



ARAŞTIRMA / RESEARCH

Farklı aerobik kapasiteye sahip kişilerde yağ oksidasyon devamlılığının takibi

Monitorization of fat oxidation sustainability in individuals with different aerobic capacity

Çiğdem Özdemir¹, Kerem T. Özgünen¹, Özgür Günüştu¹, Selcen Korkmaz Eryılmaz², Abdullah Kılıç², S. Sadi Kurdak¹

¹Cukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı, Spor Fizyolojisi Bilim Dalı, Adana, Turkey

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

Cukurova Medical Journal 2019;44 (Suppl 1):173-180.

Abstract

Purpose: The aim of this study was to evaluate changes in the maximal fat oxidation rate during 40 min of continuous submaximal exercise in athletes and sedentary individuals which they have the different aerobic capacity.

Materials and Methods: Recreational athletes (n=11) and sedentary persons (n=10) were participated this study. Exercise tests were performed on a treadmill (Cosmed). Fat oxidations and metabolic responses during exercise were measured with indirect calorimetry (Quark b2). Maximal performance test, fatmax test, and a 40-minute walking test were carried out to all the participants.

Results: Essentially athletic participants' peakVO₂, body fat, body muscle percentages, body mass index, and exercise intensity of maximal fat oxidation rate were significant than sedentary person's. But there were no significant differences between the maximal fat oxidation rates. On the other site, in both groups during submaximal continuous exercise for 40 min the fat oxidation rate was not sustained and decreased to a plateau level within the first 16 min for athletes and 14 min for sedentary participants.

Conclusion: It is important to investigate factors other than maximal aerobic capacity in determining fat oxidation. Investigating the fat oxidation pattern in more elite athletes may contribute to the understanding of the different physiological mechanisms in fat metabolism.

Keywords: Fat oxidation, sedentary, exercise

Öz

Amaç: Bu çalışmada, 40 dakikalık sabit submaksimal bir egzersiz sırasında, farklı aerobik kapasiteye sahip sedanter ve sporcu bireylerin maksimal yağ oksidasyon hızlarına ait değişimlerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Gereç ve Yöntem: Çalışmaya rekreasyonel düzeyde spor yapan (n=11) ve sedanter olan (n=10) toplam 21 erkek katıldı. Katılımcıların egzersiz testleri yürüme bandında (Cosmed), gerçekleştirildi. Yağ oksidasyon hızları ve egzersize verdikleri metabolik cevaplar indirekt kalorimetri ile ölçüldü (Quark CPET). Tüm katılımcılara, maksimal performans testi, yağmaks testi ve 40dk yürüme testi olmak üzere üç farklı test uygulandı.

Bulgular: Sporcu gruba ait zirve oksijen tüketim değeri, % yağ ve % kas oranları, beden kitle indeksi değeri ve maksimal yağ oksidasyonunun elde edildiği egzersiz şiddet düzeyi ile sedanter gruba ait aynı parametre değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulundu. Maksimal yağ oksidasyonu değerlerinde ise anlamlı bir farklılık yoktu. Diğer taraftan yağ oksidasyonu 40dk'lık sabit submaksimal egzersiz sırasında sabit kalmayarak her iki grupta da azaldı. Sporcu grupta 16dk, Sedanter grupta yaklaşık 14dk'da sabit bir düzeye ulaştı.

Sonuç: Yağ oksidasyonunu belirlemede maksimal aerobik kapasite dışında başka faktörlerin de araştırılmaya devam edilmesi oldukça önemlidir. Daha elit sporcularda yağ oksidasyon paterninin araştırılması yağ metabolizmasındaki farklı fizyolojik mekanizmaların anlaşılmasında katkıda bulunabilir.

Anahtar kelimeler: Yağ oksidasyonu, sedanter, sporcu, egzersiz

Yazışma Adresi/Address for Correspondence: Dr. Çiğdem Özdemir, Cukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji A.D. Spor Fizyolojisi Bilim Dalı, Adana, Türkiye, cozdemir@cu.edu.tr

Geliş tarihi/Received: 14.06.2019 Kabul tarihi/Accepted: 08.07.2019 Çevrimiçi yayın/Published online: 29.09.2019

