

T.C.
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZYOLOJİ ANABİLİM DALI

**MAKSİMAL YAĞ OKSİDASYON ŞİDDETİNDE YAPILAN
FARKLI EGZERSİZ BİÇİMLERİNİN TOPLAM YAĞ
OKSİDASYONUNA ETKİSİ**

Ertuğrul GEZGİN

FİZYOLOJİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMANI

Prof. Dr. Kerem Tuncay ÖZGÜNEN

ADANA-2024

T.C.
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZYOLOJİ ANABİLİM DALI

**MAKSİMAL YAĞ OKSİDASYON ŞİDDETİNDE YAPILAN
FARKLI EGZERSİZ BİÇİMLERİNİN TOPLAM YAĞ
OKSİDASYONUNA ETKİSİ**

Ertuğrul GEZĐİN

FİZYOLOJİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMANI

Prof. Dr. Kerem Tuncay ÖZGÜNEN

ADANA-2024

KABUL VE ONAY

Fizyoloji Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Programı Çerçevesinde yürütölmüş olan
“Maksimal Yağ Oksidasyon Şiddetinde Yapılan Farklı Egzersiz Biçimlerinin Toplam
Yağ Oksidasyonuna Etkisi”
adlı çalışma, aşağıdaki jüri tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tarihi: 24/10/2024

TEZ SINAV JÜRİSİ

Prof. Dr. Kerem Tuncay ÖZGÜNEN
Çukurova Üniversitesi
Başkan

Prof. Dr. Muaz BELVİRANLI
Selçuk Üniversitesi
Üye

Prof. Dr. Sanlı Sadi KURDAK
Çukurova Üniversitesi
Üye

Yukarıdaki Tez, Yönetim Kurulunun 10/10/2024 tarih ve 42/36 sayılı kararı ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Kübra AKILLIOĞLU
Sağlık Bilimleri Enstitü Müdürü

ETİK BEYANI

Çukurova Üniversitesi Sağlık Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim./11/2024

Ertuğrul GEZGİN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince, kendisine her danıştığım da engin bilgilerini, zamanını ve sabrını esirgemeyen; bilgi birikimiyle bana ışık tutan değerli hocam Prof. Dr. Kerem Tuncay ÖZGÜNEN'e,

Eğitimim süresince bana kazandırdığı bilgi ve deneyimlerin ötesinde, hayata ve öğrenmeye olan yaklaşımıyla bana her daim örnek olan ve vizyonu ile gelişimime katkı sağlayan Prof. Dr. Sanlı Sadi KURDAK'a

Fizyoloji nosyonunu edinmemde büyük katkıları olan, başta Prof. Dr. Şeref ERDOĞAN olmak üzere her biri bilgi birikimi ve destekleriyle yanımda olan Prof. Dr. Kübra AKILLIOĞLU, Doç. Dr. Çiğdem ÖZDEMİR, Doç. Dr. Besim ÖZAYKAN, Doç. Dr. Ayper BOĞA PEKMEZEKMEK'e,

Çalışmam boyunca laboratuvar da büyük bir özveriyle yardımcı olan, iş birliği ve destekleriyle sürecimi kolaylaştıran başta Arş. Gör. Dr. Özgür GÜNAŞTI olmak üzere tüm mesai arkadaşlarıma,

Tüm eğitim hayatım boyunca bana inanan, her anımda yanımda olan ve ellerinden gelen tüm desteği sağlayan canım aileme,

Ve son olarak, ancak en önemlisi, bu sürecin her aşamasında yanımda olan, desteğini bir an olsun esirgemeyen; sevgisi ve anlayışıyla güç bulduğum değerli eşim Özlem IŞIGIBOL GEZGİN'e sonsuz teşekkürlerimi ve minnettarlığımı sunarım.

Ertuğrul GEZGİN

İÇİNDEKİLER

KABUL ve ONAY	ii
ETİK BEYANI.....	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
TABLO DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİ	3
2.1. Enerji Metabolizmasının Temelleri	3
2.2. Egzersizde Enerji Eldesi	14
2.3. Enerji Tüketiminin Ölçümü.....	17
3. GEREÇ ve YÖNTEM	22
3.1. Katılımcılar.....	22
3.2. Uygulanan Ölçüm ve Testler.....	22
3.3. Antropometrik Ölçümler	23
3.4. İndirekt Kalorimetre	28
3.5. Egzersiz Testleri	31
3.6. İstatistiksel Analiz	34
4. BULGULAR	35
4.1. İstirahat Metabolik Hızı Testi.....	35
4.2. Yağ _{Maks} Testi.....	36
4.3. Sabit Şiddetli Egzersiz.....	37
4.4. İnterval Egzersiz Sürelerinin Tespiti	40
4.5. Pasif Dinlenmeli İnterval Egzersiz	42
4.6. Aktif Dinlenmeli İnterval Egzersiz	45
4.7. Zirve Yağ Oksidasyon Hızları.....	50
4.8. Ortalama Yağ Oksidasyon Hızı.....	51
4.9. Yağ Oksidasyon Miktarı	52

4.10. Karbonhidrat Oksidasyon Miktarı.....	53
4.11. Oksijen Alımı	54
4.12. Karbondioksit Üretimi.....	55
4.13. RQ	56
4.14. Dakika Ventilasyon (VE)	57
4.15. Ortalama Kalp Atım Hızı	58
5. TARTIŞMA	61
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR.....	66
EKLER.....	72
ÖZGEÇMİŞ	72



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Sırasıyla glukoz, galaktoz ve fruktozun kimyasal formülleri	4
Şekil 2. Glikojen molekülünün kimyasal yapısı	5
Şekil 3. 3 adet stearik asit içeren triaçilgliserol örneği	6
Şekil 4. ATP hidrolizi	8
Şekil 5. Kreatin fosfat mekiği	10
Şekil 6. Enerji substratlarının vücuttaki dağılımı.....	13
Şekil 7. Gliserol metabolizması	14
Şekil 8. Egzersiz esnasında, zamana bağlı substrat oksidasyonunun değişimi.....	16
Şekil 9. Kesişim modeli şeması	17
Şekil 10. Direkt kalorimetri sistemi	18
Şekil 11. Haldane dönüşümü formülü.....	19
Şekil 12. Açık devre spirometri örnekleri	20
Şekil 13. Çalışmanın akış şeması.....	23
Şekil 14. Pelvis ve omuz çap ölçümü	24
Şekil 15. Subskapula ve uyluk bölgelerindeki deri kalınlığı ölçümü	26
Şekil 16. Antropometrik ölçüm bölgeleri.....	26
Şekil 17. İndirekt kalorimetre ve kalibrasyon şıngası	28
Şekil 18. Nabız bandı.....	29
Şekil 19. Bazal metabolizma hızı ölçümü	29
Şekil 20. Yağ _{Maks} testinden elde edilen örnek yağ oksidasyonu grafiği	31
Şekil 21. Sabit şiddetli egzersizde gözlenen yağ oksidasyonu	32
Şekil 22. Egzersiz ve dinlenme pozisyonu	33
Şekil 23. Aktif dinlenmeli egzersizde gerçekleşen örnek hız grafiği.....	33
Şekil 24. Sabit şiddetli egzersiz esnasında kaydedilen örnek yağ oksidasyonu değişim grafiği	37
Şekil 25. Sabit şiddetli egzersiz testi süresince gözlenen zamana bağlı ortalama yağ oksidasyonu değişim grafiği	38
Şekil 26. Sabit şiddetli egzersiz sırasında substrat kullanım oranının zamana bağlı değişimi.....	39

Şekil 27. Sabit şiddetli egzersizde gözlenen yağ oksidasyonunun zamana bağlı değişimi.....	41
Şekil 28. Pasif dinlenmeli egzersiz sırasında bir kişiden kaydedilen örnek yağ oksidasyon hızı grafiği.....	42
Şekil 29. Pasif dinlenmeli egzersiz testi süresince gözlenen zamana bağlı ortalama yağ oksidasyonunu değişim grafiği.....	43
Şekil 30. Pasif dinlenmeli egzersiz sırasında substrat kullanım oranının zamana bağlı değişimi.....	44
Şekil 31. Aktif dinlenmeli egzersiz sırasında bir kişiden kaydedilen örnek yağ oksidasyon hızı grafiği.....	46
Şekil 32. Aktif dinlenmeli egzersiz testi süresince gözlenen zamana bağlı ortalama yağ oksidasyonu değişim grafiği.....	46
Şekil 33. Aktif dinlenmeli egzersiz sırasında substrat kullanım oranının zamana bağlı değişimi.....	47
Şekil 34. Sırasıyla sabit şiddet, pasif dinlenmeli ve aktif dinlenmeli egzersiz protokollerinde gözlemlenen zamana bağlı ortalama yağ oksidasyon hızı değişim.....	49
Şekil 35. Testlerde gözlenen zirve yağ oksidasyon hızları	50
Şekil 36. Yağ _{Maks} testinde ve sabit şiddet, pasif dinlenmeli ve aktif dinlenmeli egzersiz protokollerinde gözlenen ortalama yağ oksidasyon hızları.....	51
Şekil 37. Egzersiz testleri süresince gerçekleşen yağ oksidasyon miktarları.....	52
Şekil 38. Sabit şiddet, pasif dinlenmeli, aktif dinlenmeli egzersiz protokollerinde gözlenen toplam yağ oksidasyonlarının karşılaştırması	53
Şekil 39. Yağ _{Maks} testi ve sabit şiddet, pasif dinlenmeli, aktif dinlenmeli egzersiz protokollerinde gözlenen oksijen tüketim değerleri	54
Şekil 40. Yağ _{Maks} testi ve sabit şiddet, pasif dinlenmeli, aktif dinlenmeli egzersiz protokollerinde gözlenen ortalama karbondioksit üretim miktarları.....	55
Şekil 41. Yağ _{Maks} testi ve egzersiz protokollerinde gözlenen RQ değerleri	56
Şekil 42. Yağ _{Maks} testi ve sabit şiddet, pasif dinlenmeli, aktif dinlenmeli egzersiz protokollerinde gözlenen dakika ventilasyon hacimleri	57
Şekil 43. Yağ _{Maks} testi ve sabit şiddet, pasif dinlenmeli, aktif dinlenmeli egzersiz protokollerinde gözlenen ortalama kalp atım sayısı	58

