

Eşik altı yoğunluğundaki egzersizin genç erkeklerde vücut yağ ve karbonhidrat yakım miktarı ve oranı üzerine olan etkileri*

Seda Uğraş¹, Oğuz Özçelik²¹Artuklu Üniversitesi, Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu, Mardin²Fırat Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı, Elazığ

Öz

Amaç: Bozulan substrat kullanım durumu obezite ve diyabet gibi metabolik hastalıklar ile yakından ilişkilidir. Egzersiz yoğunluğu substrat kullanımını belirleyen önemli faktörlerden birisidir. Bu çalışmada iş gücü yoğunluğunun düşük ve orta seviyelerine denk gelen maksimal iş kapasitesinin (W_{max}) %45 seviyesindeki egzersizin yağ karbonhidrat kullanım oranı ve miktarları üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Gereç ve Yöntem: Toplam 10 sağlıklı erkek denek bisiklet ergometre ile yoruluncaya kadar devam eden artan yüke karşı yapılan egzersiz testine katıldılar. Farklı günlerde, her bir denek W_{max} kapasitesinin %45 seviyesine denk gelen iş gücünde 30 dk süre ile sabit yük egzersiz testine katıldılar. Egzersiz sırasında, deneklerin O_2 alım (VO_2) ve CO_2 atım (VCO_2) değerleri solunumdan solunuma metabolik gaz analizörü ile ölçüldü. Substrat kullanım durumu solunum katsayısı (RQ: $\Delta VCO_2/\Delta VO_2$) ile değerlendirildi. Yağ ve karbonhidrat yakım miktarları Frayn formülü ile belirlendi.

Bulgular: Maksimal iş kapasitesi ve O_2 alım değerleri 219 ± 8 W ve 3.00 ± 0.11 L/dk bulundular. W_{max} değerini %45'ine gelen iş gücü 99 ± 4 W olarak bulundu. RQ değeri 0.90 ± 0.001 olup karışık yağ ve karbonhidrat kullanımını göstermektedir. Egzersiz sırasında ortalama ($\pm SE$) yağ ve karbonhidrat yakım miktarları sırası ile 0.246 ± 0.002 gr/dk ve 1.577 ± 0.009 gr/dk bulundular.

Sonuç: Düşük ve orta egzersiz yoğunluğuna denk gelen W_{max} değerinin %45'indeki (eşik-altı) egzersiz testleri klinik bilimlerin kabul edilen önemli bir yağ yakımına neden olmuştur. Bu nedenle, araştırmacılar veya klinisyenler yüksek yoğunluklu ve artmış metabolik stres oluşturmadan, düşük ve orta yoğunluktaki egzersiz uygulamaları ile yağ yakımını uyarabileceklerini göz önünde bulundurmaları gerekir.

Anahtar Kelimeler: Egzersiz, yağ yakımı, karbonhidrat yakımı, solunum katsayısı, aerobik fitness

Abstract

Objective: Impaired substrate oxidation is closely related with metabolic diseases, including obesity and diabetes. Exercise intensity is one of the important factor on body substrate oxidations. In the present study we aimed to evaluate effects of exercise at 45% of maximal exercise capacity (W_{max}) reflecting low-to moderate exercise intensity on rate and amount of fat and carbohydrate oxidations.

Material and Methods: Total of 10 healthy male performed an incremental exercise test to exhaustion on a cycle ergometer. Then each subjects performed a constant load exercise test at their 45% of W_{max} for 30 min on separate days. During exercise, the subjects O_2 uptake (VO_2) and CO_2 output (VCO_2) values were measured breath-by-breath using metabolic gas analyser. Substrate oxidation ratio is determined using respiratory quotient (RQ: $\Delta VCO_2/\Delta VO_2$). The Frayn formula was used to estimate amount of fat and carbohydrate oxidation.

Results: W_{max} and VO_2 peak were found to be 219 ± 8 W and 3.00 ± 0.11 L/min, respectively. The work protocol at 45% of W_{max} was 99 ± 4 W. The RQ was 0.90 ± 0.001 reflecting mixed fat and carbohydrate oxidation ratio. During exercise mean ($\pm SE$) fat and carbohydrate oxidations were found to be 0.246 ± 0.002 gr/min and 1.577 ± 0.009 gr/min, respectively.