GİRİŞ

Egzersiz sırasında yağ metabolizmasında meydana gelen değişikliklerin anlaşılması, tedavi amaçlı egzersiz ve/veya sportif performansı artırmayı amaçlayan antrenman programlarının düzenlenmesi açısından önemlidir. Yağ oksidasyon hızı, beslenme^{1,2}, kas glikojen içeriği³, hormonlar^{3,4} ve kişinin form durumu⁵ gibi pek çok değişken tarafından düzenlenirken, belirleyici en önemli faktörlerden birinin egzersiz şiddeti olduğu uzun yıllardır bilinmektedir⁶. Egzersiz şiddetinin tanımlanmasında dikkate alınan referanslardan bir tanesi de bireyin maksimal oksijen kullanma kapasitesidir (VO_{2maks}). Konu bu çerçevede incelendiğinde, VO_{2maks} 'ın yaklaşık olarak % 65 ve altındaki egzersizler hafif - orta şiddetli, % 65'in üzerindeki egzersizler ise yüksek şiddetli egzersizler olarak kabul edilmektedir. Yağ oksidasyon hızının hafif-orta şiddetteki egzersizlerde en yüksek seviyelerine ulaştığı, bu düzeyin üzerine çıktığında ise okside olan yağ miktarının giderek azaldığı bilinmektedir^{7,8}. 2000'li yılların başlarında, tüm vücut yağ oksidasyonu ve egzersiz şiddeti ilişkisi irdelenmiş ve şiddeti kademeli olarak arttırılan bir egzersiz testinde, maksimal yağ oksidasyonunun (MYO) elde edildiği egzersiz şiddeti 'Yağmaks' olarak tanımlanmıştır⁷.

Spor yapan kişilerde, dayanıklılık antrenmanlarına bağlı olarak iskelet kaslarında meydana gelen morfolojik ve metabolik değişikliklerin, egzersiz sırasında yağ oksidasyon kapasitesini arttırabileceği belirtilmektedir^{9,10}. Öte yandan aerobik kapasitedeki artış ile yağ oksidasyon hızı ve yağmaks evresindeki egzersiz şiddetleri arasındaki ilişki günümüzdeki araştırma konularından bir tanesini oluşturmaktadır. Antrenmana uyum sağlamış bireylerin yağ oksidasyon kapasitesinin de gelişmiş olacağı kabul edilmekle beraber^{11,12}, antrenmanlı kişilerde MYO ve yağmaks şiddetleri arasındaki etkileşim konusu tam olarak aydınlatılabilmemiş değildir¹⁰. Diğer taraftan, sedanter bireylerde oksidatif kapasitenin azalmış olduğu ve doku düzeyindeki lipid birikiminin, hücredeki lipid döngüsünü olumsuz yönde etkiliyor olabileceği bilinmektedir^{13,14}. Hatta sedanterlerin metabolik cevaplarının, obez ya da kardiyovasküler form düzeyi iyi olmayan kişilerle aynı seviyede değerlendirilmesi gerektiğini belirten¹³ ve sedanter bireylerin kaslarına ait mitokondriyal karnitin palmitoil transferaz aktivitelerinin azaldığını gösteren çalışmalar da mevcuttur¹⁵.

Yağmaks şiddetlerinde yaptırılan egzersizlerde, yağ

oksidasyonunun sedanter ve sporcu bireylerde uzun süreli izlenmesine yönelik az sayıda çalışma bulunmakta ve veri analizlerinin 10 dakikalık aralarla değerlendirildiği görülmektedir¹⁶. Bu nedenle daha sık aralıklarla yapılacak olan yağ oksidasyon analizleri egzersiz sırasında ortaya çıkabilecek değişiklikleri irdeleme şansı vereceğinden önemlidir. Bizim de bu noktadan hareketle planladığımız bu çalışmada 40 dakikalık submaksimal egzersiz sırasında, farklı aerobik kapasite değerlerine sahip sporcu ve sedanter katılımcılara ait yağ oksidasyon hızlarının ne yönde değiştiğinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

GEREÇ VE YÖNTEM

Araştırmamıza Çukurova Üniversitesi etik kurul onayı alındıktan sonra başlandı. Çalışmaya yaş ortalaması 22.8 ± 0.9 yıl ve beden kitle indeksi (BKİ) ortalaması 26.8 ± 0.9 kg/m² olan 11 sağlıklı sedanter ile yaş ortalaması 21.3 ± 0.5 yıl ve BKİ ortalaması 23.8 ± 0.6 kg/m² olan farklı disiplinlerde rekreasyonel düzeyde spor yapan 10 erkek sporcu onayları alınarak dâhil edildi. Bireylere ait yağ ve karbonhidrat metabolizmasını etkileyebilecek hastalık ya da ilaç kullanımı öyküsü araştırmadan dışlanma kriterleri olarak kabul edildi. Bu araştırma Helsinki Bildirgesi olarak kabul edildi. Bu araştırma Helsinki Bildirgesi olarak kabul edildi. Tüm testler Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji A.D, Spor Fizyolojisi Bilim Dalı'nda yapıldı.