TABLO DİZİNİ

Tablo 1. Katılımcıların yaş, boy, vücut ağırlığı, VKİ, yağ oranı, kas oranı ve kemik oranı ortalamaları	35
Tablo 2. Katılımcıların istirahat değişkenlerinin ortalamaları	35
Tablo 3. Kişilerin Yağ _{Maks} şiddetinde gözlenen solunum değişkenleri ortalamaları	36
Tablo 4. Zirve değerler tablosu	36
Tablo 5. Egzersizde gözlenen en yüksek substrat oksidasyon hızları ve test süresince okside olan substrat miktarları	38
Tablo 6. Yağ _{Maks} testi ile sabit şiddetli egzersiz sırasında kaydedilen değişkenler	40
Tablo 7. Katılımcılara ait bireysel tau süreleri ile aktif ve pasif egzersizlerdeki interval sayıları	42
Tablo 8. Egzersizde gözlenen en yüksek oksidasyon hızları ve test süresince okside olan substrat miktarları	44
Tablo 9. Pasif dinlenmeli egzersizin, Yağ _{Maks} şiddetinde kaydedilen solunum değişkenlerinin ortalama değerleri ve bu değerlerin Yağ _{maks} testinde saptanan değerlere oranı	45
Tablo 10. Egzersizde gözlenen en yüksek oksidasyon değerleri ve test süresince okside olan substrat miktarları	47
Tablo 11. Aktif dinlenmeli egzersiz ile Yağ _{Maks} testinin aynı şiddetinde kaydedilen solunum değişkenlerinin ortalamaları	48
Tablo 12. Yağ _{Maks} testinde ve egzersizlerde gözlemlenen substrat oksidasyonu değerleri	59
Tablo 13. Yağ _{Maks} testinde ve egzersizlerde gözlemlenen solunum parametreleri ve kalp atım hızı değerleri	60

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ADE	Aktif dinlenmeli interval egzersiz
ADP	Adenozin difosfat
ATP	Adenozin trifosfat
ATPaz	Adenozin trifosfataz
CO₂	Karbondioksit
FAD	Flavin adenin dinükleotid
FECO₂	Ekspire edilen havadaki karbondioksit fraksiyonu
FEO₂	Ekspire edilen havadaki oksijen fraksiyonu
FICO₂	İnspire edilen havadaki karbondioksit fraksiyonu
FIO₂	İnspire edilen havadaki oksijen fraksiyonu
FMN	Flavin mononükleotid
GluT	Glukoz taşıyıcılar
H₂O	Su molekülü
NAD⁺	Nikotinamid dinükleotid
NADH	Nikotinamid adenin dinükleotit hidrid
O₂	Oksijen
PCr	Kreatin fosfat
PDE	Pasif dinlenmeli interval egzersiz
P_i	İnorganik fosfat
RQ	Solunum katsayısı
SERCA	Sarkoplazmik endoplazmik retikulum ATPaz
SŞE	Sabit şiddetli egzersiz
VCO₂	Karbondioksit üretim hacmi
VE	Dakika ventilasyon
VKİ	Vücut kitle indeksi
VO₂	Oksijen tüketim hacmi
Yağ_{Maks}	Maksimal yağ yakım hızı
-ΔG	Serbest enerji
τ	Tau

ÖZET

Maksimal Yağ Oksidasyon Şiddetinde Yapılan Farklı Egzersiz Biçimlerinin Toplam Yağ Oksidasyonuna Etkisi

Enerji gerektiren bütün metabolik süreçler, besinlerin parçalanmasıyla üretilen enerji ile gerçekleştirilmektedir. Enerji üretiminde kullanılan substratlar çoğunlukla karbonhidratlardan ve yağlardan oluşmaktadır. Enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılacak substratın seçimi, ihtiyaç duyulan enerjinin miktarıyla ilişkilidir. Düşük şiddette gerçekleştirilen egzersizlerde yağ oksidasyon miktarı yüksek şiddetli egzersizlere oranla daha fazla gerçekleşmektedir. Literatürde egzersiz süresinin yağ oksidasyonu üzerine olan etkileri ile ilgili çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışmada, sağlıklı ve rekreasyonel spor yapan bireylerde farklı egzersiz protokollerinin yağ oksidasyonuna etkisi incelenmiştir. Çalışma 11 gönüllü katılımcı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümler 4 ayrı günde, 12 saatlik açlık sonrasında gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sırasıyla antropometrik ölçüm, dinlenme metabolizma hızı, maksimal yağ yakım hızı (Yağ_{Maks}) testi, sabit şiddette egzersiz (SŞE), pasif dinlenmeli interval egzersiz (PDE) ve aktif dinlenmeli interval egzersiz (ADE)'inden oluşmaktadır. Yapılan ölçümlerde Yağ_{Maks} testinde gözlenen en yüksek yağ oksidasyon hızının, SŞE ve PDE'de gerçekleşen ortalama yağ oksidasyon hızından anlamlı yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yağ_{Maks} testi ile ADE'de gözlenen ortalama yağ oksidasyonu arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Egzersizlerin dinlenme periyotlarında ise ADE'de gözlenen substrat oksidasyon miktarlarının anlamlı miktarda yüksek olduğu bulunmuştur. Pasif dinlenmeli egzersizlerde ise ortalama kalp atım sayısı diğer egzersiz protokollerine göre anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur. Bu bulgular egzersiz programlarının planlanmasını değiştirebilecek niteliktedir.

Anahtar kelimeler: İnterval egzersiz, Karbonhidrat oksidasyonu, Substrat metabolizması, Yağ_{Maks}, Yağ oksidasyonu

ABSTRACT

The Effect of Different Forms of Exercise at Maximal Fat Oxidation Intensity on Total Fat Oxidation

All metabolic processes that require energy are carried out using the energy produced by the breakdown of nutrients. The substrates used for energy production are mostly composed of carbohydrates and fats. The selection of the substrate to be used in meeting the energy needs is related to the amount of energy required. During low-intensity exercises, the amount of fat oxidation is higher compared to high-intensity exercises. Studies in the literature on the effects of exercise duration on fat oxidation are limited. In this study, the effects of different exercise protocols on fat oxidation in healthy and recreationally active individuals were examined. The study was conducted with 11 volunteer participants. Measurements were taken on four separate days, following a 12-hour fasting period. The measurements included anthropometric assessments, resting metabolic rate, maximal fat oxidation rate (Fat_{Max}) test, steady-state exercise (SSE), passive rest interval exercise (PRE), and active rest interval exercise (ARE). The results showed that the highest fat oxidation rate observed during the FatMax test was significantly higher than the average fat oxidation rates during SSE and PRE. However, no significant difference was found between the average fat oxidation rates observed in ARE and maximal fat oxidation in FatMax test. During the resting periods of the exercises, substrate oxidation amounts observed in ARE were found to be significantly higher. In passive rest exercises, the average heart rate was significantly lower compared to other exercise protocols. These findings have the potential to influence the planning of exercise programs.

Keywords: Carbohydrate oxidation, Fat_{Max}, Interval exercise, Lipid oxidation, Substrate metabolism

1. GİRİŞ

Enerji gerektiren bütün metabolik süreçler, besinlerin parçalanmasıyla üretilen enerji ile gerçekleştirilmektedir. Enerji üretiminde kullanılan substratlar çoğunlukla karbonhidratlardan ve yağlardan oluşmaktadır. Enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılacak substratın seçimi, ihtiyaç duyulan enerjinin miktarıyla ilişkilidir. Düşük şiddetlerde gerçekleşen işlerde baskın olarak kullanılan substrat yağlar iken, yüksek şiddette gerçekleşen işlerde ise temelde kullanılan substrat karbonhidratlardır⁽¹⁾.

Egzersiz şiddetlerine verilen metabolik yanıtların takip edilmesi için çeşitli yöntemler olmakla beraber indirekt kalorimetre yöntemi bu amaçla sıkça kullanılmaktadır. İndirekt kalorimetre ile kişinin oksijen tüketimi ve ortaya çıkan karbondioksit miktarı takip edilebilmektedir⁽²⁾. Yağ metabolizmasının düşük şiddetlerde daha baskın olması sebebiyle, kişilerin düşük şiddetli işlerden başlayan ve kademeli olarak iş yükünün arttığı testler ile substrat tercihlerinin takip edildiği farklı ölçüm protokolleri geliştirilmiştir⁽³⁾. Brooks ve Mercier'in geliştirdiği "kesişim modeli" ile kullanılan substratlarda gözlenen değişimler modellenmiş ve substratların kesiştiği bölge "kesişim noktası" olarak adlandırılmıştır. Kesişim noktasının gerçekleştiği egzersiz şiddeti ise kişinin maksimal oksijen tüketiminin %50-55'ine karşılık gelmektedir⁽⁴⁾.

Şiddetin kademeli olarak arttığı egzersiz testleri ile kişinin en yüksek yağ oksidasyonunu gerçekleştirdiği egzersiz şiddeti tespit edilmektedir. Bu amaçla geliştirilen ve uygulanan farklı protokoller ve her bir teste özel isimlendirmeler bulunmaktadır³. Yağ oksidasyonunun en yüksek miktarda gerçekleştiği egzersiz şiddeti Yağ_{Maks} olarak isimlendirilecektir.

Yağ_{Maks} şiddetinde veya bu şiddete yakın gerçekleştirilen egzersizlerin kan lipid profilini düzenlemesi, kilo kontrolü ve obez ve tip 2 diyabetik bireylerde iskelet kasının oksidatif kapasitesinin artırılması için önerilmektedir^(5, 6). Egzersiz esnasında gerçekleşen yağ oksidasyonu miktarı, egzersizin şiddetine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Sabit şiddette gerçekleştirilen egzersizlerde ise yağ oksidasyonunun değişmediği kabul edilmektedir^(5, 7, 8). Literatürde egzersiz süresinin yağ oksidasyonu üzerine olan etkileri ile ilgili çalışmalar sınırlı olup Özdemir ve arkadaşları sedanter kilolu bireylerde Yağ_{Maks} şiddetinde yapılan uzun süreli (40 dakika) yürüyüş egzersizinde yağ

oksidasyon hızının egzersizin başlaması ile birlikte düşmeye başladığını ve yaklaşık 15 dakikada dengeye geldiğini göstermiştir⁽⁹⁾.