Conclusion: Exercise performed at the 45% of W_{max} (sub-threshold) reflecting low to moderate exercise intensity provide a clinically acceptably amount of fat oxidation. Thus, investigator or clinicians should be consider low to moderate exercise intensity to stimulate fat oxidation instead of higher exercise intensity that may cause elevated metabolic stress.

Key words: Exercise, fat oxidation, carbohydrate oxidation, respiratory quotient, aerobic fitness

Genel Tıp Derg 2019;29(2):48-54

Alınan: 09.01.2018 / 06.02.2018 / Yayınlanma: 10.07.2019

Yazışma adresi: Oğuz Özçelik, Fırat Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı, Elazığ

E-posta: oozcelik@firat.edu.tr

Giriş

Fiziksel aktivite veya düzenli egzersizler bireylerin aerobik fitness seviyesini korumak ve yükseltmek için sık kullanılan önemli yöntemlerdir (1, 2). Egzersiz veya fiziksel aktivitelerin devam ettirilebilmesi için başta kardiyovasküler, respiratuvar ve metabolik sistemler olmak üzere birçok sistemin düzenli olarak desteğine ihtiyaç duyulmaktadır (1, 3).

Enerji ve metabolizma sistemleri karbonhidrat ve yağ kaynaklarından ihtiyaç durumuna göre karışık oranlarda yararlanarak egzersiz aktivitelerinin yapılmasını sağlamaktadır. İstirahat durumundan farklı yoğunluktaki fiziksel aktivitelere geçişlerde metabolik sistem aktivitesinde ihtiyaca göre önemli oranlarda artışlar gözlenmektedir (4). İstirahat ve egzersiz sırasında yağ ve karbonhidrat kullanım durumları günümüz bilim dünyasında dikkati çeken ve üzerinde durulan en önemli konulardan bir tanesini oluşturmaktadır. Yağ ve karbonhidrat metabolizma bozuklukları başta obezite (5), ve diyabet (6-8) gibi çok önemli olan ve dünyada görülme sıklığı gittikçe artan insan ve toplum sağlığı tehdit eden hastalıklara neden olmaktadır. İnsanlarda farklı nedenlerle bozulan enerji dengesi sonucunda enerji fazlalığının yağ olarak depolanmasının önüne geçilmesi için diyet farmakolojik veya egzersiz kaynaklı çeşitli uygulamalar yapılmaktadır (8, 9). Egzersiz sırasında optimal yağ yakımı ve karbonhidrat kullanımının sağlanması obez hastaların tedavisinde destekleyici yöntem olarak kullanılmaktadır (10).

Uygulanan egzersizin yoğunluğu ve süresi, vücut substrat depolarının durumu, cinsiyet farkı, sempatik aktivite ve antrenman durumu (fitness seviyesi) gibi bir çok faktör yağ ve karbonhidrat yakımının belirlenmesinde rol oynayan önemli faktörlerdir (11-18). Egzersiz sırasında optimal yağ ve karbonhidrat yakım miktar ve oranları düşük seviyeden orta ve yüksek yoğunluğa kadar farklı egzersizlerde çalışılmakla birlikte genel bir ortak sonuca ulaşılamamıştır (19, 20).

Bu çalışmadaki sağlıklı erkek deneklerde eşik altı bölgede düşük ve orta yoğunluk arası iş gücüne denk gelen maksimal egzersiz kapasitesinin %45 seviyelerinde vücut substrat kullanım durumları, yağ ve karbonhidrat yakım miktarlarını belirlemek hedeflendi. Böylece bireyler yüksek yoğunluklu egzersiz stresi altına girmeden, kardiyovas-

kiler ve respiratuvar sistemlerinin zorlanmadan çalıştığı bir egzersiz yoğunluğunda metabolik cevapların durumu belirlenecektir.

