



ARAŞTIRMA / RESEARCH

Sedanter bireyler ve sporcularda substrat kesişim noktasındaki yağ oksidasyon hızlarının karşılaştırılması

Comparison of fat oxidation rates at substrate intersection in sedentary individuals and athletes

Özgür Günüşti¹, Çiğdem Özdemir¹, Kerem Tuncay Özgünen¹, Abdullah Kılıç², Selcen Korkmaz Eryılmaz², S. Sadi Kurdak¹

¹Çukurova Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı, Adana, Turkey

²Çukurova Üniversitesi, Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu, Adana, Turkey

Cukurova Medical Journal 2019;44(Suppl 1):412-418.

Abstract

Purpose: The aim of this study was to evaluate metabolic responses of athletic and sedentary men at maximal fat oxidation and crossover points that were determined by performance tests.

Materials and Methods: 10 sedentary (22.1 ± 0.5 years) and 11 athletic (22.3 ± 0.6 years) volunteers participated in this study. Participants' exercise tests were performed on a treadmill. Maximal fat oxidation rates and metabolic responses at cross over point (COP) were measured by indirect calorimeter (Cosmed Quark CPET).

Results: Sedentary individuals were classified as overweight whereas athletic individuals were classified as normal according to their body mass indices and sedentary individuals' body fat percentage were significantly higher than athletic participants. Although athletic participants' peak oxygen uptakes were significantly higher, maximal fat oxidation rates were similar at both groups. At COP where oxidation of carbohydrates predominate fat oxidation, both group's oxygen consumption rates were found to be similar. On the other hand, the ratio of oxygen consumption to maximal oxygen uptake at COP was significantly lower in athletic group.

Conclusion: Athletic individuals', whom had higher oxygen uptake capacities, maximal fat oxidation rates and fat oxidation rates at COP were not significantly higher than sedentary individuals. This finding indicates that maximal aerobic capacity might not be the only determinant of fat oxidation.

Keywords: Cardiopulmonary exercise test, cross over point, fat oxidation

Öz

Amaç: Bu çalışmada sporcu ve sedanter bireylerin performans testleri sonucunda tespit edilen en yüksek yağ yakım aralıkları ve substrat kesişim noktalarındaki metabolik değişkenlerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Gereç ve Yöntem: Çalışmaya 10 sedanter (22,1 ± 0,5 yıl) ve 11 sporcu (22,3 ± 0,6 yıl) olmak üzere toplam 21 erkek gönüllü katılmıştır. Katılımcıların egzersiz testleri yürüme bandında indirekt kalorimetre kullanılarak yapılmıştır (Cosmed Quark CPET). Uygulanan iki farklı egzersiz testi sonucunda katılımcıların performans düzeylerine ve yağ oksidasyon hızlarına ait veriler elde edilmiştir.

Bulgular: Beden kitle indekslerine göre sporcular normal, sedanter bireyler ise fazla kilolu sınıfta yer almışlar ve sedanter bireylerin vücut yüzde yağ oranları sporculara kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur. Sporcuların pik oksijen alım seviyeleri anlamlı düzeyde yüksek olmasına karşın, en yüksek yağ oksidasyon hızları sedanter bireylere benzer seviyede tespit edilmiştir. Karbonhidratların baskın enerji kaynağı haline gelmeye başladığı kesişim noktasında, sporcu ve sedanter bireylerin oksijen alım miktarları arasında istatistiksel fark olmamasına karşın, bu değerler maksimal oksijen alım kapasitelerine oranı değerlendirildiğinde sporcu grupta istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur.

Sonuç: Oksijen alım kapasitesi yüksek olan sporcu bireylerin hem en yüksek yağ yakım hızlarının hem de kesişim noktasındaki yağ yakım hızlarının sedanter gruba kıyasla istatistiksel farklılık göstermemesi, yağ oksidasyonunu belirleyen tek faktörün maksimal aerobik kapasite olmayabileceğini düşündürmektedir.

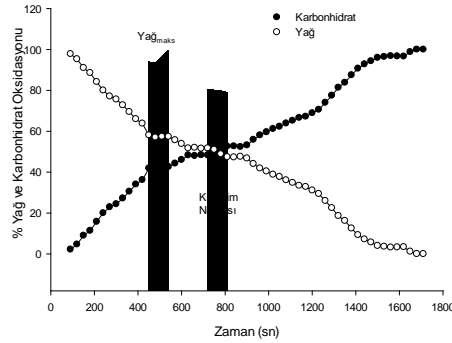
Anahtar kelimeler: Kardiyopulmoner egzersiz testi, kesişim noktası, yağ oksidasyonu

Yazışma Adresi/Address for Correspondence: Dr. Özgür Günüşti, Çukurova Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı, Adana, Turkey E-mail: ogunasti@cu.edu.tr