Yağ oksidasyonun zamana bağlı değişmesi sebebiyle kişilerin sabit şiddetli egzersizde gerçekleştirdiği yağ oksidasyonu miktarı, Yağ_{Maks} testinde ölçülen yağ oksidasyonu miktarından az olabilmektedir. Literatürde uzun süreli egzersizlerde zamana bağlı yağ oksidasyonunun değişimine dair yapılan çalışma sayısı oldukça sınırlıdır.



2. GENEL BİLGİ

2.1. Enerji Metabolizmasının Temelleri

Vücudun temel işlevlerinin yerine getirilmesi ve fiziksel aktiviteyi desteklemek için enerjiye ihtiyaç duyulur⁽¹⁰⁾. Bu enerji temel olarak besin maddelerinde bulunan organik bileşiklerden sağlanmaktadır. Düşük molekül ağırlıklı monomerlerden oluşan ve molekül ağırlığı yaklaşık 5000 kDa'un üzerinde olan karbonhidratlar, yağlar ve proteinler gibi organik bileşikler makro besinler olarak adlandırılmaktadır⁽¹¹⁾.

2.1.1. Makro Besinlere Genel Bakış

Hücre yapısında en fazla bulunan makro besin olan protein hücre kütlesinin %10-20'sini oluşturmaktadır. Hücre kütlesinin %2'sini oluşturan lipitler ise temel olarak hücre membranında yer almaktadır. Adipositlerde ise depolanan yağ miktarı, toplam hücre kütlesinin %95'ine kadar artabilmektedir. Karbonhidratlar ise çoğu hücrenin %1'ini oluştururken, karbonhidratların depolanabildiği kas hücrelerinde bu oran %3'e, hepatositlerde ise %6'ya ulaşabilmektedir⁽¹²⁾.

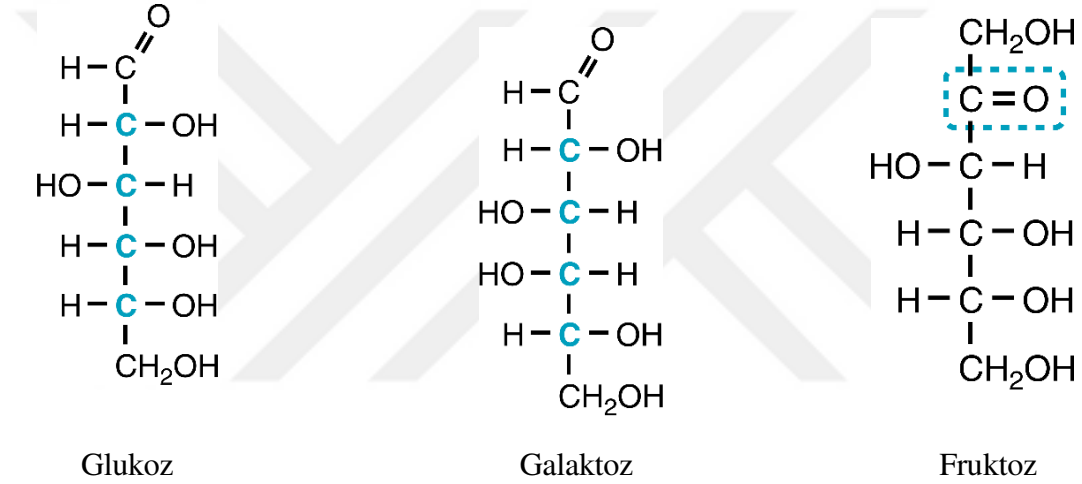
2.1.1.1. Karbonhidratlar

Karbonhidratlar vücutta temel enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır⁽¹³⁾. Karbon, hidrojen ve oksijen atomlarının çeşitli kombinasyonlarla oluşturduğu basit karbonhidrat moleküllerinin genel formülü $(CH_2O)_n$ 'dir. Karbonhidratların oksidasyonu fotosentez yapmayan hücrelerde enerji sağlayan merkezi yolaktır. Monosakkaritler, oligosakkaritler ve polisakkaritler olarak 3 ayrı sınıfta incelenmektedir^(2, 14).

2.1.1.1.1. Monosakkaritler

Karbonhidratların en küçük üniteleri monosakkarit olarak adlandırılır^(2, 13). Glukoz, fruktoz ve galaktoz besinlerde en fazla bulunan monosakkaritlerdir⁽¹⁰⁾. Monosakkaritler suda çözünebilen yapıya sahiptir. Doğada en yaygın bulunan monosakkaritler altı

karbonludur. Yapılarındaki karbonil grubu son karbondadır ise aldoz, değilse ketoz olarak adlandırılır (Şekil-1). Glukoz ve galaktoz, aldoz grubunda yer almakta olup birbirlerinin izomeridir. Fruktoz ise ketoz grubu bir monosakkarittir. Glukoz ve fruktoz, fotosentez yoluyla üretilir ve çoğu organizmada enerji yollarındaki önemli ara ürünlerdendir⁽¹¹⁾. Galaktoz ise doğada serbest olarak bulunmaz, glukozla birlikte memeli hayvanların sütünde bulunan laktoz molekülünü oluşturur. İnsan vücudunda galaktozun metabolizmada kullanılabilmesi için glukozla dönüştürülmesi gerekir. Dolaşım sisteminde 2-3 gram glukoz bulunmaktadır^(2, 14, 15).



Şekil 1. Sırasıyla glukoz, galaktoz ve fruktozun kimyasal formülleri gösterilmiştir. Fruktoz'un formülünde mavi kesikli çizgiyle işaretlenmiş bölge karbonil grubunu vurgulamaktadır.

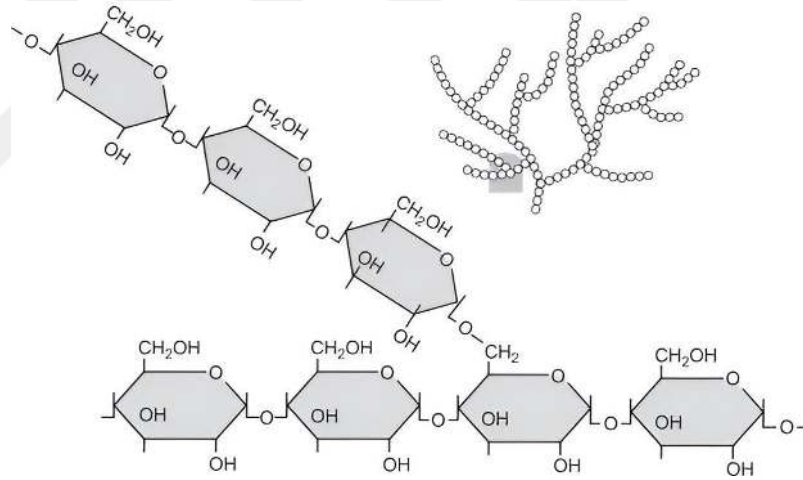
2.1.1.1.2. Oligosakkaritler

Monosakkaritlerin glikozid bağlarıyla birleşerek oluşturduğu, 2 ila 10 monosakkarit içeren karbonhidratlardır⁽²⁾. Oligosakkaritlerin doğada en sık rastlanan formu iki monosakkarit birimi içeren disakkarit grubudur⁽¹¹⁾. Disakkaritlerin tamamı glukoz barındırmaktadır. Monosakkaritler ve disakkaritler, beraber olarak basit şekerler olarak adlandırılmaktadır. Başlıca disakkaritler Sükroz, Laktoz ve Maltozdan oluşmaktadır⁽²⁾. Sükroz, glukoz ve fruktozun oluşturduğu disakkarittir. Karbonhidrat içeren çoğu besinde doğal olarak bulunmakta ve günlük alınan kaloride önemli bir payı bulunmaktadır⁽²⁾. Glukoz ve galaktozdan oluşan laktoz bitkiler tarafından oluşturulamayan ancak sütte bulunan bir disakkarittir. Sütün yapısında bulunan laktoz,

glukoz ve galaktozdan oluşur. Maltoz, iki glukozdan oluşan ve malt şeker olarak adlandırılan disakkarittir. Beslenme ile alınan karbonhidratların küçük bir kısmını oluşturur⁽²⁾.

2.1.1.1.3. Polisakkaritler

On ve daha fazla monosakkaritten oluşan, dallı veya düz zincirler halinde olabilen karbonhidratlardır. Barındırdığı monosakkarit sayısı binlerle ifade edilebilmektedir. Nişasta, selüloz ve glikojen bu grupta yer almakla beraber, glikozid bağlarının farklılığı nedeniyle özellikleri değişiklik göstermektedir⁽¹¹⁾. Glikojen, insan vücudundaki depo polisakkarit formudur (Şekil-2). Seksen kilogram vücut ağırlığındaki bir kişinin karaciğerinde bulunan glikojen deposu 90 ile 110 gr arasında (karaciğerin ağırlığının %7'sine kadar artabilmekte) iken kasta depolanan glikojen miktarı yaklaşık 400 gramdır^(2, 14).



Şekil 2. Glikojen molekülünün kimyasal yapısı⁽¹⁶⁾

2.1.1.2. Lipitler

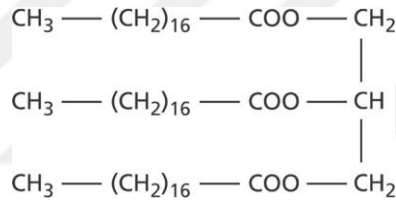
Lipitler kendi içinde kimyasal yapılarına göre ayrılmakta ve isimlendirilmektedir. Ortak özellikleri, suda çözünmeyen yapıya sahip olmalarıdır. Birçok organizma, enerji deposu olarak temelde yağları kullanmaktadır⁽¹¹⁾. Bitkiler ve hayvanlarda uzun hidrokarbon zincirler halinde bulunmaktadır. Karbonhidratlarla karşılaştırıldığında daha indirgenmiş bir yapıya sahiptirler. Kimyasal yapılarına bakıldığında karbonhidratlarda hidrojenin oksijene oranı 2:1 iken, yağlarda bu oran 18,3:1'dir. Bu

kimyasal farklılık sebebiyle yağların metabolizmada kullanılması esnasında daha fazla enerji serbestlenmektedir⁽¹⁴⁾. Hidrofobik olmaları sayesinde daha verimli enerji depolarıdır. Verimli olmalarının sebebi ise depo edilirken beraberinde hücre içi su miktarında artışa gerek olmamasıdır⁽¹⁴⁾.