Gereç ve Yöntem

Bu çalışmaya toplam 10 sağlıklı erkek denek etik kurul onay formunu okuyup imzaladıktan sonra katıldılar. Deneklerin fiziksel özellikleri Tablo 1 de verilmiştir. Deneklerin vücut kompozisyon analizi sabah aç karnına ayaktan ayağa biyoimpedans analiz yöntemi ile yapılarak değerlendirildi (Body Fta Analyser, TANITA TBF 300, Japan) (21)

Deneklerin çalışmaya katılma kriterleri: sağlıklı olmaları, herhangi bir fiziksel kas iskelet sisteminde yapısal bozukluk olmaması, metabolik yönden (diyabet ve tiroit gibi) herhangi bir hastalığı olmaması, vücut kitle indeksi normal değerler olan 18.5 kg/m² ile 25 kg/m² arasında olması, kardiyovasküler ve respiratuvar sistemlerinde herhangi bir hastalık olmaması, akut olarak herhangi bir viritük veya bakteriyel enfeksiyon olmaması, düzenli olarak ilaç kullanmıyor olması, alkol ve sigara kullanmıyor olması.

Egzersiz testleri yapılmadan önce deneklere laboratuvar ortamı ve sistem tanıtılarak heyecan faktörü ve sonucunda verilerde oluşabilecek hata faktörü önlenmeye çalışıldı. Denekler farklı günlerde ısı dengesi (yaklaşık 20° C) sağlanan laboratuvar ortamında farklı günlerde 3 gün ara ile 2 tane egzersiz testine tabi tutuldular. Egzersiz testleri sabah 08:00 ile 09:00 arasında akşam açlığını takiben yapıldılar. Deneklerin egzersiz öncesi beslenmesinde metabolizmayı etkileyecek aşırı yağlı veya karbonhidratlı yemek yemelerinden kaçınmaları, kahve veya herhangi bir yardımcı performans artırıcı ilaç veya vitamin almamaları önerildi. Egzersiz testi öncesi akut egzersiz vücut enerji depolarının (özellikle karbonhidrat) değiştirilmemesine dikkat edildi.

İlk önce denekler elektromanyetik bisiklet ergometre ile (VIA Sprint TM150/200P) şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersiz testine katıldılar (22). Bu test 4 dakikalık 20 W sabit yük egzersiz protokolü olan ısınma dönemi ile başladı ve deneklerin denge durumuna ulaşip ulaşmadıkları belirlendi heyecan faktörü kontrol edildi. Heyecan durumuna bağlı vücut CO₂ depolarının hiper-ventilasyon ile boşaltılması egzersiz sırasında CO₂ atılımını azaltacağından yağ ve karbonhidrat yakım sonuçlarını etkileyeceğinden ısınma dönemi dikkatlice izlendi (23). Bu dönemi takip eden yüklenme döneminde pedal iş gücü

15 W/dk olacak şekilde bilgisayar kontrollü olarak artırıldı ve deneklerin pedal çeviremeyecekleri en üst noktaya kadar devam ettirildi. Bu noktada pedal iş gücü tekrar 20 W a indirilerek iyileşme dönemi ile test sonlandırıldı (22). Tüm egzersiz sırasında denekler pedal çevirme hızlarını 60 RPM/dk da tutmaları tavsiye edildi.

Bu test ile deneklerin maksimal iş kapasiteleri (W_{max}), tepe O_2 alım kapasiteleri (VO_{2peak}), metabolizmanın aerobikten anaerobiğe geçiş noktasını tanımlayan anaerobik eşik (AE) değerleri belirlendi (1).

Bu ilk testten elde edilen sonuçlara göre deneklere ilk testten 3 gün sonra sabit yük egzersiz protokolü uygulandı. Bu egzersiz testinde yine 20 W ısınma dönemi ile başlayıp (ilk testteki protokoller burada da uygulandı), iş gücü aniden bilgisayar kontrollü olarak deneklerin maksimal iş gücü kapasitelerinin %45 seviyesinde olacak şekilde ayarlanarak 30 dk süre ile devam ettirildi. Bu egzersiz protokolü deneklere sadece aerobik enerji metabolizmasını kullanan kas liflerini aktive edecek şekilde hafif-orta yoğunlukta olacak şekilde seçildi.