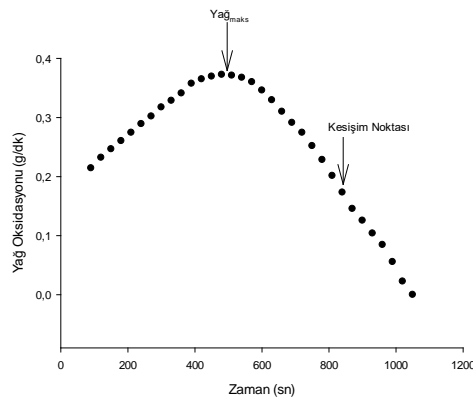
Geliş tarihi/Received: 30.05.2019 Kabul tarihi/Accepted: 07.08.2019 Çevrimiçi yayın/Published online: 27.09.2019

GİRİŞ

İnsan vücudunda metabolik ihtiyaçların karşılanması, besinlerin parçalanmasıyla elde edilen enerjiyle sürdürülebilir. Hem istirahat hem de egzersiz sırasında kullanılan en önemli enerji kaynakları ise yağlar ve karbonhidratlardır. Bu kaynakların harcanan enerjiye katkılarında temel belirleyicilerinden bir tanesi de egzersiz şiddetidir¹. Düşük-orta şiddette egzersizler olarak tanımlanan ve maksimal oksijen alımının (pik $\dot{V}O_2$) % 40-65'i aralığına karşılık gelen yoğunluklardaki egzersizlerde, enerji gereksiniminin baskın olarak yağ oksidasyonundan sağlandığı gösterilmiştir^{1,2}.



Şekil 1. Kesişim noktasının (Cross over point) kuramsal gösterimi.



Şekil 2. En yüksek yağ yakımının gerçekleştiği egzersiz şiddetinin (Yağ_{max}) kuramsal gösterimi.

Literatürde, en yüksek yağ oksidasyonunun gerçekleştiği egzersiz şiddeti Yağ_{max} olarak tanımlanmaktadır³. Ancak egzersiz şiddeti yanında,

yağ oksidasyon hızını cinsiyet, beslenme durumu, performans düzeyi ve yapılan egzersizin türü de etkilemektedir. Bu değişkenlikler göz önünde bulundurularak hazırlanan bireye özgü egzersiz reçetelerinin düzenlenmesinin de egzersiz etkinliğini artırmak anlamında ayrı bir önemi bulunmaktadır⁴. Egzersiz şiddeti arttıkça oksidasyonda kullanılan karbonhidrat miktarı artış göstermekte ve pik $\dot{V}O_2$ 'nin %65 ve üzerindeki egzersiz şiddetlerinde metabolizmaya katılan substratların neredeyse tamamını karbonhidratlar oluşturmaktadır. Karbonhidratların metabolik süreçteki katkısının yağ oksidasyonunu aştığı nokta, kesişim noktası (cross over point) olarak tanımlanmaktadır^{2,5} (Şekil 1 ve Şekil 2).

Yağ oksidasyonunun en yüksek olduğu şiddette yapılan egzersiz uygulamaları, kilo kontrolünün sağlanmasından metabolik hastalıkların kontrol altına alınmasına kadar pek çok noktada tedavinin önemli bir basamağını oluşturmaktadır^{6,7,8}. Metabolizma cevabı açısından bakıldığında, maksimal yağ oksidasyonundan kesişim noktasına doğru devam eden süreçte yağ kullanımının giderek azaldığı görülmektedir (Şekil 1).

Metabolik hastalıklarda, sedanter bireylerde ve sporcu gruplarında kesişim noktasının görüldüğü egzersiz şiddeti ile ilgili çalışmaların sayısı her geçen gün artmaktadır^{4,6,9,10}. Buna karşın sağlıklı sedanter bireyler ile sporcuların yağ oksidasyon hızlarını değerlendiren çalışmalarda, tam bir uzlaşıya ulaşılamamış olduğu görülmektedir^{11,12}.

Bu çalışmada sedanter ile rekreasyonel düzeyde egzersiz yapan bireylerin maksimal yağ oksidasyonları ile substrat kesişim noktasındaki metabolik cevaplarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışma Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Spor Fizyolojisi Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya 10 sedanter ($22,1 \pm 0,5$ yıl) ve 11 sporcu ($22,3 \pm 0,6$ yıl) olmak üzere toplam 21 erkek gönüllü katılmıştır. Tanısı konulmuş bir hastalık öyküsü bulunması yanında ilaç veya sigara kullanımı katılımcılar için dışlama kriteri olarak kabul edilmiştir. Sporcu grup, farklı spor dallarında (futbol, bisiklet, kürek, koşu) rekreasyonel düzeyde düzenli antrenman yapan aktif kişilerden oluşturulmuştur. Çalışma öncesi Çukurova Üniversitesi Etik Kurulu'ndan onay alınmış (Karar No: 68/19/08.09.17) ve Helsinki Bildirgesi ilkelerine uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Tüm katılımcılara çalışma hakkında detaylı bilgi verilmiş ve aydınlatılmış onam imzaları alınmıştır.