Lipitler; basit, bileşik ve türetilmiş lipitler olmak üzere üç sınıfta toplanmaktadır⁽²⁾.

2.1.1.2.1. Basit Lipitler

Basit lipitler temelde triaçilgliserollerden oluşan nötr bir yapıya sahiptir. Adipositlerde depolanan yağ da çoğunlukla bu yapıdadırlar. Triaçilgliseroller, gliserol ve dallanmamış karbon zinciri olan 3 tane yağ asidinden oluşmaktadır (Şekil-3). Yağ asitlerinin serbestleştiği durumlarda, sahip olduğu karboksil grubu moleküle asidik özellik katmaktadır⁽²⁾.



Şekil 3. 3 adet stearik asit içeren triaçilgliserol örneği⁽¹²⁾

2.1.1.2.2. Birleşik lipitler

Yağ asitleri ve alkollere ek olarak farklı gruplar içeren lipitlerdir. Bu ekstra moleküllere göre kendi içinde sınıflandırılır ve adlandırılırlar⁽¹³⁾. Fosfolipitler, glikolipitler ve lipoproteinler bu grupta yer almaktadır. Birleşik lipitler vücuttaki toplam yağın %10'unu oluşturmaktadır^(2, 17).

2.1.1.2.3. Türetilmiş lipitler

Türetilmiş lipitler basit ve birleşik lipitlerin hidrolizi sonucu oluşur. Bu sınıfta yağ asitleri, gliserol, steroidler, yağlı aldehitler, keton cisimleri, hidrokarbonlar, lipitte çözünen vitaminler ve hormonlar bulunmaktadır⁽¹⁵⁾.

2.1.1.3. Proteinler

Proteinler tüm hücrelerde ve hücrelerin tüm bölümlerinde en fazla bulunan makromoleküldür. Proteinler yapısal ve fonksiyonel olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Yapısal proteinler, hücre iskeletini oluşturmaktadır. Fonksiyonel proteinler ise enzim, hormon ve hücre membranında iyon taşıyıcı olarak görev alabilirler^(10, 12).

İnsan vücudunun, 10-12 kilogramı veya kuru ağırlığının yarıdan fazlasının proteinlerden oluştuğu bilinmektedir. İçinde barındırdığı karbon, oksijen ve hidrojen nedeniyle yapısal olarak yağ ve karbonhidratlara benzemekle beraber, bir proteinin ağırlığının yaklaşık %16'sı azot kaynaklıdır^(2, 13). Aynı zamanda genetik bilginin ifade edildiği moleküler yapılardır⁽¹¹⁾. Proteinler, birbirine peptit bağlarıyla bağlanmış amino asitlerden oluşmaktadır^(13, 18). Polipeptitler, iki veya daha fazla aminoasitten oluşan ve binlerce aminoasit sayısına ulaşabilen yapılara verilen addır⁽¹¹⁾. Polipeptitin, protein olarak adlandırılması için 50'den fazla aminoasit barındırması gerekmektedir⁽¹⁹⁾.

2.1.2. Enerji transferi

Makro besinlerin kademeli olarak parçalanması esnasında ortaya çıkan enerjinin bir kısmı, hücrenin kullanabildiği enerji formu olan, adenosin trifosfat (ATP) molekülüne aktarılmaktadır⁽¹¹⁾. Bu dönüşüm aerobik veya anaerobik metabolizma ile sağlanabilmektedir. Hücrede enerji üretimi için oksijenin kullanıldığı süreçler aerobik metabolizma ve oksijen olmadan gerçekleşen enerji eldesi ise anaerobik metabolizma olarak adlandırılmaktadır⁽²⁾. Aerobik metabolizmada enerji üretimi için kullanılan kaynaklar genellikle karbonhidrat ve yağlar iken aminoasit oksidasyonu da az miktarlarda enerji elde edilmektedir. Yeterli glikojenin olmadığı durumlarda enerji eldesinde proteinlerin kullanımının arttığı bilinmektedir^(1, 20). Aerobik metabolizma, kasılmanın gerçekleştiği iskelet kas dokusuna yeterli oksijenin taşınımından sorumlu solunum ve kardiyovasküler sistemlere bağımlıdır. Oksidatif yolda, karbonhidrat oksidasyonu ile ATP üretim hızı, yağ oksidasyonuna göre daha yüksektir. Anaerobik enerji yolları ile ATP üretim hızı çok yüksek ancak bu yolla üretilebilecek olan enerji miktarı aerobik yollarla karşılaştırıldığında çok azdır⁽²¹⁾.

2.1.2.1. Enerji birimi

Hücre; serbest yağ açıl-CoA, asetil CoA, 1,3-Bifosfogliserat, fosfokreatin gibi yüksek enerjili bileşiklere de sahiptir ancak ATP enerji sağlayan en önemli moleküldür⁽²⁾. Adenozin trifosfatın diğer bileşiklerden farkı, fosfat bağlarının koparılması için gereken enerjinin yüksek olması ancak bu reaksiyonun enzimler sayesinde daha düşük enerji miktarıyla gerçekleşmesinden kaynaklanır⁽¹¹⁾. Bir mol ATP'nin adenozin trifosfataz (ATPaz) ile hidrolizi sonucu ortaya adenozin difosfat (ADP), inorganik fosfat (Pi) ve yaklaşık 7.3 kcal serbest enerji ($-\Delta G$) açığa çıkar (25° ortam sıcaklığı, 1atm basınç, pH=7.0)^(2, 11)(Şekil-4).



Şekil 4. ATP hidrolizi⁽¹¹⁾

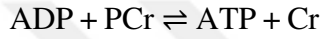
Besin moleküllerinde bulunan enerjinin büyük bir kısmı, ATP molekülünde bulunan fosfat bağlarına aktarılmaktadır⁽²⁾. ATP'nin hidrolizi; biyosentetik reaksiyonlar, kas kasılması ve membranlar arasında aktif taşıma dahil olmak üzere hücredeki enerji tüketen süreçlerin çoğunu yönlendiren enerjiyi sağlar⁽¹⁷⁾.

Örneğin; Çizgili kas hücrelerinde ATP, hücre uyarılabilirliğinde önemli rol oynayan sodyum-potasyum ATPaz'a (Na^+/K^+ ATPaz), sarkoplazmik retikulumun, hücre içi kalsiyum derişimini azaltmasına olanak sağlayan sarkoplazmik endoplazmik retikulum ATPaz'a (SERCA) ve miyofibrillere çapraz köprüleri oluşturması için gereken enerjiyi sağlamaktadır⁽²¹⁾. Bu sebeple ATP hücrenin “enerji birimi” olarak adlandırılmaktadır⁽²⁾.

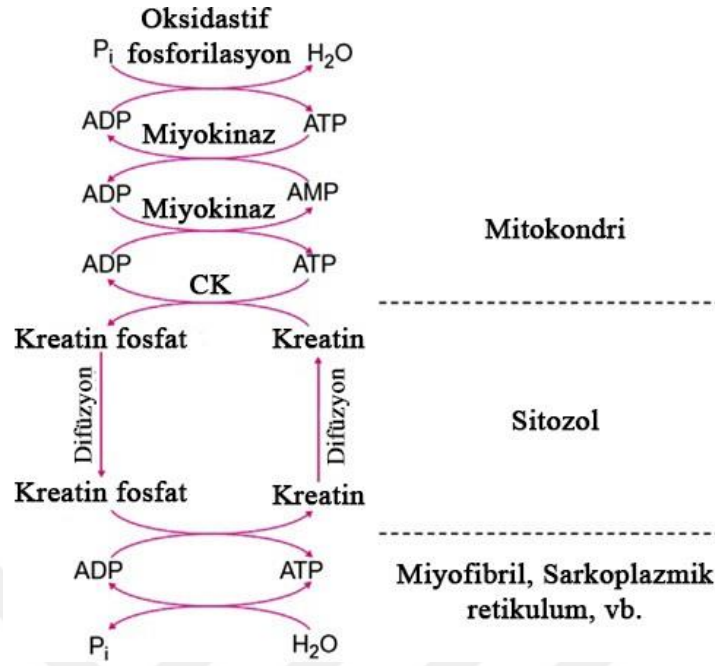
Ancak hücrenin ATP depoları nispeten az olduğundan (1kg kas dokuda ~5 mmol), enerji eldesinin sürekliliği, yaşamsal aktivitenin devamlılığı için zorunludur. Yüksek şiddette yapılan bir aktivitede bu kaynak 2 saniyeden kısa sürede tüketilebilmekle beraber, yeniden sentezlenmediği düşük şiddetli işlerde ise yaklaşık 15 saniyede tükeneyeceği hesaplanmaktadır⁽²¹⁾. ATP rezervinin kısıtlı olması sebebiyle, devamlı olarak ATP'nin üretilmesi zorunludur.

2.1.2.2. Kreatin fosfat

Anlık enerji ihtiyacının karşılanması fosfokreatinin de yer alması, enerji homeostazının bir süre daha devam ettirilmesine olanak sağlar⁽²²⁾. Kreatin fosfat olarak da adlandırılan PCr, ATP'nin hızlı sentezi için gerekli olan yüksek enerjili fosfat bağına sahiptir^(2, 11). Hücrede adenosin trifosfatın, adenosin difosfata dönüşmesi ve sonuç olarak ATP/ADP oranındaki azalma, kreatin kinaz aktivitesinde artışa sebep olur⁽²³⁾. Kreatin kinaz enziminin katalizlediği reaksiyon ile PCr hidrolize olur ve ADP'ye fosfat bağlanarak ATP sentezlenir⁽¹¹⁾. Hücrede ATP/ADP oranının arttığı durumlarda ise ATP hidrolizi ile kreatin(Cr)'e fosfat bağlanarak PCr deposu yenilenir⁽²³⁾.