Deneklere egzersiz sırasında 12'li göğüs derivasyonları takılarak kalp atım sayıları ve EKG'leri (ST değişimleri) tüm test sırasında takip edildi. Metabolik gaz ölçüm (Master Screen CPX, Germany) cihazı ile deneklerin solunum ve akciğer gaz değişim parametreleri solunumdan solunuma ölçülüp değerlendirildi. Hatalı ölçümlerden kaçınmak için solunum ve metabolik gaz ölçüm cihazlarının kalibrasyonları her test öncesi sistem için uygun olan hava miktarı ve içerikleri ile yapıldılar. Anaerobik eşik ölçümünde standart V-Slope tekniği (24) ve diğer akciğer gaz değişim parametreleri (25) kullanıldılar.

Egzersiz sırasında deneklerin yağ ve karbonhidrat kullanım durumlarının tespitinde solunumdan solunuma O_2 alım (VO_2) ve CO_2 atılım (VCO_2) değerlerinin belirlenmesi kullanıldı (solunum katsayısı, RQ, $\Delta VCO_2/\Delta VO_2$)

Yağ ve karbonhidrat kullanım miktarlarının belirlenmesinde Frayn formülü kullanıldı (26).

Yağ oksidasyonu = $1.67 \times VO_2 (L) - 1.67 \times VCO_2 (L)$

Karbonhidrat Oksidasyonu = $4.55 \times VCO_2 (L) - 3.21 \times VO_2 (L)$

Çalışmada elde edilen değerler ortalama \pm SD olarak he-

saplandı. Yağ ve karbonhidrat kullanım oranlarının tespitinde ANOVA testi kullanıldı. Çalışmada $p < 0.05$ istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

Bulgular

Deneklerin maksimal egzersizdeki O_2 alım, kalp atım sayısı ve iş gücü değerleri 3.00 ± 0.11 L/dk, 189 ± 1 atım/dk ve 219 ± 8 W olarak bulundular. Metabolizmanın aerobikten anaerobiğe değiştiği AE deki O_2 alım ve iş gücü değerleri ise 1.81 ± 0.07 L/dk ve 132 ± 6 W olarak bulundular. Deneklerin AE deki iş gücü değerinin maksimal egzersizse oranı %60 oranında bulundu. Deneklerin %45 iş gücü değerleri ise 99 ± 4 W olarak bulundu (Tablo 1).

Deneklerin her bir kilogram vücut ağırlığı başına O_2 alım miktarı maksimal egzersizde 40.61 ± 1.6 mL/dk/kg ve AE'de 24.57 ± 1.6 mL/dk/kg olarak bulunmuştur. Deneklerin W_{max} ve AE deki iş üretim kapasitelerinin kilogram başına miktarı da 2.964 ± 0.1 W/dk/kg ve 2.149 ± 0.1 W/dk/kg olarak bulunmuştur.

Substrat kullanım oranı (RQ) egzersiz testinin ortasında 0.93 ± 0.004 ve sonunda 0.90 ± 0.001 olarak bulundu (Şekil 1). Bireylerin egzersiz sırasında substrat kullanım oranı (RQ) en düşük 0.80 ile en yüksek 0.98 arasında değişiklik göstermektedir (Şekil 2).

Egzersiz sırasında yağ ve karbonhidrat kullanım miktarları ortalama (\pm SE) ise Şekil 3 de verilmiştir. Toplam substrat kullanımı egzersiz testini son kısmında ortalama olarak 1.824 ± 0.007 gr/dk olarak bulunmuştur. Bunun 1.577 ± 0.009 gr/dk sı karbonhidratlardan meydana gelirken ve 0.246 ± 0.002 gr/dk sı yağlardan oluşmaktadır (Şekil 3). Yağ kullanım miktarı egzersizin 15 dk sında 0.191 ± 0.008 gr/dk dan anlamlı olarak artış göstererek 0.246 ± 0.008 gr/dk ya yükselmiştir ($p < 0.05$). Bireyler arasında yağ ve karbonhidrat yakımında görülen değişimler Şekil 4 de verilmiştir.

Tartışma

Bu çalışmada düşük yoğunluklu sabit yük egzersiz (%45 W_{max}) test protokolünün vücut substrat kullanım oranları, yağ ve karbonhidrat yakım miktarları üzerine olan etkileri sağlıklı genç erkek deneklerde belirlenmesi hedeflenmiştir.