Antropometrik ölçümler

Tüm katılımcıların antropometrik ölçümleri 12 saatlik açlık sonrası sabah saatlerinde ve aynı kişi tarafından gerçekleştirildi. Vücut ağırlıkları 0.1kg'dan az değişiklik gösterecek hassasiyetle ve ayakbabsız olarak, boy uzunluğu ölçümü ise ayaklar sırt ile aynı hizada olacak şekilde dik dururken, Sports Expert (Professional Sport Technologies) stadiometre ile ölçüldü. Üst uyluk, baldır ve ön kol çevre ölçümleri elastik olmayan mezura ile yapıldı. Subskapular, triseps, biceps, önkol, abdominal, pektoral, suprailak, uyluk ve baldır cilt kıvrım kalınlıkları ise aynı kişi tarafından Holtain kaliper kullanılarak tespit edildi. Vücut yüzde yağ hesaplamaları için Siri formülü¹⁷, erkekler için vücut yoğunluğu uyarlanmış Siri¹⁸ ve yüzde kas değerleri ise Martin formülü¹⁹ kullanıldı.

Egzersiz protokolleri ve indirekt kalorimetri

Katılımcılara, maksimal kardiyopulmoner egzersiz testi, yağmaks testi ve 40 dk yürüme testi olmak üzere 3 farklı egzersiz testi yapıldı. En az 24 saat arayla

gerçekleştirilen testlerde, katılımcılardan yüzlerine takılan bir maske aracılığıyla nefes alıp vermeleri istendi. indirek kalorimetre tayini için ve her solukta, soluk hacmi ile O₂ ve CO₂ gazlarının fraksiyonlarını ölçen cihaz (PFT Cosmed) kullanıldı. Sistemin gaz ve hacim kalibrasyonları, %16 O₂ ve %5 CO₂ içeren kalibrasyon gazları ve kalibrasyon şırıngası (3 L'lik) ile gerçekleştirildi. Kalp atım hızları tüm testler boyunca telemetrik nabız ölçer sistem (Cosmed) tarafından kaydedildi. Metabolizmada kullanılan substratların oksidasyon hızı sitokiometrik denklik²⁰ ile hesaplandı. Bu hesaplamada idrarla atılan azot miktarı değerlendirmeye alınmadı.

Maksimal kardiyopulmoner egzersiz testi

Çalışmada yer alan katılımcıların fiziksel performans kapasitelerini belirleyebilmek için yapılan teste 0° eğimde 4 km/saat'lik yürüme hızı ile başlandı. Yürüme hızı sporcularda dakikada 1 km/saat, sedanterlerde ise 0.5 km/saat olacak şekilde artırıldı. Testleri sonlandırma kriterleri olarak; 1) hedef kalp atım sayısının %90'a ulaşılması, 2) test yükü arttığı halde VO₂'nin artmayıp plato oluşturması, 3) non-protein RQ [npRQ] değerinin 1.15 ve üzerinde seyretmeye devam etmesi ile 4) katılımcıların testi sürdürmeyeceklerini bildirmeleri kabul edildi²¹.

Yağmaks testi

Yağ oksidasyon hızının en yüksek olduğu egzersiz şiddetini belirlemek için yapılan test, 12 saatlik açlıkla ve sabah saatlerinde gerçekleştirildi. Testin başında 2

dk süreyle 0° eğimde sedanterlerden 3 km/saat, sporculardan ise 4 km/saat hız ile yürüme bandında yürümleri istendi. İlerleyen aşamada yürüme hızı her iki grupta da 6 dakikada 1 km/saat olacak şekilde artırıldı. Test sırasında bir maske aracılığıyla, katılımcılara ait tüketilen O₂ (VO₂) ile ekspire edilen CO₂ (VCO₂) miktarları tespit edildi. Daha sonra formül yardımıyla yağ oksidasyon hızları hesaplandı²⁰. Bu maksatla kullanılan Frayn formülü, sitoihtiyometrik denlik olarak da ifade edilmektedir. Protein oksidasyonu ihmal edilerek kullanılan formül; Yağ oksidasyon hızı(gr/dk) = (1.67 x VO₂) - (1.67 x VCO₂) şeklindedir.

Yağ oksidasyonunun sıfıra indiği an olarak kabul edilen npRQ değerinin 1.01'e ulaşması testi bitirme kriteri olarak kabul edildi.

40 dk Yürüme Testi

12 saatlik açlıkla ve günün yağmaks testi yapılan saatinde gerçekleştirildi. Deneklerden yağmaks testinde tespit edilen en yüksek yağ oksidasyonunun gerçekleştiği yürüme hızında 40 dk süreyle yürümleri istendi. Yürünen 40dk'lık süre boyunca kalp atım sayısı, VO₂ ve VCO₂ değerleri anlık olarak kaydedildi. Bu verilerle yağ oksidasyon hızı hesaplandı. Tüm katılımcılardan, istirahat ve egzersiz sırasında 5dk aralarla parmak ucundan 20 µL kapiller kan örneği alındı. Alınan kanda cihaz (Biosen S-line, EKF Diagnostics) yardımı ile laktat ve glukoz düzeyleri saptandı .