Antropometrik ölçümler

Antropometrik ölçümler ilk ziyaret gününde 12 saatlik gece açlığını takiben yapılmıştır. Boy uzunlukları Sport Expert marka stadiometre kullanılarak ayakta ve ayaklar sırt ile aynı hizada olacak şekilde ölçülmüştür. Vücut ağırlıkları ise 0,01 kilogram hassasiyetle ölçüm yapan baskül (Kurdaklar Baskül) ile tespit edilmiştir. Kol, önkol, üst bacak, uyluk ve baldır çevre ölçümleri elastik olmayan mezura kullanılarak ölçülmüştür. Subskapular, triseps, biceps, önkol, abdominal, pektoral, suprailiak, uyluk ve baldır cilt kıvrım kalınlıkları ise aynı kişi tarafından Holtain kaliper kullanılarak tespit edilmiştir. Vücut yüzde yağ oranı Siri formülü ile¹³ kas oranı ise Martin formülü¹⁴ kullanılarak hesaplanmıştır.

Egzersiz testleri ve indirekt kalorimetri

Katılımcılara maksimal kardiyopulmoner egzersiz testi ve Yağ_{maks} testi üzere iki ayrı egzersiz testi yapılmıştır. Testler 24 saat aralıkla, koşu bandı üzerinde (HP Cosmos) ve indirekt kalorimetri (Cosmed Quark CPET) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Testler sırasında kişilerin yüzüne yerleştirilen bir maske aracılığıyla kullanılan O₂ ile ekspire edilen CO₂ miktarları tespit edildi ve bu verilerin kullanılmasıyla tüketilen substrat yüzdesi ile miktarı hesaplanmıştır¹⁵. Süreç içinde nabız ile yürüme hızı değerleri eş zamanlı olarak kaydedilmiştir.

Maksimal Kardiyopulmoner Egzersiz Testi (KPET)

Katılımcıların pik $\dot{V}O_2$ değerlerinin tespiti için maksimal kardiyopulmoner egzersiz testi yapılmıştır. Test 2 saatlik açlığı takiben sabah saatlerinde ve aynı zaman dilimi içerisinde yapılmıştır. Maksimal kardiyopulmoner egzersiz testinin, optimal sonuçların elde edilmesi için 8 – 12 dakika sürmesi amaçlanmış, bu sebeple katılımcılara uygun test protokolü hazırlanmıştır. Bu amaçla, testin başında deneklerden 0° eğimde ve 4 km/saat hızda yürümleri istenmiştir. Sedanter bireyler için koşu bandının hızı her bir dakikada 0,5 km/saat, sporcularda ise 1 km/saat artırılmıştır. Nabızın maksimalin % 90'ına ulaşması, oksijen alımının plato göstermesi, non-protein RQ değerinin 1,15'in üzerine çıkması veya katılımcının artık devam edemeyeceğini sözel olarak

bildirmesi testi bitirme kriteri olarak kabul edilmiştir¹⁶. Sedanter olduğunu beyan eden bireyler için pik $\dot{V}O_2$ değerinin 35 ml/kg/dk'nın üzerinde olması, sporcu olduğunu beyan eden bireylerde ise bu değer 35 ml/kg/dk'nın aşağısında olması dışlama kriteri olarak kabul edilmiştir^{17,18,19,20}. Katılımcının bu testte ulaştığı en yüksek koşu hızı tükenme hızı olarak tanımlanmıştır.

Yağ_{maks} Testi

Yağ yakımının en yüksek olduğu egzersiz şiddeti olarak tanımlanan Yağ_{maks} ve kesişim noktasının tespiti için yapılan ikinci test ise 12 saatlik gece açlığını takiben sabah saatlerinde ve aynı zaman dilimi içerisinde yapılmıştır. Bu testte sedanter bireyler 3 km/saat yürüme hızında egzersize başlarken sporcuların başlangıç yürüme hızı 4 km/saat olarak belirlenmiştir. 2 dakikalık adaptasyondan sonra her 6 dakikada 1 km/saatlik hız artışı yapılmıştır. Non-protein RQ değerinin 1,01'e ulaştığı ve bu katsayının kullanılmasıyla hesaplanan yağ oksidasyon hızının sifira indiği an testin bitirme kriteri olarak kabul edilmiştir¹⁶. Bu test ile elde edilen veriler sayesinde karbonhidrat oksidasyonunun yağ oksidasyonunun üzerine çıktığı egzersiz anı, kesişim noktası olarak tespit edilmiştir². Yüklemeler sonrasında ortaya çıkan O₂ ve CO₂ gaz kinetiklerinin yaklaşık dört dakikada dengeye ulaşması nedeniyle^{21,22} kullanılan substrat miktarının hesaplanmasında, altı dakikalık yüklemelerin son 2 dakikasına ait veriler kullanılmıştır. En yüksek yağ yakım hızının gerçekleştiği egzersiz şiddeti Yağ_{maks} olarak belirlenmiştir^{15,23}. Bu şiddette hesaplanan yağ oksidasyonu miktarı ise maksimal yağ oksidasyonu hızı (MYO) olarak tespit edilmiştir²⁴. Ayrıca bu testten elde edilen veriler kullanılarak, karbonhidrat oksidasyon hızının yağ oksidasyon hızını aştığı nokta kesişim noktası olarak belirlenmiştir⁵ (Şekil 1).