Eşik altı yoğunluğundaki egzersizin genç erkeklerde vücut yağ ve karbonhidrat yakım miktarı ve oranı üzerine olan etkileri- Uğraş S. ve Özçelik O.

Deneklerin AE'nin maksimal egzersize oranı olan %60 değeri, kilogram vücut ağırlığı başına O₂ alım miktarları (40 ml/dk/kg) ve kilogram vücut ağırlığı başına işi üretim kapasiteleri (2.964±0.1 W/dk/kg) bu deneklerin normal sağlıklı birey olduklarını göstermektedir (1, 27). Egzersiz yoğunluğu ile substrat kullanımı ve yağ-karbonhidrat yakımı arasındaki ilişkiler çok çeşitli egzersiz uygulamaları ile belirlenmeye çalışılmıştır (11, 14, 28). Bu çalışmada yağ yakım miktarlarının egzersiz zamanına (şekil 3) ve bireyler arasında verdiği değişimler Şekil 4 de verilmiştir. Çalışmanın sonunda ortalama olarak yağ yakım miktarı egzersizin son kısmında 0.246±0.008 gr/dk olarak bulunmuştur. Bu literatürde ki yağ yakım miktarı ile uyum içindedir (29) Düşük egzersiz yoğunluğunun yüksek egzersizlere göre optimal yağ yakımını sağladığı literatürde bildirilmiştir (28, 30, 31). Egzersiz yoğunluğu %35-48 VO₂max arasına olan durumlarda %48 VO₂max üzerine göre daha fazla yağ yakımı olduğu bildirilmiştir (28). Başka bir çalışmada %33 VO₂max'daki egzersiz sırasında yağ yakımının %66 VO₂max egzersizine göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir (31). Yüksek yağ yakım miktarının %40 VO₂max seviyesinde olduğunu bildiren çalışmada mevcuttur (32). Buna karşılık yağların enerji üretimine katkısının yüksek olduğu egzersiz yoğunluğunun %60-75 VO₂max seviyelerinde olduğunu bildiren çalışmalarda mevcuttur (29). Bu çalışmada biz yağ yakımında bireyler arasında fark olduğunu ve egzersiz zamanında yağ yakımı üzerine etkileri Şekil 3'te gösterilmiştir. Egzersiz sırasında karbonhidrat ana enerji kaynağı olarak görünmektedir (Şekil 3-4)

Substrat kullanım oranı (RQ) egzersiz sırasında zaman bağlı (Şekil 1) ve kişiler arasında farklılıklar göstermiştir (Şekil 2). RQ değeri 1.0 karbonhidrat ve 0.7 yağ yakım oranlarını göstermektedir (33). Egzersizin sırasında ilk on beş dakikasından itibaren sistematik olarak azalmaya başlayarak egzersizin sonunda 0.90±0.001 değerine yani % 67.5 karbonhidrat ve % 32.5 yağ yakım oranlarına eşittir.

Substrat kullanım durumu sabit yük egzersizleri yerine iş gücü şiddeti düzenli olarak artan yüke karşı yapılan egzersizlerde gösterilmiştir ve RQ değeri AE altı bölgede 1.00 a yakın bulunarak karbonhidrat ağırlıklı kullanımı göstermektedir (34). Hipoksik gaz solutularak yapılan egzersiz sırasında substrat kullanımının yine 1.00 olduğu bildirilmiştir. (35). Bu çalışmada protein yakımının enerji üretimine katkısı hesaplanmadı yapılan çalışmalarda yaklaşık %5 civarında olduğu bildirilmiştir (36).