Enerji deposu olmasının yanı sıra mitokondride üretilen enerjinin aktarılmasında önemli rol oynar. Adenin nükleotidlerinin difüzyon yetenekleri, küçük boyutlu ve elektriksel yükü az olan PCr'ye göre daha azdır. Bu sebeple hücrede yüksek enerjili fosfat bağlarının, taşınmasında önemli bir rolü vardır. Mitokondride sentezlenen ATP molekülü bir fosfatını kreatinine aktararak, hücrede ATP tüketiminin olduğu bölgelere difüze olarak işin devamlılığını sağlar. Fosfat molekülünü aktaran kreatin mitokondriye tekrar difüze olarak döngünün devamlılığı sağlanır (şekil-5). Aynı zamanda mitokondride artan adenosin difosfat (ADP), enerji üretimi üzerinde uyarıcı etkiye sebep olur. Adenosin trifosfat ve PCr, hücrede hazır olarak bulunmasına karşın oldukça kısa süreler için enerji sağlayabilirler. Bu yüzden farklı enerji yollarıyla devam eden iş için ihtiyaç duyulan enerji sağlanmalıdır^(2, 23, 24).



Şekil 5. Kreatin fosfat mekiği⁽²⁴⁾

2.1.2.3. Hücresel Oksidasyon

Fosforilasyon için gerekli olan enerji çoğunlukla karbonhidrat, yağ ve proteinlerin oksidasyonu ile elde edilmektedir⁽²⁾. Oksidasyon reaksiyonları, elektronların transfer edildiği moleküler etkileşimlerdir. Oksidasyon reaksiyonları ile redüksiyon reaksiyonları eşlenik reaksiyonlardır. Çünkü redüksiyon reaksiyonlarında elektron eklenirken, oksidasyonda elektron kaybı söz konusudur. Eşlenmiş oksidasyon-redüksiyon reaksiyonları, redoks reaksiyonları olarak adlandırılır⁽¹³⁾. Mitokondride gerçekleşen elektron transferleri de redoks reaksiyonlarına örnektir. Substrata özgü dehidrogenaz enzimleriyle hidrojen atomundan ayrılan elektronlar oksijene aktarılır, oksijen redükte edilirken hidrojenin oksidasyonu gerçekleşir⁽¹⁷⁾. Hidrojen atomlarının eldesi için substrat olarak karbonhidrat, yağ ve protein kullanılır⁽²⁵⁾. Nikotinamid dinükleotid (NAD^+), Flavin adenin dinükleotid (FAD) ve Flavin mononükleotid (FMN) temel redoks koenzimleridir. Substratlardan enerji eldesi esnasında, elektronlar bu koenzimleri $NADH$, $FADH_2$ ve $FMNH_2$ 'ye redükte etmektedir. Bu nükleotidler, mitokondrinin iç zarında bulunan sitokromlara elektronunu aktararak yükseltgenir^(2, 26). Sitokromlarda membran boyunca aktarılan elektron son olarak sitokrom oksidaz tarafından oksijene bağlanır. Bu süreçte hidrojen iyonlarının mitokondriyel matriksten intermembraneal aralığa aktarılması, bu iki

bölge arasında hidrojen iyon gradiyenti oluşturur. Hidrojen iyonları bu gradiyent doğrultusunda membranda bulunan ATP sentaz aracılığıyla mitokondriyal matrikse taşınırken ATP sentezi gerçekleşir. Bu işlemlerin tamamı hücresel solunum olarak adlandırılır⁽¹³⁾. Son elektron alıcısı olan oksijen, Hidrojen atomlarıyla birlikte su molekülünü oluşturur. Aerobik enerji üretiminin devamlılığı için mitokondriyal oksijen miktarının korunması gereklidir⁽²⁾.

2.1.3. Makro Besinlerden Enerji Eldesi

Makro besinlerden enerji eldesi ile ADP'nin fosforillenerek ATP'ye dönüştürülmesi sağlanmaktadır⁽¹⁰⁾. Enerji eldesinin sağlanabilmesi için alınan besinlerin sindirilmesi, emilmesi ve makromoleküllerin daha küçük birimlere parçalanarak hücresel düzeyde gerçekleşecek olan metabolik sürece hazır hale getirilmesi gerekir⁽¹³⁾. Sitozolde bulunan glukoz sınırlı miktarda ATP ve NADH oluşturur. Glukozun oksitlenmesi ile elde edilen pirüvat mitokondride Asetil-koenzim A'nın üretildiği ve devamında katabolize edildiği süreçte yer alır⁽¹¹⁾. Asetil KoA, H₂O ve CO₂'ye metabolize edilerek yüksek miktarda ATP sentezlenir^(2, 17). Katabolizma yolları substrata bağlı olarak değişiklik göstermektedir⁽²⁵⁾.

2.1.3.1. Karbonhidrat Metabolizması

Glukoz'un intestinal hücrelerden başlayarak, farklı dokulara aktarılması hücre membranlarında bulunan glukoz taşıyıcıları ile gerçekleşmektedir. Glukoz taşıyıcılar (GluT) bulundukları organ veya organellere göre farklı işlevlere sahiptirler⁽¹²⁾. Hücre içerisine giren glukoz hekzokinaz ile glukoz-6-fosfata dönüşür. Glukoz-6-fosfat farklı yollarla enerji eldesi için kullanılabilen bir moleküldür⁽¹⁷⁾.

Tüm dokularda glukoz metabolizmasında ilk aşama glikolitik yolla pirüvat oluşumudur. Aerobik yolların aktif olduğu dokularda pirüvat, mitokondriyal pirüvat taşıyıcı ile mitokondriye aktarılacak ve oksitlenerek asetil KoA'ya dönüştürülmektedir. Sitrik asit döngüsünde asetil KoA tamamen oksitlenerek H₂O ve CO₂ üretilmektedir^(18, 27). Sitrik asit döngüsünün gerçekleşmesi için oksijene ihtiyaç vardır. Anaerobik şartlarda da glikoliz gerçekleşebilmekte ve bu durumda pirüvat, laktata dönüştürülmektedir⁽¹⁰⁾. Elde edilen enerji aerobik ya da anaerobik yolla gerçekleşmesine göre büyük

farklılıklara sahiptir. Glukozun tamamen okside edildiği aerobik yolakla elde edilen net ATP miktarı 32 iken, sitozolde gerçekleşen ve anaerobik durumda pirüvatın laktata dönüşmesi ile net 2 ATP elde edilmektedir⁽¹¹⁾.

Glukoz ve metabolitleri enerji üretimi dışında farklı süreçlerde de etki göstermektedir. Glukoz, iskelet kasında ve karaciğerde glikojene dönüştürülerek depolanabilmektedir⁽¹⁹⁾.

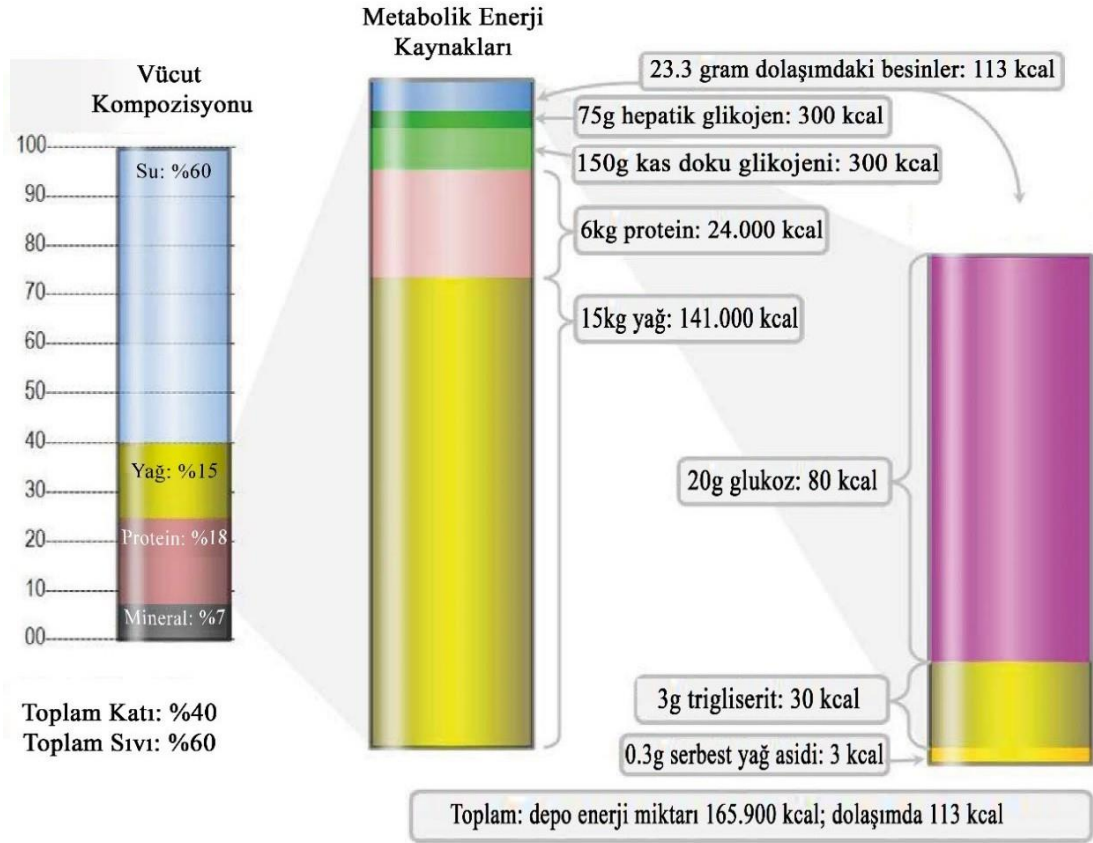
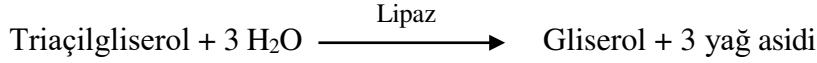
2.1.3.1.1. Glukojenez

Hepatosit ve kas hücrelerinin sitoplazması glukojenez (glikojen sentezi) ve glukojenoliz (glikojen yıkımı) için gerekli olan enzimleri barındırmaktadır.