İstatistiksel analiz

İstatistiksel değerlendirmeler SPSS Windows versiyon 21.0 ile yapılmıştır. Veri dağılımı Shapiro – Wilk testi ile değerlendirilmiştir. Normal dağılım gösteren veriler için bağımsız örneklem t testi, normal dağılıma uymayan veriler için ise Mann – Whitney U testi kullanılmıştır. Değerler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir. p<0,05 düzeyi anlamlı olarak kabul edilmiştir. Etkinin anlamlılığı Cohen's d etki büyüklüğü (EB) hesaplanarak belirlenmiştir. Etki büyüklüğü, 0,20 değerinin altında ise önemsiz, 0,20 – 0,50 aralığında ise düşük, 0,50 – 0,79 aralığında ise orta, 0,80 değerinin üzerinde ise yüksek olarak kabul

edilmiştir.

BULGULAR

Katılımcıların fiziksel özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur. Sporcularla sedanter bireyler arasında yaş, boy ve vücut ağırlığı açısından anlamlı istatistiksel bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0,05$). Beden kitle indekslerine göre sporcular normal, sedanter bireyler ise fazla kilolu sınıfta yer almışlardır²⁵. Vücut kompozisyonlarına bakıldığında, sporcuların vücut yağ oranları, sedanter bireylerle kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük tespit edilmiştir ($p<0,05$). Vücut yüzde kas oranları sporcuların, sedanter bireylerden daha yüksek olmakla beraber aralarındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Tablo 1. Katılımcıların fiziksel özelliklerine ait veriler

	Sporcu	Sedanter
Yaş (yıl)	22.3 ± 0.6	22.1 ± 0.5
Boy (m)	1.8 ± 0.0	1.8 ± 0.0
Vücut Ağırlığı (kg)	73.9 ± 2.4	83.3 ± 4.2
BKİ (m/kg ²)	23.7 ± 0.7	25.8 ± 1.0
Vücut Yağ Oranı (%)	11.1 ± 1.5*	16.4 ± 1.4
Vücut Kas Oranı (%)	39.7 ± 1.0	37.4 ± 1.1

Veriler ortalama ± SH olarak sunulmuştur. Gruplar arası fark istatistiksel olarak anlamlıdır, *: ($p<0,05$).

Tablo 2. Katılımcıların maksimal kardiyopulmoner egzersiz testlerine ait veriler

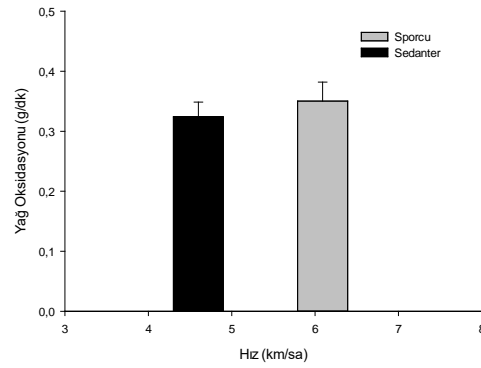
	Sporcu	Sedanter
Pik $\dot{V}O_2$ (ml/dk)	3732.2 ± 132.1#	3019.8 ± 132.8
Pik $\dot{V}O_2/kg$ (ml/kg/dk)	50.6 ± 1.2#	36.7 ± 1.7
Tükenme hızı (km/saat)	16.8 ± 0.4#	11.1 ± 0.4
Maksimal testte ulaşılan en yüksek kalp atım sayısı (atım/dk)	189.8 ± 2.1	183.2 ± 4.2

Veriler ortalama ± SH olarak sunulmuştur. Gruplar arası fark istatistiksel olarak anlamlıdır. #: ($p<0,001$).