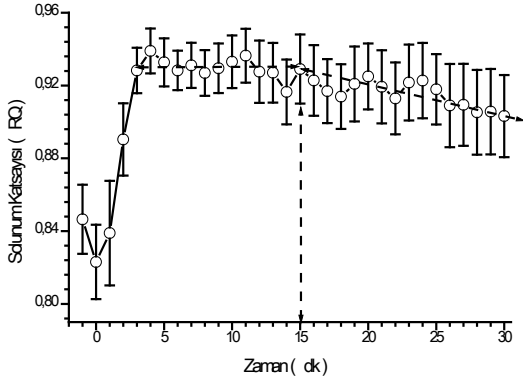
Karbonhidratların enerji üretimine katkıları bireyler arasında farklılık göstermekle birlikte egzersiz sırasında ana kaynağı oluşturmaktadırlar (Şekil 3). Denekler benzer egzersiz yoğunluğuna rağmen farklı oran (0.80 ile 0.98 arasında) ve miktarlarda (0.071 gr/dk ile 0.499 gr/dk) substrat kullanım değerlerine ulaşmışlardır (37) Karbonhidratların enerjiye katılım oranları ve kullanım miktarları egzersiz yoğunluğundaki artışla önemli bir ilişki göstermektedir. Yüksek yoğunluktaki egzersizlerde %75-80 VO₂max ana enerji kaynağı durumuna ulaşmaktadır (38).

Sonuç olarak düşük aerobik egzersiz yoğunluğu organ ve sistemler üzerine yüksek miktarda metabolik strese yol açmadan yağ yakımında önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu çalışmadaki denekler normal vücut kompozisyonuna sahip sağlıklı genç erkek deneklerden seçilmiştir. Bu çalışmanın farklı vücut kompozisyonuna sahip obezlerde ve 30 dk üzeri yapılan egzersizlerde RQ ve yağ-karbonhidrat kullanımlarını belirlenmesi daha önemli bilgiler sağlayacaktır.

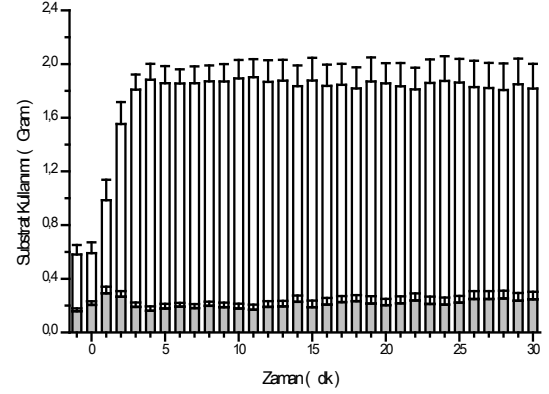
Teşekkür: Bu çalışma FÜBAP tarafından desteklenmiştir (Proje No: TF.11.63).

Tablo 1. Deneklerin ortalama (±SE) fiziksel özellikleri, tepe O₂ alımı (VO₂pik) anaerobik eşikdeki O₂ alımı (VO₂AE), maksimal iş gücü (W_{max}), anaerobikteki iş gücü (W_{AE}), %45 eşik altı iş gücü (W%₄₅) ve maksimal egzersizdeki kalp atım değerleri (KAH_{max}).

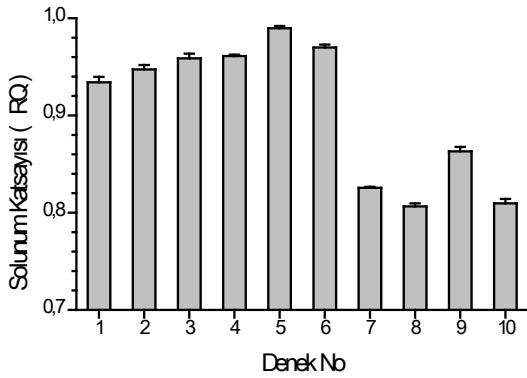
Parametreler	
Yaş (yıl)	20.8±1.9
Boy (cm)	184±9
Ağırlık (kg)	73.9±5.8
Vücut Kitle İndeksi (kg/m ²)	21.8±2
VO ₂ pik L/dk	3.00± 0.11
VO ₂ AE (L/dk)	1.78±0.07
W _{max} (W)	219±8
W _{AT} (W)	132±6
W% ₄₅ (W)	99±4
KAH _{max} (atım/dk)	189±1