T<

ablo1.Grupların fiziksel özellikleri ve egzersiz testlerine ait değişkenler

	Sporcu grup (n=10) ortalama ± SE	Sedanter grup (n=11) ortalama ± SE
Yaş (yıl)	21.3 ± 0.5	22.8 ± 0.9
Boy (cm)	176.9 ± 1.6	177.4 ± 2.3
Vücut Ağırlığı (kg)	74.6 ± 2.5	84.4 ± 3.1 *
BKİ	23.8 ± 0.6	26.8 ± 0.9 *
% Yağ	9.1 ± 1.1	19.8 ± 1.5**
%Kas	41.3 ± 0.9	35.4 ± 1.1 **
VO ₂ maks (ml/dk/kg)	51.2 ± 1.3	33.7 ± 0.9 **
Yağmaks VO ₂ (ml/dk/kg)	19.4 ± 2.8	13.7 ± 0.8 *
%VO ₂	37.5 ± 4.6	40.8 ± 2.3
PikHız (km/sa)	17.2 ± 0.2	9.8 ± 0.3 **
Yağmaks Hız (km/sa)	5.9 ± 0.5	4.3 ± 0.1 **
Yağmaks Nabız(atm/dk)	97.9 ± 5.7	101.1 ± 3.5
MYO (gr/dk)	0.36 ± 0.037	0.29 ± 0.028

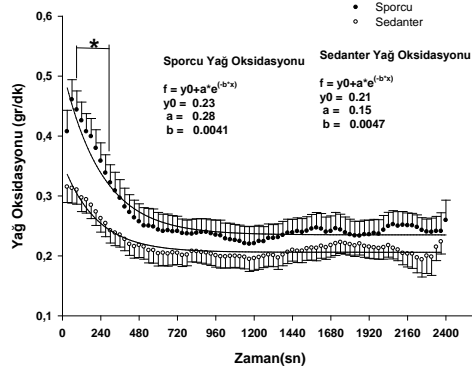
MYO (Maksimal yağ oksidasyonu), Gruplar arasındaki farklılık *p < 0.05, **p ≤ 0.001 olarak ifade edilmiştir.

İstatistiksel analiz

Verilerin dağılımı Shapiro – Wilk testi ile değerlendirildi. Normal dağılım gösteren veriler için bağımsız örneklem T testi, normal dağılıma uymayan veriler için ise Mann – Whitney U testi kullanıldı. Tekrarlı ölçümlerin analizinde tekrarlı ölçümler ANOVA ve post hoc olarak Bonferoni testi kullanıldı. 40dk'lık yürüme boyunca yağ oksidasyonuna yönelik eksponansiyel eğri bilimsel veri ve grafik yazılımıyla elde edildi (SigmaPlot Version 11.0). Güven aralığı %95 olarak belirlendi. Değerler ortalama ve standart hata olarak sunuldu. İstatistiksel değerlendirmeler SPSS Windows sürüm 21.0 ile yapıldı.

BULGULAR

Grupların antropometrik özellikleri ile maksimal performans testi ve yağmaks testi verileri Tablo1'de sunulmuştur. Rekreatyoneel seviyede antrenman yapan sporcuların, vücut ağırlıkları ve BKİ ($p < 0.05$; $p < 0.05$) ile vücut % yağ değerleri ($p \leq 0.001$) sedanterlere göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük bulundu. Buna karşın yine sporcu grubun % kas, VO_{2maks} ve maksimal testte ulaştıkları koşu hızı ile yağ oksidasyonunun en yüksek oranda gerçekleştiği yürüme/koşu hızı sedanter gruba göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde yüksek olduğu tespit edildi ($p \leq 0.001$).



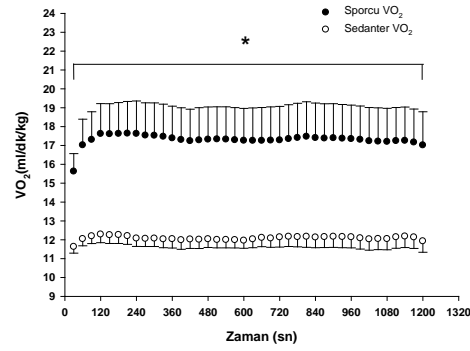
Şekil 1. Sporcu ve sedanter grupların 40 dk'lık egzersizde göstermiş oldukları yağ oksidasyon değişimleri.

*: $p < 0.05$ olarak ifade edilmiştir, veriler ortalama \pm SE olarak sunulmuştur.