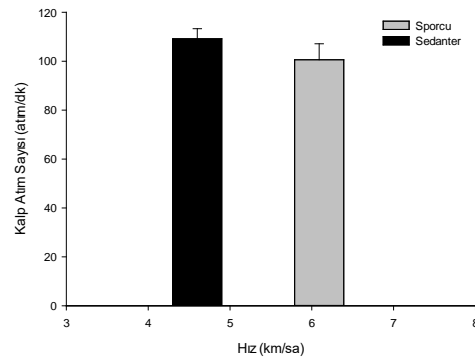
Katılımcıların egzersiz testleri sonucunda ulaştıkları en yüksek değerler Tablo 2'de verilmiştir. Sporcu

grubun dakikada kullandıkları oksijen miktarları, kilogram başına normalize edilmiş oksijen kullanım değerleri ve tükenme hızları, sedanter bireylerle kıyasla anlamlı düzeyde yüksektir. ($p<0,001$).

Yağ_{maks} testinde sporcuların en yüksek yağ oksidasyonunun gerçekleştiği yürüme/koşu hızı $6,1 \pm 0,6$ km/saat iken sedanter bireylerin yürüme hızı $4,6 \pm 0,3$ km/saat olarak tespit edilmiş olup aralarındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). En yüksek yağ oksidasyon hızları (MYO) sporcularda $0,35 \pm 0,03$ g/dk iken sedanter bireylerde $0,32 \pm 0,02$ gr/dk olarak ölçülmüştür (Şekil 3). Bu egzersiz şiddetindeki kalp atım sayıları sporcularda $100,6 \pm 6,5$ atım/dk, sedanter bireylerde ise $109,2 \pm 4,1$ atım/dk olarak tespit edilmiştir (Şekil 4). MYO ve kalp atım sayıları açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamaktadır.



Şekil 3. Yağ_{maks} aralığının gerçekleştiği yürüme hızları ve yağ oksidasyon miktarları



Şekil 4. Yağ_{maks} aralığının gerçekleştiği yürüme hızları ve kalp atım sayıları

Yağ_{maks} testi ile tespit edilen keşişim noktasına ait metabolik değişkenler **Tablo 3**'te sunulmuştur. Sporcu grubun keşişim noktasına ulaşma hızları, sedanter gruba kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek ($p<0,05$) olmasına rağmen, bu noktada ölçülen oksijen alım değerleri ($\dot{V}O_2$) (hem mutlak hem de kilograma göre normalize edilmiş) arasında bir istatistiksel anlamlılık bulunamamıştır. Buna karşın, keşişim noktasında ölçülen oksijen alım değerinin pik oksijen alımına oranı sporcu grupta anlamlı olarak düşüktür ($p<0,05$). Öte yandan keşişim noktasında kalp atım sayısı ve yağ yakım hızları arasında da istatistiksel olarak anlamlılık bulunmamaktadır ($p>0,05$, EB=0,41, Güç=0,15).

Tablo 3. Keşişim noktasında elde edilen veriler

	Sporcu	Sedanter
$\dot{V}O_2$ (ml/dk)	1304,3 ± 90,7	1273,6 ± 72,6
$\dot{V}O_2$ /kg (ml/kg/dk)	17,7 ± 1,2	15,5 ± 0,8
$\dot{V}O_2$ / pik $\dot{V}O_2$ (%)	35,3 ± 2,6*	42,5 ± 2,0
Hız (km/saat)	6,1 ± 0,2*	5,1 ± 0,2
Kalp atım sayısı (atım/dk)	102,6 ± 5,7	110,1 ± 4,4
Yağ oksidasyon hızı (g/dk)	0,34 ± 0,03	0,31 ± 0,02

Veriler ortalama ± SH olarak sunulmuştur. *: Gruplar arası farkı göstermektedir ($p<0,05$)

TARTIŞMA

Bu çalışmanın en temel bulgusu, rekreasyonel düzeyde spor yapan grubun keşişim noktasına ulaşma hızı daha yüksek olmasına karşın, her iki grupta da bu noktadaki yağ oksidasyon hızları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmamasıdır. Katılımcıların maksimal yağ oksidasyon hızları incelendiğinde de, Yağ_{maks} olarak ifade edilen koşu hızına sporcuların daha yüksek egzersiz şiddetlerinde ulaştığı, ancak sporcu ve sedanter bireylerin yine benzer miktarda yağ okside edebildikleri görülmüştür. Elde edilen veriler, antrenmana uyum gösterdiği düşünülen bireylerin daha yüksek egzersiz şiddetlerinde de yağları okside edebildiklerine işaret etmektedir.