Glikojen kas ve karaciğerde depolanmaktadır. Erişkin 70kg bir insanın karaciğerinde yüksek karbonhidratlı öğün sonrasında 200-300gr'a kadar çıkmakla beraber gece açlığından sonra 80 gr'a kadar düşmektedir. Kas dokuda ise 150 gr glikojen depolanmaktadır⁽¹⁰⁾. Karaciğerde depolanan glikojen glukoz-6-fosfataz ile glukozla dönüştürülmekte ve dolaşım sistemine aktarılmaktadır. Kasta bulunan glikojen ise glukozla dönüştürebilecek enzimin olmaması sebebiyle dolaşıma aktarılamamaktadır⁽¹⁷⁾.

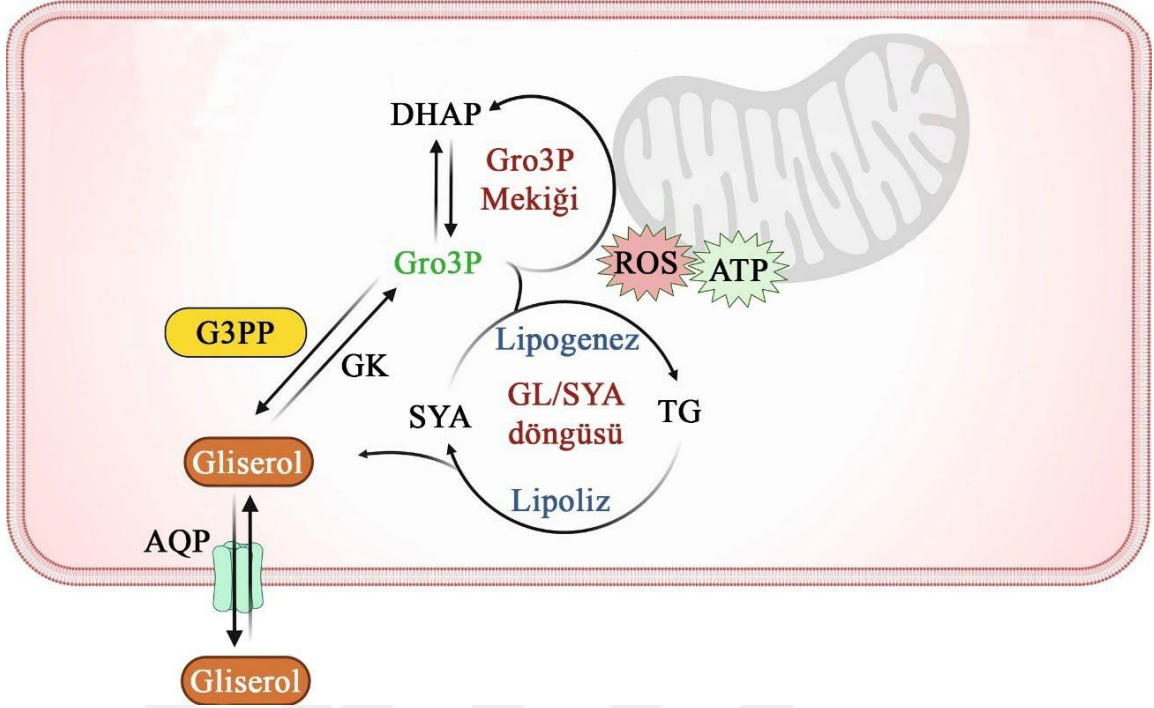
2.1.3.2. Yağ Metabolizması

Vücuttaki depolanmış olan yağ, diğer depo enerji kaynaklarıyla sağlayabileceği enerji bakımından karşılaştırıldığında çok daha büyük bir enerji potansiyeline sahiptir⁽²⁾. Depo yağ, triaçilgliserol formundadır. Erişkin 70 kg erkeğin ortalama 15 kg triaçilgliserol formunda enerji deposu vardır (Şekil-6). Yani depo yağdan elde edilebilecek enerji, toplam enerji deposunun %85'ine karşılık gelmektedir⁽¹⁰⁾. Yağ asitlerinin kaynağı, intramüsküler ve adipoz dokuda bulunan triaçilgliseroldür⁽²¹⁾. Adipoz dokuda depolanan triaçilgliserol miktarı hücrenin toplam hacminin %95'ini oluşturmaktadır⁽²⁾. Triaçilgliserol enerji üretimi için kullanılması için adipoz dokuda hidrolize edilmektedir⁽²⁸⁾. Triaçilgliserol sentezlenirken 3 su molekülü (H_2O) de elde edilir. Hidrolize edilirken ise 3 su molekülü harcanır⁽²⁾. Triaçilgliserol diğer enerji kaynaklarına göre daha verimli bir enerji deposudur. Gram başına 9 kcal enerji ortaya çıkabilirken karbonhidratlardan elde edilen enerji yaklaşık 4 kcal/gr'dır⁽¹⁰⁾.



Şekil 6. Enerji substratlarının vücuttaki dağılımı⁽²⁹⁾

Yağ asitleri serbestleşmesinin ardından albümine bağlanarak hedef dokulara taşınmaktadır. Aktif dokularda serbest yağ asitleri difüzyonla veya taşıyıcı proteinlerle hücre içine alınmaktadır⁽²⁵⁾. Hücre içerisinde uzun zincirli yağ asitleri karnitin açiltransferaz ile mitokondriye aktarılır. Kısa ve orta uzunluktaki yağ asitleri ise bu membrandan difüze olmaktadır⁽¹³⁾. Difüzyonla hücre içine geçen gliserol ise intrasellüler enzimler ile gliserol-3-fosfat'a dönüştürülmektedir. Bu yolla glikolitik yolağa dahil edilerek enerji eldesinde kullanılmaktadır⁽¹²⁾ (Şekil-7).



Şekil 7. Gliserol metabolizması⁽³⁰⁾. AQP, Aquagliseroprin; DHAP, Dihidroksiaseton fosfat; G3PP, Gliserol-3-fosfat fosfataz; GK, Gliserol kinaz; GL/SYA döngüsü, Gliserolipid/Serbest yağ asiti döngüsü; Gro3P, Gliserol-3-fosfat; SYA, Serbest yağ asiti; TG, Trigliserit.

2.1.3.2.1. Yağ Asitlerinin Beta Oksidasyonu

Mitokondrial matrikse aktarılan yağ asitleri Koenzim-A ile birleşerek aktifleşmekte ve 4 reaksiyondan oluşan bir döngü ile okside edilmektedir. Dört reaksiyonun tamamlanması sonucu bir asetil KoA ve 2 karbon atomu azalmış açıl KoA oluşmaktadır. Yağ asidi tamamen oksitleninceye kadar bu reaksiyon döngüsü tekrarlanarak devam etmektedir⁽¹³⁾. Bir döngünün tamamlanması esansında 1'er molekül FADH_2 ve NADH oluşturulmaktadır. Bu sebeple okside olan yağ asitinin uzunluğu elde edilecek olan enerjinin miktarını değiştirmektedir⁽¹⁰⁾. Elde edilen asetil KoA ise sitrik asit döngüsüne dahil edilerek okside olmaktadır⁽¹¹⁾.

2.2. Egzersizde Enerji Eldesi

Egzersiz esnasında vücudun enerji ihtiyacı, egzersizin şiddetine bağlı olarak değişmektedir. Yüksek şiddetli egzersizlerde iskelet kas dokusunda tüketilen enerji miktarı, dinlenim haliyle karşılaştırıldığında 120 veya daha fazla katı olabilmektedir⁽²⁾.

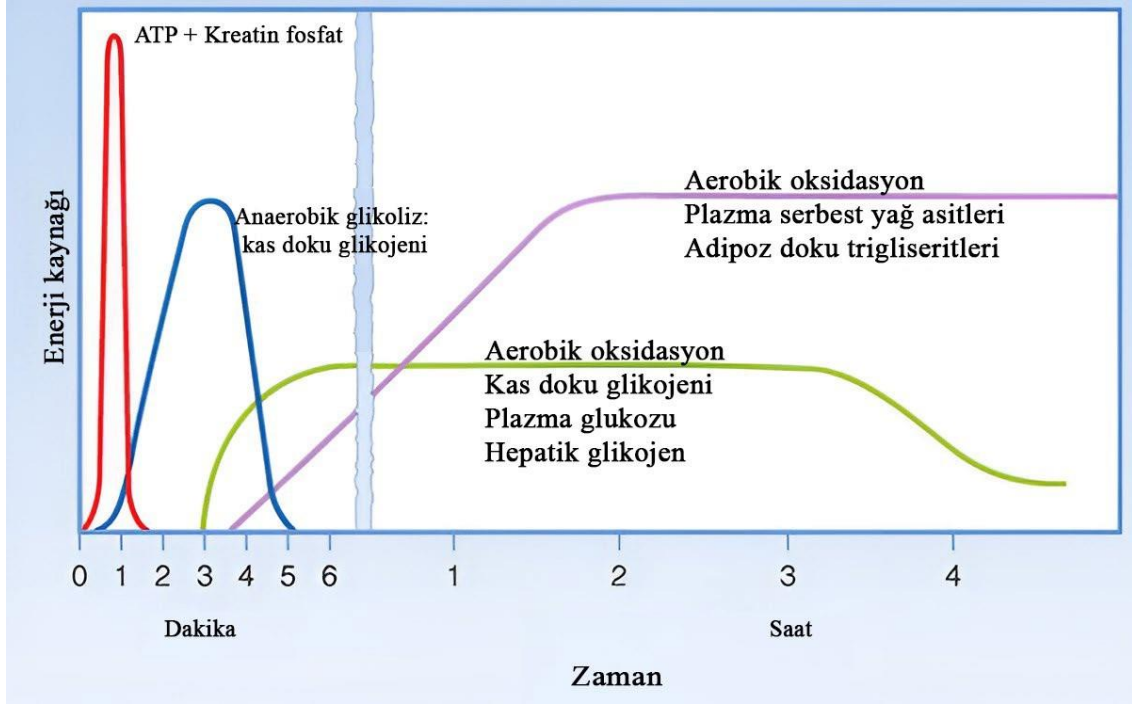
Oksijen tüketimi, enerji tüketimini ifade etmek için kullanılabilir. Çünkü vücutta sürekli devam eden enerji üretimi oksijene bağımlıdır. Egzersiz şiddetinin kademeli artırıldığı testte, oksijen tüketimi egzersiz şiddetiyle eşlenik olarak artmaktadır. Egzersiz şiddetinin artmasına karşın oksijen alımının artmadığı veya artışın çok yavaş olduğu bölge kişinin maksimal aerobik kapasitesini tanımlar. Bu bölgede gözlenen oksijen tüketimi VO_{2maks} olarak adlandırılır. Egzersiz şiddetleri, gerçekleşen oksijen tüketiminin VO_{2maks} 'a oranlanmasıyla ayrıştırılabilir⁽²⁵⁾.