Kişisel olarak belirlenmiş olan yağmaks'a ait nabız ve hız değerlerinde 40 dk yürüyen

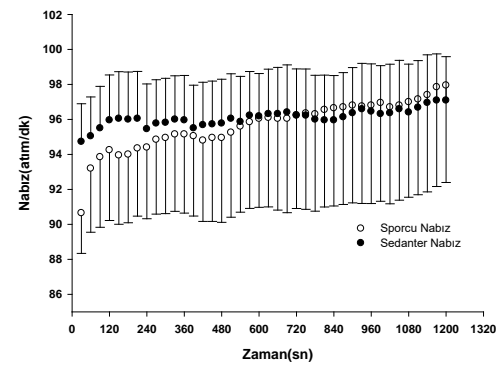
sedanter ve sporcu katılımcıların dakikalık ortalama yağ oksidasyon hızları Şekil 1'de sunulmuştur. Yağ oksidasyonu başlangıçtan itibaren azalma eğilimi göstermiş, yaklaşık 4.5 dk sonra sporcular ile sedanterlerin yağ oksidasyonları arasındaki fark ($p < 0.05$) kaybolmuş ve yağ oksidasyon hızı sedanterlerde yaklaşık 14 dk, sporcularda yaklaşık 16 dk içinde platoya ulaşmıştır. Bu ilişki eksponansiyel bir denklemle ifade edilebilmektedir (Denklik 1).

$$\text{Denklik 1. } f = y_0 + a \exp(-bx)$$



Şekil 2. Sporcu ve sedanter grupların 40 dk'lık egzersizde tespit edilen oksijen kullanımları.

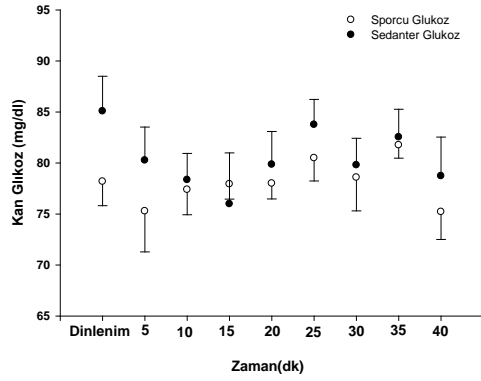
*: $p < 0.05$ olarak ifade edilmiştir, veriler ortalama \pm SE olarak sunulmuştur.



Şekil 3. Sporcu ve sedanter grupların 40 dk'lık egzersizde tespit edilen nabızları.

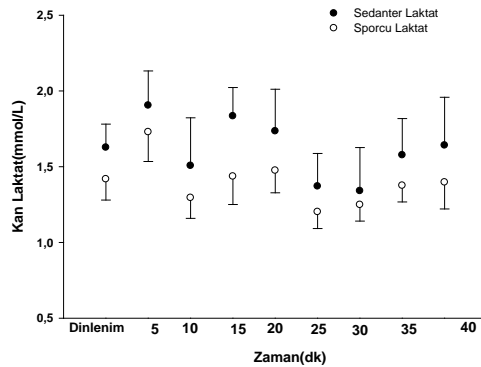
Veriler ortalama \pm SE olarak sunulmuştur.

Buna ilave olarak katılımcıların yürüdükleri süre boyunca, O₂ alım kapasitelerinde ne de kalp atım sayılarında istatistiksel olarak anlamlı bir değişiklik saptanmamıştır (Şekil 2 ve 3). Sporcu ve sedanter grupların 40 dk boyunca devam eden egzersizde kaydedilen nabız değerlerinde anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir (Şekil 3). Ancak bu süre içerisinde kullanılan O₂ miktarlarının, sporculara sedanterlere göre anlamlı olarak daha yüksek seyrettiği saptanmıştır (p<0.05) (Şekil 2). Grupların, 40 dk'lık egzersizleri boyunca takip edilen %VO₂ değerlerinde (yürüme esnasında kullanılan oksijenin maksimal oksijen kullanım değerine oranı) ise anlamlı bir değişiklik bulunmamıştır (Tablo 1).



Şekil 4. Sporcu ve sedanter grupların 40 dk'lık egzersizde tespit edilen kan glikoz değerleri.

Veriler ortalama \pm SE olarak sunulmuştur.



Şekil 5. Sporcu ve sedanter grupların 40 dk'lık egzersizde tespit edilen kan laktat değerleri.

Veriler ortalama \pm SE olarak sunulmuştur.

Grupların yürüme egzersizleri sırasında ölçülen kan glikoz ve laktat değerleri sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'de sunulmuştur. Bu değişkenler, hem grupların yürüme egzersizleri süresince hem de grupların birbirleriyle mukayesesinde farklılık göstermemiştir

TARTIŞMA

Bu çalışmanın temel bulgusu, kişisel olarak belirlenmiş olan yağmaks'a ait nabız ve hız değerlerinde 40 dk süresince sabit hızda yürüyen sedanter ve sporcu katılımcıların, yağ oksidasyonlarının eksponansiyel bir şekilde azalma eğilimi göstermiş olmasıdır. Ayrıca grupların maksimal yağ oksidasyon değerleri arasındaki fark yaklaşık 4.5 dakikadan sonra istatistiksel olarak anlamlılığını yitirmiştir.