Çalışmaya katılan grupların pik oksijen alım düzeyleri sporcularda, beklenildiği şekilde, sedanter bireylere kıyasla yüksek bulunmuştur. Performans düzeyi ile çok yakından ilişkili olan bu değişken, aerobik antrenmanlar sonucunda artış göstermektedir^{26,27}. Ancak metabolik ihtiyacın karşılanması için tercih edilen substratın değiştiğini ifade eden keşişim

noktasındaki oksijen alım miktarlarının, her iki grupta da benzer düzeylerde olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın çalışmamızda yer alan sporcular keşişim noktasına toplam oksijen alım kapasitelerinin ortalama % 35'inde ulaşırken, sedanter bireyler için bu değer % 42 seviyelerindedir. Farklı vücut kompozisyonuna sahip bireylerin keşişim noktalarının maksimal oksijen alım kapasitelerinin % 40 – 60'ı seviyelerinde olduğu gösterilmiş olup bulgularımız literatür ile uyumludur^{6,28,29,30,31}. Daha yüksek egzersiz şiddetlerine ulaşıldıkça, hızlı şekilde gerçekleşen glikolize bağlı olarak mitokondride artan Asetil-CoA miktarının, yağ asitlerinin mitokondriyal taşınımını baskıladığı ve yağların oksidasyon miktarını sınırlandırdığı bilinmektedir. Dolayısıyla belirli bir egzersiz şiddetinde yağ oksidasyonunun azalması, karbonhidrat oksidasyonunun ise artışı bu mekanizma ile açıklanmaktadır. Literatürde keşişim noktasının antrenman düzeyine bağlı olarak bireyler arasında geniş farklılıklar gösterdiği de bildirilmektedir².

Çalışmamızda sporcu ve sedanter katılımcıların keşişim noktalarının farklı hızlarda tespit edilmesine karşın benzer miktarlarda yağ oksidasyonu gerçekleştirmiş olmaları dikkat çekicidir. Diğer taraftan egzersizin serbest yağ asidi mobilizasyonu ile oksidasyonu için önemli bir uyarıcı olduğu³² ve egzersiz şiddetinin de yağ oksidasyon miktarını belirlediği³³ bilinmektedir. Antrenmana uyum sağlamış bireylerde yağ oksidasyon hızının sedanter bireylere oranla daha fazla olduğu genel olarak kabul görmektedir^{1,34}. Öte yandan antrenmanın MYO üzerine etkisi halen tartışmalıdır¹². Literatür incelendiğinde, rekreasyonel düzeyde spor yapan bireylerin MYO hızlarına ait değerlerin çalışmamıza benzer miktarlarda olduğu görülmekle birlikte^{11,35}, antrene olan ve olmayan grupların MYO değerleri arasında farklılık göstermeyen çalışmalar da mevcuttur^{12,36}.

Yağ oksidasyonu artışının bir adaptasyon sonucu meydana geldiği bilinmektedir. Bu adaptasyon mekanizmaları; yağ asitlerinin mitokondriye taşınımının artışı, mitokondri boyut ve sayısındaki değişiklikler (mitokondriyal biyogenezis), karnitin palmitoil transferaz enzim düzeyleri ile aktiviteilerinin artışı, mitokondri matriksinde trikarboksilik asit döngüsüne katılan enzim aktiviteilerinin artışı ve elektron taşıma zinciri protein içeriklerinin artışı gibi pek çok değişikliği kapsar³⁷. Dayanıklılık tipi antrenmanların mitokondri içerik ve/veya fonksiyonlarını da arttırdığı³³ bilinmektedir.

Çalışmamızda yer alan sporcu gruplarının pik $\dot{V}O_2$ değerlerinin sedanter katılımcılara göre yüksek olması, yağ oksidasyon hızının da bu grupta daha yüksek olacağı beklentisini oluşturmaktadır. Literatür verileri değerlendirildiğinde ise MYO değerleri anlamlı düzeyde yüksek olan sporcuların pik $\dot{V}O_2$ seviyelerinin de çalışmamızdaki sporcu gruba kıyasla oldukça yüksek olduğu görülmektedir^{34,38}. Bu nedenle çalışmamızdaki sporcuların literatürde verilen sporculara oranla pik $\dot{V}O_2$ değerlerinin düşük olması, MYO'nun anlamlı farklılık göstermemiş olmasını açıklayabilmektedir.

Sporcu ve sedanter grupta katılımcı sayısının az olması, üst düzey performans sporcularının çalışma dahilinde olmaması, gaz analizi sonucu elde edilen verilerin kan parametreleriyle desteklenememiş olması bu çalışmanın kısıtlılıklarıdır.