2.2.1. Anaerobik enerji yolağı

Bu yolağın baskın olduğu enerji eldesinde egzersizin süresi kısa olmakla beraber şiddeti yüksektir. Adenozin trifosfat eldesi için kullanılan PCr ve glikojen, hızlı bir şekilde ADP'nin fosforillenmesine olanak sağlar. Glikojenin anaerobik yıkımı sırasında glikolitik yolda oluşan $NADH^+$ derişimi artmakta ve H^+ iyonlarının pirüvata aktarılması sonucu laktat molekülü oluşmaktadır⁽²¹⁾. Yüksek şiddetli egzersizlerde glikoliz hızının yüksek olması laktat birikimine neden olmaktadır⁽³¹⁾. Bu sebeple egzersizin şiddetinin artması, laktat üretim hızını arttırmaktadır⁽³²⁾.

2.2.2. Aerobik enerji yolağı

İnsanlar, dinlenimde⁽³³⁾, günlük aktivitelerde ve düşük şiddetlerde gerçekleştirilen tüm egzersizlerde aerobik enerji üretiminden elde edilecek olan ATP'ye ihtiyaç duymaktadır. Aerobik yolla enerji üretimi için kullanılan substratlar yağ ve karbonhidratlardan oluşmaktadır. Yapılan işin şiddetine ve süresine bağlı olarak kullanılan substrat tercihi de değişmektedir⁽³⁴⁾. Egzersizin başlangıcında ve uzun süreli yapılan egzersizde intrasellüler glikoz temel substrat olarak kullanılırken, egzersizin süresinin artmasıyla ekstrasellüler glikoz ve trigliseritler oksidatif metabolizmaya dahil olmaktadır⁽³⁵⁾(Şekil-8).

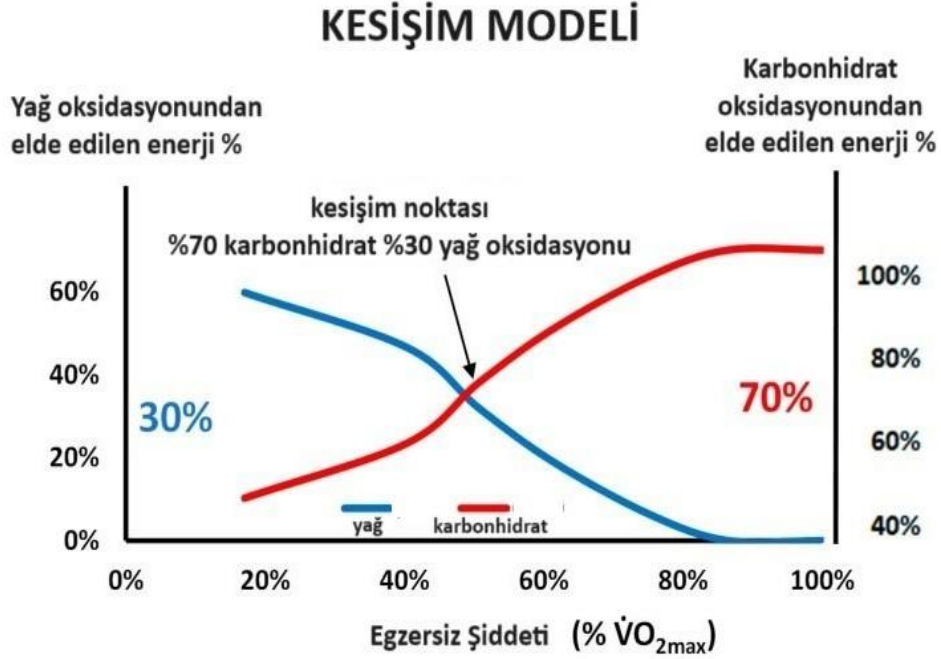


Şekil 8. Egzersiz esnasında, zamana bağlı substrat oksidasyonunun değişimi ⁽³⁶⁾

Yağ oksidasyonu, VO_{2Maks} şiddetinin %33 ile %65'inde gerçekleştirilen egzersizlerde en yüksek değerine ulaşmakta, şiddetin arttığı durumlarda ise yağ oksidasyonu yerine karbonhidratlar metabolize edilerek ATP üretilmektedir⁽⁹⁾. En yüksek yağ oksidasyonu değeri zirve yağ oksidasyonu olarak adlandırılmaktadır. Yağ_{Maks} ise gerçekleştiği egzersiz şiddetini tanımlayan ifadedir⁽³⁾.

2.2.3. Substrat dengesi

Egzersiz şiddetinin değişimine bağlı gözlenen metabolik yanıtların değerlendirildiği çalışmalar sonucunda Brooks ve Mercier “kesişim noktası” modelini oluşturmuşlardır. Model egzersiz şiddetini maksimal oksijen tüketimine göre oranlayarak kişinin kullanacağı substratları göstermektedir (Şekil-9)⁽⁴⁾. Egzersiz şiddetini maksimal oksijen tüketimine göre oranlayarak kişinin kullanacağı substratları gösteren bu modelde, düşük egzersiz şiddetinde baskın substrat yağ asitleri iken egzersiz şiddetinin artmasıyla karbonhidrat oksidasyonunun baskın hale geldiği ifade edilmektedir. Ayrıca egzersizin belirli bir şiddetinde (VO_{2maks} 'ın %50-55'i) substrat kullanımı yağlardan karbonhidratlara kaymaktadır ve bu nokta “kesişim noktası” olarak adlandırılmaktadır^(3, 4).



Şekil 9. Egzersiz şiddetine bağlı değişen substrat kullanımını gösteren kesişim modeli şeması.⁽³⁾

2.3. Enerji Tüketiminin Ölçümü

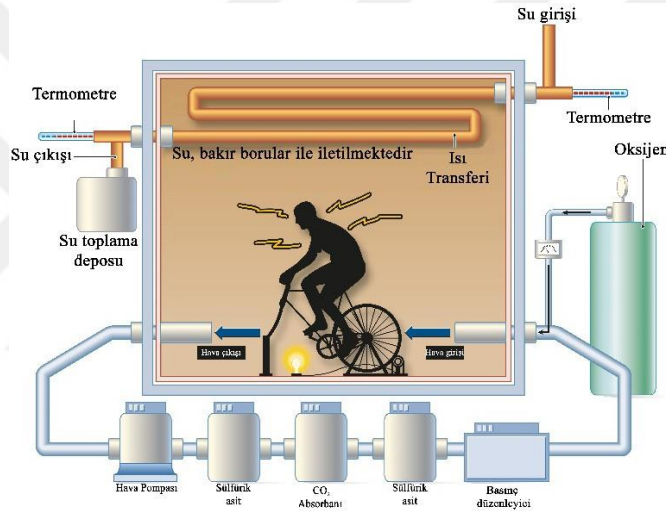
Vücutta gerçekleşen tüm metabolik süreçlerde ısı üretimi gerçekleşmektedir. Dolayısıyla vücuttaki ısı üretim oranı, enerji metabolizmasının hızını yansıtmaktadır⁽²⁾. Metabolizma sonucu oluşan ısı enerjisini ölçmek için en yaygın kullanılan birim kalori ve kalorimetre cihazları kullanılarak hesaplanır⁽³⁷⁾. Bir kalori, 1 gram saf suyun sıcaklığının 1°C artması için gerekli olan ısı miktarı olarak tanımlanmaktadır. Saf su miktarının 1000 gram olduğu durumda ise gerekli olan ısı miktarı 1 kilokalori olmaktadır⁽¹²⁾. Gıdalardan elde edilen enerjinin ifadesinde genellikle kilokalori terimi kullanılmaktadır⁽³⁷⁾.

Örneğin; 1 mol glukozun bomba kalorimetrede yakılması sonucu 686 kcal enerji açığa çıkarken, vücutta oksidatif fosforilasyon ile karbondioksit (CO_2) ve H_2O 'ya dönüşümü sırasında ~286 kcal ısı açığa çıkarken geri kalan enerji ATP molekülünün oluşumu esnasında kullanılır⁽³⁸⁾.

2.3.1. Kalorimetre

2.3.1.1. Direkt Kalorimetre

Doğrudan ölçüm yapılan sistemlerde kişi, duvarlarından ısı sızmayan, yalıtımlı bir kabine yerleştirilir. Kişinin ürettiği ısı kabinde yayılmakta ve sonuçta sistemin kullandığı iletken (su veya hava) ile kabinde uzaklaştırılmaktadır. Kabin giren ve çıkan iletkenin hacimleri ile ilk ve son sıcaklık farkları hesaplanarak kişinin ürettiği ısı hesaplanabilmektedir (Şekil-10). Bu yöntem direkt kalorimetre olarak adlandırılır⁽³⁹⁾. Direkt kalorimetre yöntemlerinden olan bomba kalorimetre ile yapılan çalışmalar ile substratların ortaya çıkardığı enerji hesaplanmıştır⁽¹²⁾.