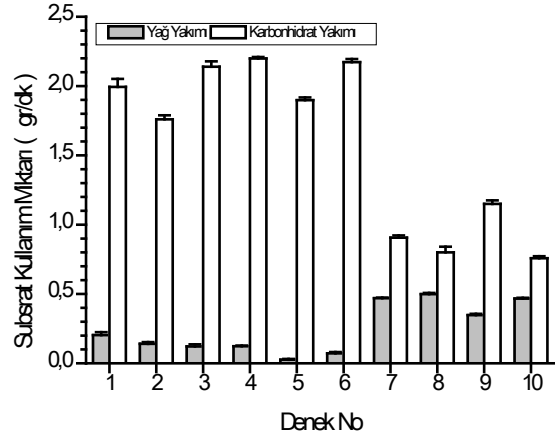
Şekil 1. Sabit yük egzersiz testi sırasında ortalama (\pm SE) solunum katsayısının (RQ) verdiği cevaplar. Zaman sıfır ve altındaki veriler istirahat ve ısınma dönemindeki değerlerin ortalamasını göstermektedir (n=10). Dikey kesik çizgi RQ daki düşüşün başlangıç noktasını göstermektedir.



Şekil 3. Sabit yük egzersiz testi sırasında ortalama (\pm SE) yağ (gri sütun) ve karbonhidrat (beyaz sütun) yakım miktarları (n=10). Zaman sıfır ve altındaki veriler istirahat ve ısınma dönemindeki ortalama değerleri göstermektedir (n=10).



Şekil 2. Bireylerin egzersiz son beş dakikasındaki ortalama (\pm SE) solunum katsayısı değerleri.



Şekil 4. Bireylerin sabit yük egzersiz testinin son beş dakikasındaki ortalama (\pm SE) yağ (gri sütun) ve karbonhidrat (beyaz sütun) yakım miktarları (n=10).