Bu çalışmada yer alan sporcuların aerobik kapasitelerinin daha yüksek olmasına karşın yağ oksidasyonları arasında anlamlı bir farklılığın bulunmaması, yağ oksidasyonunu belirleyen tek faktörün maksimal aerobik kapasite olmayabileceğini de akla getirmektedir. Konunun daha iyi açıklanabilmesi için performans sporcularının da değerlendirildiği daha kapsamlı araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Yazar Katkıları: Çalışma konsepti/Tasarımı: ÖG, ÇÖ, KTÖ, AK, SKE, SSK; Veri toplama: ÖG, ÇÖ, KTÖ; Veri analizi ve yorumlama: ÖG, ÇÖ, KTÖ, SSK; Yazı taslağı: ÖG; İçerğin eleştirel incelenmesi: ÖG, ÇÖ, KTÖ, AK, SKE, SSK; Son onay ve sorumluluk: ÖG, ÇÖ, KTÖ, AK, SKE, SSK; Teknik ve malzeme desteği: -; Süpervizyon: ÖG, ÇÖ, KTÖ, AK, SKE, SSK; Fon sağlama (mevcut ise): yok.

Bilgilendirilmiş Onam: Katılımcılardan yazılı onam alınmıştır.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemişlerdir.

Finansal Destek: Yazarlar finansal destek beyan etmemişlerdir.

Author Contributions: Concept/Design : ÖG, ÇÖ, KTÖ, AK, SKE, SSK; Data acquisition: ÖG, ÇÖ, KTÖ; Data analysis and interpretation: ÖG, ÇÖ, KTÖ; Drafting manuscript: ÖG; Critical revision of manuscript: ÖG, ÇÖ, KTÖ, AK, SKE, SSK; Final approval and accountability: ÖG, ÇÖ, KTÖ, AK, SKE, SSK; Technical or material support: -; Supervision: ÖG, ÇÖ, KTÖ, AK, SKE, SSK; Securing funding (if available): n/a.

Informed Consent: Written consent was obtained from the participants.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Conflict of Interest: Authors declared no conflict of interest.

Financial Disclosure: Authors declared no financial support

KAYNAKLAR

- Nordby P, Saltin B, Helge JW. Whole-body fat oxidation determined by graded exercise and indirect calorimetry: a role for muscle oxidative capacity? *Scand J Med Sci Sports*. 2006;16:209-14.
- Purdum T, Kravitz L, Dokladny K, Mermier C. Understanding the factors that effect maximal fat oxidation. *J Int Soc Sports Nutr*. 2018;15:2-10.
- Achten J, Gleeson M, Jeukendrup AE. Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Med Sci Sport Exerc*. 2002;34:92-7.
- Gmada N, Marzouki H, Haboubi M, Tabka Z, Shephard RJ, Bouhlel E. Crossover and maximal fat-oxidation points in sedentary healthy subjects: methodological issues. *Diabetes Metab*. 2012;38:40-5.
- Brooks GA, Mercier J. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the "crossover" concept. *J Appl Physiol*. 1994;76:2253-61.
- Borel B, Coquart J, Boitel G, Duhamel A, Matran R, Delsart P et al. Effects of endurance training at the crossover point in women with metabolic syndrome. *Med Sci Sports Exerc*. 2015;47:2380-8.
- Marzouki H, Farhani Z, Gmada N, Tabka Z, Shephard RJ, Bouhlel E. Relative and absolute reliability of the crossover and maximum fat oxidation points during treadmill running. *Science Sports*. 2014;29:107-14.
- Perez-Martin A, Dumortier M, Raynaud E, Brun JF, Fedou C, Bringer J et al. Balance of substrate oxidation during submaximal exercise in lean and obese people. *Diabetes Metab*. 2001;27:466-74.
- Dumortier M, Brandou F, Perez-Martin A, Fedou C, Mercier J, Brun JF. Low intensity endurance exercise targeted for lipid oxidation improves body composition and insulin sensitivity in patients with the metabolic syndrome. *Diabetes Metab*. 2003;29:509-18.
- Gonzalez-Haro C, Galilea PA, Gonzalez-de-Suso JM, Drobnic F, Escanero JF. Maximal lipidic power in high competitive level triathletes and cyclists. *Br J Sports Med*. 2007;41:23-8.
- Hetlelid KJ, Plews DJ, Herold E, Laursen PB, Seiler S. Rethinking the role of fat oxidation: substrate utilisation during high-intensity interval training in well-trained and recreationally trained runners. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2015;1:1-9.
- Stisen AB, Stougaard O, Langfort J, Helge JW, Sahlin K, Madsen K. Maximal fat oxidation rates in endurance trained and untrained women. *Eur J Appl Physiol*. 2006;98:497-506.
- Siri WE. Volumetric approach to body composition. In: Josef Brozek AH, ed. *Techniques for Measuring Body Composition*. Washington, D. C.: National Academy of Sciences-National Research Council; 1961:77-135.
- Martin AD, Spent LF, Drinkwater DT, Clarys JP. Anthropometric estimation of muscle mass in men. *Med Sci Sport Exerc*. 1990;22:729-33.
- Frayn KN. Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*. 1983;55:628-34.
- American Thoracic Society/American College of Chest Physicians. *ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing*. *Am J Respir Crit Care Med*. 2003;167:211-77.