Çalışmada uygulanan egzersiz şiddeti, sedanterlerde, kendi VO₂maks'larının yaklaşık %37'si sporcularda ise yaklaşık % 40'ı olacak şekilde gerçekleşmiştir. Yağ oksidasyonunun en üst düzeyde gerçekleştiği söz konusu egzersiz şiddetleri literatürde hafif-orta şiddetler olarak tanımlanmaktadır^{22,23}. Hatta bu egzersiz şiddetlerinde yaptırılan antrenmanlarda katılımcıların lipid profilinin düzeldiği ya da kilo kayıplarının gerçekleştiği gösterilmiştir²⁴. Öte yandan egzersiz şiddetindeki artış sonrası hücre içi pH'nın asit tarafa doğru kayması, ilk dakikalardan itibaren yağ asitlerinin, mitokondri içine alınmasına aracılık eden ve mitokondriyal iç zarda yer alan karnitin mekiğini ve karnitin palmitoil transferaz enzimini baskılıyor olabileceği ve dokuların yağı okside edilebilme hızını da etkileyebileceği tartışılmaktadır^{25,26}. Bu çalışmada hem sporcu hem de sedanter grupların 40 dk süresince devam eden sabit şiddetteki egzersizlerinde laktik asit ve glikoz değerlerinde anlamlı bir değişiklik bulunmamıştır. Bu durum çalışmamızda uygulanan egzersiz şiddetinin yağ asit oksidasyonunda azalmaya sebep olabilecek metabolik bir stres meydana getirmediğini düşündürmektedir. Gruplar arasında %VO₂ değerleri açısından da anlamlı bir farklılığın bulunmaması sedanter ve sporcu katılımcıların maruz kaldıkları iş yüklerinin benzer olduğunu düşündürmektedir.

İndirekt kalorimetrelerde, üretilen CO₂ ve tüketilen O₂ miktarları esas alınarak, yağ oksidasyonu hesaplanabilmektedir²⁰. Bu ölçüm sistemleri doğrudan ölçüm yapmasalar da, egzersizde substrat metabolizmasını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadırlar^{27,28}. Ölçülen gazların kinetikleri, yağ oksidasyon hesaplamalarını doğrudan

etkileyebilmektedir. Egzersiz sırasında yük artışıyla beraber O₂ alımında ve CO₂ çıkışında artış görülebileceği bilinmektedir. Öte yandan O₂'in yeniden dengeye gelme süresi CO₂'ten daha hızlı olup, CO₂ için bu süre yaklaşık 4 dk olarak kabul edilmektedir^{29,30}. Çalışmamızda yağ oksidasyon hızının sporcularda yaklaşık 16 dk, sedanterlerde ise yaklaşık 14 dk içinde dengeye ulaşması, söz konusu ekspanansiyel azalmayı tek başına gaz kinetikleri ile açıklayabilmenin mümkün olmadığını göstermektedir.

Uzun zincirli yağ asitlerinin metabolizmasında anahtar faktörlerden birisi de sitoplazmadaki serbest karnitin miktarıdır⁸. Yüksek egzersiz şiddetlerinde serbest karnitin miktarının azalması yağ oksidasyonunu engelleyebilmektedir³¹. Literatürde egzersizin başında serbest karnitin yoğunluğundaki azalma ile yağ oksidasyonundaki azalmanın ilişkili olabileceği gösterilmiş ancak veriler 10'ar dakikalık aralıklarla değerlendirilmiştir³². Bizim çalışmamızda ise karnitin hakkında yorum yapmayı sağlayabilecek herhangi bir ölçüm yapılamamıştır. Ancak konunun belirtilen bu yönüyle incelenmesi yağ oksidasyonundaki azalmanın altında yatan fizyolojik mekanizmaların anlaşılması için önemli olabilir.

Çalışmada yer alan sedanter bireylerin, sporculara kıyasla düşük aerobik kapasiteye sahip oldukları Tablo 1'de verilmişti. Genel anlamda sedanterlerin kas içi lipid birikimlerinin olduğu, mitokondriyal içerik ve/veya fonksiyonlarının yetersizliğinin yağ oksidasyonunu sınırlandırabileceği ya da bozabileceği bilinmektedir^{13,14}. Ayrıca sedanter bireylerde, yağ oksidasyonu için en önemli enzimlerden olan karnitin palmitoil transferaz enzim aktivitesinin kas içinde azaldığı gösterilmiştir¹⁵. Dolayısıyla, sedanter katılımcıların kendi yağmaks şiddetlerinde devam eden bir egzersizde yağ oksidasyonunu koruyamamaları, yağ oksidasyonu için gerekli hücrel ve mitokondriyal adaptasyonu geliştirememiş olmalarından kaynaklanabilir.