Kaynaklar

1. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, et al. Principles of Exercise Testing and Interpretation: Including Pathophysiology and Clinical Applications, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, PA, USA, 5th edition, 2012.
2. Palange P, Ward SA, Carlsen KH, et al. Recommendations on the use of exercise testing in clinical practice. Eur Resp J 2007;29:185-209.
3. Whipp BJ, Wagner PD and Agusti A. Determinants of the physiological systems responses to muscular exercise in healthy subjects. In: Clinical Exercise Testing (Ed: P. Palange and S.A. Ward), European Respiratory Monograph 2007; 1-35.
4. Sahlin K, Tonkonogi M, and Söderlund K. Energy supply and muscle fatigue in humans. Acta Physiol Scand 1998;162:261-6.
5. Pérez-Martin A, Dumortier M, Raynaud E, Brun et al. Balance of substrate oxidation during submaximal exercise in lean and obese people. Diabetes Metab 2001;27:466-44.
6. Kelley DE, Simoneau JA. Impaired free fatty acid utilization by skeletal muscle in non-insulin-dependent diabetes mellitus. J Clin Invest 1994;94: 2349-56.
7. Samuel VT, Petersen KF, Shulman GI. Lipid-induced insulin resistance: unravelling the mechanism. Lancet 2010;375: 2267-77.
8. Kiens B, Alsted TJ and Jeppesen J. Factors regulating fat oxidation in human skeletal muscle. Obes Rev 2011;12:852-8.
9. Ozcelik O, Dogan H, Kelestimur H. Effects of a weight reduction program with orlistat on serum leptin levels in obese women: A 12-week, randomized, placebo-controlled study. Curr Ther Res Clin Exp 2004;65:127-37.
10. Ozcelik O, Ozkan Y, Algul, S, and Colak R. Beneficial effects of training at the anaerobic threshold in addition to pharmacotherapy on weight loss, body composition, and exercise performance in women with obesity. Patient Preference Adherence 2015;9:999-1004.
11. Achten J, and Jeukendrup AE. Relation between plasma lactate concentration and fat oxidation rates over a wide range of exercise intensities. Int J Sports Med 2004;25:32-7.
12. Scherrer U, Randin D, Tappy L at al. Body Fat and Sympathetic Nerve Activity in Healthy Subjects Circulation 1994;89:2634-40.
13. Yasuda N, Ruby BC and Gaskill SE. Substrate oxidation during incremental arm and leg exercise in men and women matched for ventilatory threshold. J Sports Sci 2006;24:1281-9.
14. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, at al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. Am J Physiol 1993;265:380-91.
15. Rosenkilde M, Reichkender MH, Auerbach P, at al. Changes in peak fat oxidation in response to different doses of endurance training. Scand J Med Sci Sports 2015;25:41-52.
16. Kiens B, Essen-Gustavsson B, Christensen NJ & Saltin B. Skeletal muscle substrate utilization during submaximal exercise in man: effect of endurance training. J Physiol 1993;469:459-78.
17. Roepstorff C, Steffensen CH, Madsen M, at al. Gender differences in substrate utilization during submaximal exercise in endurance-trained subjects. Am J Physiol Endocrinol Metab 2002;282: E435-E47.
18. Spriet LL and Watt MJ. Regulatory mechanisms in the interaction between carbohydrate and lipid oxidation during exercise. Acta Physiol Scand 2003;178:443-52.
19. Brooks GA and Mercier J. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the "crossover" concept. J Appl Physiol 1994;76:2253-61.
20. Jeppesen J and Kiens B. Regulation and limitations to fatty acid oxidation during exercise J Physiol 2012; 1059-68.
21. Kaya H, Özçelik O. Tıp öğrencilerinde bir yılda vücut kompozisyonlarında meydana gelen değişimlerin belirlenmesi Fırat Tıp Derg 2005;10:164-8.
22. Whipp BJ, Davis JA, Torres F, Wasserman K. A test to determine parameters of aerobic function during exercise. J Appl Physiol 1981;50:217-21.
23. Ozcelik O, Wards SA and Whipp BJ. Effects of altered body CO2 stores on pulmonary gas exchange dynamics during incremental exercise in humans. Exp Physiol 1999;84:999-1011.
24. Beaver WL, Wasserman K, and Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. J Appl Physiol 1986;60:2020-7.
25. Whipp BJ, Ward SA and Wasserman K. Respiratory markers of the anaerobic threshold. Adv Cardiol 1986;35:47-64.
26. Frayn KN. Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. J Appl Physiol 1983;55:628-34.
27. Ozcelik O, Aslan M, Ayar A, Kelestimur H. Effects of body mass index on maximal work production capacity and aerobic fitness during incremental exercise. Physiol Res 2004; 53:165-70.
28. Venables MC, Achten J and Jeukendrup AE. Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study. J Appl Physiol 2005;98:160-7.
29. Jones NL, Heigenhauser GJ, Kuksis A, at al. Fat metabolism in heavy exercise. Clin Sci 1980;59:469-78.
30. Thompson DL, Townsend KM, Boughey R, Patterson K and Basset D. Substrate use during and following moderate- and low-intensity exercise: Implications for weight control. Eur J Appl Physiol 1998;78:43-9.
31. Achten J, Gleeson M and Jeukendrup AE. Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. Med Sci Sports Exerc 2002;34:92-7.
32. Lazzar S, Busti C, Agosti F, at al. Optimizing fat oxidation through exercise in severely obese Caucasian adolescents. Clin Endocrinol 2007;67:582-8.

33. Peronnet F, Massicote D. Table of nonprotein respiratory quotient: an uptake. Can J Sport Sci 1991;16:23-9.
34. Çolak R, Özçelik O. Effects of progressively increasing work rate exercise on body substrate utilisation. Turk J Endocrin Metab 2002;6:81-4.
35. Özçelik O, Doğan H, Keleştimur H. Effects of Acute Hypoxia on Body Substrate Utilisation During Progressively Increasing Work Rate Exercise Tests. Turk J Med Sci 2003;33 :223-8.
36. McArdle W and Katch FKV. Essentials of exercise physiology. Lippincott Williams & Wilkins. 2000.
37. Helge JW, Fraser AM, Kriketos AD, et al. Interrelationships between muscle fibre type, substrate oxidation and body fat. Int J Obes Relat Metab Disord 1999;23:986-91.
38. Manetta J, Brun JF, MaRmoun L, et al. Carbohydrate dependence during hard-intensity exercise in trained cyclists in the competitive season: importance of training status. Int J Sports Med 2002;23:516-23.