17. Clark A, De la Rosa AB, DeRevere JL, Astorino TA. Effects of various interval training regimes on changes in maximal oxygen uptake, body composition, and muscular strength in sedentary women with obesity. *Eur J Appl Physiol.* 2019;119:879-88.
18. Jette M, Sidney K, Blumchen G. Metabolic equivalents (Mets) in exercise testing, exercise prescription, and evaluation of functional-capacity. *Clin Cardiol.* 1990;13:555-65.
19. Mendes MD, da Silva I, Ramires V, Reichert F, Martins R, Ferreira R et al. Metabolic equivalent of task (METs) thresholds as an indicator of physical activity intensity. *Plos One.* 2018;13:1-10.
20. Franklin BA, Brinks J, Berra K, Lavie CJ, Gordon NF, Sperling LS. Using metabolic equivalents in clinical practice. *Am J Cardiol.* 2018;121:382-7.
21. Chuang ML, Ting H, Otsuka T, Sun XG, Chiu FYL, Beaver WL et al. Aerobically generated CO₂ stored during early exercise. *Journal of Applied Physiology.* 1999;87:1048-58.
22. Whipp BJ. Physiological mechanisms dissociating pulmonary CO₂ and O₂ exchange dynamics during exercise in humans. *Exp Physiol.* 2007;92:347-55.
23. Venables MC, Achten J, Jeukendrup AE. Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study. *J Appl Physiol.* 2005;98:160-7.
24. Randell RK, Rollo I, Roberts TJ, Dalrymple KJ, Jeukendrup AE, Carter JM. Maximal fat oxidation rates in an athletic population. *Med Sci Sport Exer.* 2017;49:133-40.
25. Cetin D, Lessig BA, Nasr E. Comprehensive evaluation for obesity: beyond body mass index. *J Am Osteopath Assoc.* 2016;116:376-82.
26. Lund J, Helle SA, Li Y, Lovsletten NG, Stadheim HK, Jensen J et al. Higher lipid turnover and oxidation in cultured human myotubes from athletic versus sedentary young male subjects. *Sci Rep.* 2018;8:1-11.
27. Wagoner CW, Hanson ED, Ryan ED, Brooks R, Wood WA, Jensen BC et al. 2-weeks of lower body resistance training enhances cycling tolerability to improve precision of maximal cardiopulmonary exercise testing in sedentary middle-aged females. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2019:1-29.
28. De Brabandere A, Op De Beeck T, Schutte KH, Meert W, Vanwanseele B, Davis J. Data fusion of body-worn accelerometers and heart rate to predict VO₂max during submaximal running. *PLoS One.* 2018;13:1-17.
29. González-Haro C. Maximal fat oxidation rate and cross-overpoint with respect to lactate thresholds do not have good agreement. *Int J Sports Med.* 2011;32:379-85.
30. Mendelson M, Jinwala K, Wuyam B, Levy P, Flore P. Can crossover and maximal fat oxidation rate points be used equally for ergocycling and walking/running on a track? *Diabetes Metab.* 2012;38:264-70.
31. Takayama F, Aoyagi A, Shimazu W, Nabekura Y. Effects of marathon running on aerobic fitness and performance in recreational runners one week after a race. *J Sports Med (Hindawi Publ Corp).* 2017; 2017:9402386..
32. Nielsen S, Guo Z, Albu JB, Klein S, O'Brien PC, Jensen MD. Energy expenditure, sex, and endogenous fuel availability in humans. *J Clin Invest.* 2003;111:981-8.
33. Granata C, Jamnick NA, Bishop DJ. Training-induced changes in mitochondrial content and respiratory function in human skeletal muscle. *Sports Med.* 2018;48:1809-28.
34. Lima-Silva AE, Bertuzzi RCM, Pires FO, Gagliardi JFL, Barros RV, Hammond J et al. Relationship between training status and maximal fat oxidation rate. *J Sports Sci Med.* 2010;9:31-5.
35. Croci I, Borrani F, Byrne NM, Wood RE, Hickman IJ, Cheneviere X et al. Reproducibility of Fatmax and fat oxidation rates during exercise in recreationally trained males. *PLoS One.* 2014;9:1-10.
36. Croci I, Hickman IJ, Wood RE, Borrani F, Macdonald GA, Byrne NM. Fat oxidation over a range of exercise intensities: fitness versus fatness. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2014;39:1352-9.
37. Maunder E, Plews DJ, Kilding AE. Contextualising maximal fat oxidation during exercise: determinants and normative values. *Front Physiol.* 2018;9:599.
38. Dandanell S, Meinild-Lundby AK, Andersen AB, Lang PF, Oberholzer L, Keiser S et al. Determinants of maximal whole-body fat oxidation in elite cross-country skiers: Role of skeletal muscle mitochondria. *Scand J Med Sci Sports.* 2018;28:2494-504.