Diğer yandan sporcularda düzenli yapılan dayanıklılık antrenmanlarına bağlı olarak daha yüksek egzersiz şiddetlerinde daha fazla yağ okside edilebildiği bilinmektedir^{8,11}. Bu durum antrenmanların iskelet kaslarındaki elektron taşıma zincir proteinlerinin, yağ asit taşıyıcılarının ve enzimlerinin artışı ile mitokondriyal biyogenezisi içeren adaptif yanıtın bir sonucudur^{5,33}. Çalışmamızda yer alan sporcuların VO₂maks'ları ile en yüksek yağ oksidasyonunun elde edildiği hızlar sedanterlere göre daha yüksek olmasına karşın, MYO değerleri sedanter katılımcıların

değerlerinden farklı bulunmamıştır. Yağmaks şiddetlerindeki mutlak O₂ kullanımları sedanter gruptan anlamlı olarak farklı iken, %VO₂ değerleri esas alındığında bu farklılık ortadan kalkmıştır. Ayrıca yağmaks hızlarındaki sabit egzersizlerde elde edilen yağ oksidasyonunun azalan ekspanansiyel paterni sedanter katılımcılarda da benzer sonuçlar göstermiştir.

Bu konuyla ilgili olarak literatüre bakıldığında, antrenman düzeyi, aerobik performans kapasitesi ve yağ oksidasyonu ilişkilerine dair oldukça farklı sonuçlar sunan çalışmaları görmek mümkündür. Rekreasyonel düzeyde spor yapan, O₂ kullanımları ve en yüksek yağ oksidasyonları, bu çalışmadakine benzer nitelikte olan araştırmaların yanında³⁴ yine rekreasyonel sporcu olup ancak O₂ kullanımları ve yağ oksidasyonları bu çalışmadakinden daha yüksek¹⁶ verilere sahip bireyler de bulunmaktadır. Bazı araştırmalarda ise, antrene olan ve olmayan grupların ne yağmaks değerleri ne de bu değerlerin elde edildiği egzersiz şiddetlerinde bir farklılık elde edilmemiştir¹⁰. Bütün bu bilgiler bir araya getirildiğinde, MYO'nu belirleyen fizyolojik mekanizmaların tam olarak açıklanabildiğini söylemek mümkün değildir.

Bizim çalışmamızda yer alan sporcular farklı disiplinlerde rekreasyonel düzeyde spor yapan katılımcılardan oluşmaktadır. Farklı tip bireysel antrenmanlar yapan sporcu grubun aerobik kapasitesi sedanter gruptan daha iyi olsa da, sedanter gruptan daha yüksek yağ oksidasyonu gerçekleştirip bunu sürdürememesi aktif olan kas dokusuna ait hücrel adaptasyonu henüz sağlayamamış olmalarına bağlanabilir. Bu durum yağ oksidasyonunu belirlemede maksimal aerobik kapasite dışında başka faktörlerinde bu yönüyle araştırılması gerektiğini ve dayanıklılık antrenmanları yapan daha elit sporcularda yağ oksidasyon paterninin değerlendirilmesi gerektiğini düşündürmektedir.

Yazar Katkıları: Çalışma konsepti/Tasarımı: ÇÖ, ÖG, KTÖ, AK, SKE, SSK; Veri toplama: KTÖ, ÇÖ, ÖG; Veri analizi ve yorumlama: ÇÖ, ÖG, KTÖ, SSK; Yazı taslağı: ÇÖ; İçeriğin eleştirel incelenmesi: ÇÖ, ÖG, KTÖ, AK, SKE, SSK; Son onay ve sorumluluk: ÇÖ, KTÖ, ÖG, SKE, AK, SSK; Teknik ve malzeme desteği: -; Süpervizyon: ÇÖ, ÖG, 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 : ÇÖ, ÖG, KTÖ, AK, SKE, SSK; Data acquisition: KTÖ, ÇÖ, ÖG; Data analysis and interpretation: KTÖ, ÇÖ, ÖG; Drafting manuscript: ÇÖ; Critical revision of manuscript: ÇÖ, ÖG, KTÖ, AK, SKE, SSK; Final approval and accountability: ÇÖ, KTÖ, ÖG, SKE, AK, SSK; Technical or material support: -; Supervision: ÇÖ, ÖG, 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

