1247-1264. <https://doi.org/10.1080/02640410600552064>

- Margaria, R., Edwards, H. T., and Dill, D. B. (1933). The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. *American Journal of Physiology-Legacy Content*, 106(3), 689-715. <https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1933.106.3.689>
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2010). *Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Meyer, T., Lucia, A., Earnest, C. P., and Kindermann, W. (2005). A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters-theory and application. *International Journal of Sports Medicine*, 26(1), 38-48. <https://doi.org/10.1055/s-2004-830514>
- Poole, D. C., Burnley, M., Vanhatalo, A., Rossiter, H. B., & Jones, A. M. (2016). Critical power: an important fatigue threshold in exercise physiology. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(11), 2320.
- Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R. D., and Hawley, J. A. (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Medicine*, 34(7), 465-485. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434070-00005>
- Seiler, S. (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes?. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 276-291. <https://doi.org/10.1123/ijsp.5.3.276>
- Tomlin, D. L., and Wenger, H. A. (2001). The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Medicine*, 31(1), 1-11. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131010-00001>
- Tortu, E., & Deliceoglu, G. (2024). Comparative Analysis of Energy System Demands and Performance Metrics in Professional Soccer Players: Running vs. Cycling Repeated Sprint Tests. *Applied Sciences*, 14(15), 6518.
- Tortu, E., Hazir, T., & Kin-Isler, A. (2024). Energy system contributions in repeated sprint tests: protocol and sex comparison. *Journal of Human Kinetics*, 92, 87.
- Tortu, E., Ouergui, I., Ulupinar, S., Özbay, S., Gençoğlu, C., & Ardigo, L. P. (2024). The contribution of energy systems during 30-second lower body Wingate anaerobic test in combat sports athletes: Intermittent versus single forms and gender comparison. *PloS one*, 19(5), e0303888.
- Tortu, E., & Deliceoglu, G. (2024). Comparison of energy system contributions in lower body Wingate tests between sexes. *Physical Activity Review*, 12(1).
- Tuncay, F. (2010). The assessment of candidates for cardiopulmonary rehabilitation/Kordiyopulmoner rehabilitasyon uygulanacak hastada degerlendirme. *Turkish Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 17-27.