1. 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.
2. Shimada K, Yamamoto Y, Iwayama K, Nakamura K, Yamaguchi S, Hibi M et al. Effects of post-absorptive and postprandial exercise on 24 h fat oxidation. *Metabolism.* 2013;62:793-800.
3. Weltan SM, Bosch AN, Dennis SC, Noakes TD. Influence of muscle glycogen content on metabolic regulation. *Am J Physiol.* 1998;274:E72-82.
4. Ben Ounis O, Elloumi M, Zouhal H, Makni E, Lac G, Tabka Z et al. Effect of an individualized physical training program on resting cortisol and growth hormone levels and fat oxidation during exercise in obese children. *Ann Endocrinol (Paris).* 2011;72:34-41.
5. Maunder E, Plews DJ, Kilding AE. Contextualising maximal fat oxidation during exercise: determinants and normative values. *Front Physiol.* 2018;9:1-13.
6. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldelli A, Horowitz JF, Endert E et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol.* 1993;265:380-91.
7. Achten J, Gleeson M, Jeukendrup AE. Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Med Sci Sport Exer.* 2002;34:92-7.
8. Purdom T, Kravitz L, Dokladny K, Mermier C. Understanding the factors that effect maximal fat oxidation. *J Int Soc Sports Nutr.* 2018;15:1-10.
9. Friedlander AL, Jacobs KA, Fattor JA, Horning MA, Hagobian TA, Bauer TA et al. Contributions of working muscle to whole body lipid metabolism are altered by exercise intensity and training. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2007;292:107-16.
10. 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.
11. Lima-Silva AE, Bertuzzi RCM, Pires FO, Gagliardi JF, Barros RV, Hammond J et al. Relationship between training status and maximal fat oxidation rate. *J Sports Sci Med.* 2010;9:31-5.
12. 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;16:209-214.
13. Galgani JE, Moro C, Ravussin E. Metabolic flexibility and insulin resistance. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2008;295:1009-17.
14. Krssak M, Falk Petersen K, Dresner A, DiPietro L, Vogel SM, Rothman DL et al. Intramyocellular lipid concentrations are correlated with insulin sensitivity in humans: a ¹H NMR spectroscopy study. *Diabetologia.* 1999;42:113-6.
15. Kim JY, Hickner RC, Cortright RL, Dohm GL, Houmard JA. Lipid oxidation is reduced in obese human skeletal muscle. *Am J Physiol-Endoc M.* 2000;279:E1039-44.
16. Meyer T, Gassler N, Kindermann W. Determination of "Fatmax" with 1 h cycling protocols of constant load. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2007;32:249-56.
17. Siri WE. Volumetric Approach to body composition. In: *Techniques for Measuring Body Composition* (Ed J Brozek):77. Washington, D.C., National Academy of Sciences, 1961:77-135.
18. Jackson AS, Pollock ML. Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr.* 2007;40:497-504.
19. Martin AD, Spenst LF, Drinkwater DT, Clarys JP. Anthropometric estimation of muscle mass in men. *Med Sci Sport Exer.* 1990;22:729-33.
20. Frayn KN. Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.* 1983;55:628-34.
21. American Thoracic S, American College of Chest P. ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. *Am J Respir Crit Care Med.* 2003;167:211-7.
22. Bogdanis GC, Vangelakoudi A, Maridaki M. Peak fat oxidation rate during walking in sedentary overweight men and women. *J Sports Sci Med.* 2008;7:525-31.
23. Coyle EF. Substrate utilization during exercise in active people. *Am J Clin Nutr.* 1995;61:968-79.
24. Brun JF, Romain AJ, Mercier J. Maximal lipid oxidation during exercise (Lipoxmax): From physiological measurements to clinical applications. Facts and uncertainties. *Sci Sports.* 2011;26:57-71.
25. Lange KHW. Fat metabolism in exercise - with special reference to training and growth hormone administration. *Scand J Med Sci Sports.* 2004;14:74-99.
26. Tolfrey K, Jeukendrup AE, Batterham AM. Group- and individual-level coincidence of the 'Fatmax' and lactate accumulation in adolescents. *Eur J Appl Physiol.* 2010;109:1145-53.
27. Jeukendrup AE, Wallis GA. Measurement of substrate oxidation during exercise by means of gas exchange measurements. *Int J Sports Med.* 2005;26:28-37.
28. 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.
29. Chuang ML, Ting H, Otsuka T, Sun XG, Chiu FYL, Beaver WL et al. Aerobically generated CO₂ stored during early exercise. *J Appl Physiol.* 1999;87:1048-58.
30. Whipp BJ. Physiological mechanisms dissociating pulmonary CO₂ and O₂ exchange dynamics during

- exercise in humans. *Exp Physiol.* 2007;92:347-55.
31. Stephens FB, Constantin-Teodosiu D, Greenhaff PL. New insights concerning the role of carnitine in the regulation of fuel metabolism in skeletal muscle. *J Physiol.* 2007;581:431-44.
 32. Hiatt WR, Regensteiner JG, Wolfel EE, Ruff L, Brass EP. Carnitine and acylcarnitine metabolism during exercise in humans. Dependence on skeletal muscle metabolic state. *J Clin Invest.* 1989;84:1167-73.
 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. 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: e000047.