Şekil 10. Direkt kalorimetri sistemi⁽²⁾

2.3.1.2. İndirekt kalorimetre

Diğer bir yöntem ise indirekt kalorimetre olarak adlandırılır. Bu yöntemde üretilen ısı enerjisi kişinin tükettiği oksijen miktarı üzerinden hesaplanmaktadır. Çünkü enerji üretiminin neredeyse tamamı oksijen tüketimine bağlı gelişir.⁽²⁵⁾ Ortalama bir diyet sonucu kişinin 1 litre oksijen tüketimine karşı ortaya çıkan enerji 4.83 kcal'dir⁽³⁹⁾. Karbonhidratın 1 gramının oksidasyonu ile 4.2 kcal, yağın oksidasyonu ile 9.45 kcal ve proteinin oksidasyonu ise 4.6 kcal enerji açığa çıkarmaktadır. Bu metotta ise kapalı ve açık devre spirometre olarak iki farklı sistem kullanılabilmektedir⁽²⁵⁾.

2.3.1.2.1. Kapalı Devre Sistemler

Kapalı sistemlerde kişi sadece spirometredeki gazı solur ve sisteme dışarıdan hava girmez. Bu sistemdeki oksijen miktarı sınırlı olduğu için egzersiz esnasında ölçümlere uygun olmamakla beraber dinlenim durumunda yapılan ölçümler için ideal bir metottur. Sistem su içerisinde bulunan iç içe yerleştirilmiş ve aralarında gaz geçişini mümkün kılan bir bağlantıya sahip iki tüpten oluşmaktadır. Haznelerden birinde saf oksijen bulunmaktadır ve inspirasyon esnasında bu hazneden çıkan gaz akciğerlere iletilirken, ekspirasyon havası ise potasyum hidroksit olan hazneye gönderilmektedir. Ekspirasyon havasındaki CO₂ potasyum hidroksite bağlanmakta ve O₂ diğer hazneye tekrar aktarılmaktadır. Solunum ile haznelerdeki gaz miktarı değişmekte ve bu değişim sabit hızda dönen bir silindir üzerine çizdirilerek kayıt altına alınmaktadır⁽²⁾.

2.3.1.2.2. Açık Devre Sistemler

Açık devre spirometreler ise egzersiz ölçümlerinde kullanılan ölçüm metodudur. Ölçümde ortam havası (1 atm basınç, 25°C sıcaklıkta %20.93 O₂, %0.03 CO₂, %79.04 N₂) inhale edilmektedir. Ekspire edilen havanın gaz yüzdeleri ile inhalasyon gazlarının farkı hesaplanarak indirekt ölçüm gerçekleştirilmektedir. Bu ölçüm hesaplanması için ekspire edilen hava hacmi formülde kullanılmaktadır⁽⁴⁰⁾(Şekil-11). Bu ölçümler torba tekniği ve bilgisayarlı sistemler olarak iki sınıfa ayrılmaktadır.

$$VO_2 = [(V_E) \times (1 - F_{EO_2} + F_{ECO_2})] \times (F_{IO_2} [1 - (F_{IO_2} + F_{ICO_2})]) - [(V_E) \times F_{EO_2}]$$

V_E : Dakikada ekspire edilen hava hacmi

F_{EO_2} : Ekspire edilen havadaki oksijen fraksiyonu

F_{ECO_2} : Ekspire edilen havadaki karbondioksit fraksiyonu

F_{IO_2} : İnspire edilen havadaki oksijen fraksiyonu

F_{ICO_2} : İnspire edilen havadaki karbondioksit fraksiyonu

Şekil 11. Haldane dönüşümü formülü

Torba tekniğinde ölçüm alınan kişinin iki tane tek yönlü valfe sahip bir sistem üzerinden solunum sağlanmaktadır (Şekil-12A). Valflerden biri dışarıdan hava girişine

müsaade eder iken, diğer valf ekspire edilen havanın torbaya yönlendirilmesi için gereklidir. Ekspire edilen gazın toplandığı torba gazın geçişinin mümkün olmadığı bir yapıya sahiptir. Torbada toplanan havanın hacmi ve gaz içerikleri ölçülerek dolaylı olarak metabolizma ölçüm sağlanmaktadır. Bilgisayarlı sistemlerde ise ekspire edilen gaz haznede toplanmak yerine gaz sensörleri aracılığıyla doğrudan ölçülmektedir⁽²⁾(Şekil-12B).



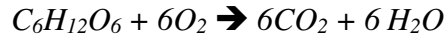
Şekil 12. Açık devre spirometri örneklerinden torba tekniği(A) ve bilgisayarlı sistem(B) ⁽²⁾

2.3.1.2.3. Solunum Katsayısı

Kişinin dinlenme koşullarında solunum gazları indirekt kalorimetre ile takip edildiğinde tüketilen oksijen ve metabolizma sonucu ortaya çıkan karbondioksit ölçülebilmektedir. Metabolizmanın son ürünlerinden olan karbondioksitin, tüketilen oksijenle oranlanması ile solunum katsayısı (RQ) hesaplanmaktadır⁽²⁵⁾. Bu oran kişinin ölçüm esnasındaki metabolik faaliyetleri hakkında bilgi vermektedir.

Örneğin kişi ölçüm esnasında enerji üretiminde substrat olarak sadece karbonhidratları kullandığı durumda RQ değeri 1.00 olmaktadır. Bunun sebebi karbonhidratın metabolize edilmesi esnasında kullanılan O₂'nin, reaksiyon sonucu ortaya çıkan CO₂ ile eşit olmasından kaynaklanmaktadır.

Karbonhidrat oksidasyonu⁽²⁾



$$RQ = 6CO_2 / 6O_2$$

$$= 1.00$$

Metabolize edilen substrat tamamen yağ ise RQ değeri 0.70 olarak ölçülmektedir. Bu değeri yağ oksidasyonu esnasındaki metabolik reaksiyonların farklılığından kaynaklanmaktadır (oksidasyon yağ formülü). Yağ zincirinin uzunluğundaki farklar sebebiyle RQ değeri 0.69 ile 0.73 arasında değişkenlik göstermektedir^(2, 39, 41).

Yağ oksidasyonu⁽²⁾



$$RQ = 16CO_2 / 23O_2$$

$$= 0.696$$

Proteinler doğrudan karbondioksit ve suya parçalanmazlar. Enerji için kullanıldıklarında, önce amino asitler deamine edilir, yani nitrojen grupları çıkarılır. İşlem sonucunda ortaya çıkan nitrojen ve sülfür; idrar, ter ve feçes ile vücuttan atılır. Diğer bir ürün olan keto asit ise okside edilerek, enerji üretiminde kullanılmaktadır. Proteinlerin solunum katsayısı genellikle 0.82'dir⁽²⁵⁾.

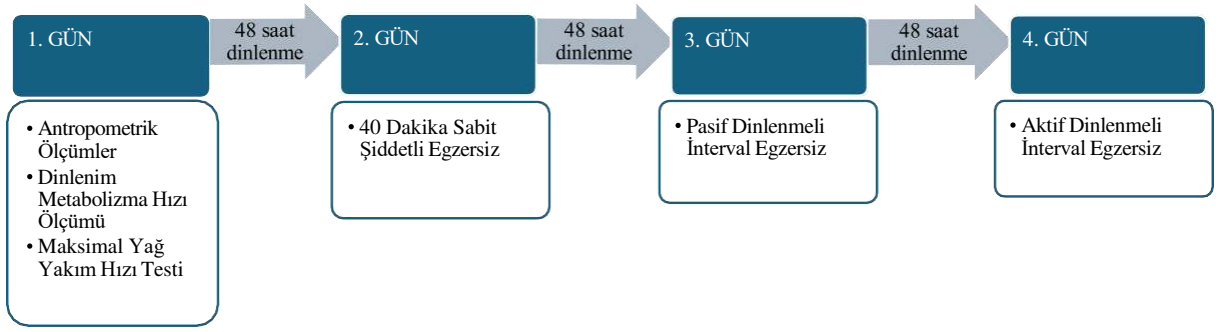
3. GEREÇ ve YÖNTEM

3.1. Katılımcılar

Araştırma, 18-30 yaş aralığında bulunan, sağlıklı ve rekreasyonel spor yapan 24 erkek katılımcının gönüllü katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Katılımcılara deneyin amacı ve testlerin içeriği sözlü olarak anlatılmış, gönüllü katılım formunun (EK-1) okunarak doldurulması istenmiştir. Ölçümlerde, yağ oksidasyon hızının 3 km/saat’de en yüksek olduğu ölçülen 10 kişi ve tüm ölçümlere katılmayan/katılamayan 3 kişi çalışmanın dışında bırakılmıştır. Ölçümlerin tamamına katılan 11 kişi ile deney tamamlanmıştır. Çalışma, Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından 02/06/2023 tarihinde alınan etik kurul onayı (EK-2) sonrasında başlatılmıştır.

3.2. Uygulanan Ölçüm ve Testler

Testler, dört ölçüm gününde tamamlanmıştır. Her ölçüm, 12 saat açlıkla ve ölçümler arasında en az 48 saat olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Katılımcının geldiği ilk gün, antropometrik ölçüleri alınmış ve ardından dinlenim metabolizma hızı tespit edilmiştir. Sonrasında ise koşu bandında Maksimal Yağ Yakım Hızı (Yağ_{Maks}) Testi yapılmıştır. Devam eden günlerde, indirekt kalorimetre ile kişinin solunum parametrelerinin takip edildiği, sırasıyla Sabit Şiddetli Egzersiz (SŞE), Pasif Dinlenmeli İnterval Egzersiz (PDE) ve Aktif Dinlenmeli İnterval Egzersiz (ADE) yaptırılarak kayıt altına alınmıştır (Şekil-13). Katılımcıların teste gelecekleri günler, arada en az bir gün olacak şekilde programlanmış ve tüm testler 10 gün içerisinde tamamlanmıştır.



Şekil 13. Çalışmanın akış şeması

3.3. Antropometrik Ölçümler

Katılımcıların vücut ağırlıkları hassas tartı (Kurdaklar Baskül) ve boy uzunlukları stadiometre (Sport Expert) ile ölçülmüştür. Çevre ölçümleri, bireylerin belirlenmiş olan bölgelerinden (biceps, biceps fleksiyonu, ön kol, üst bacak, uyluk, baldır) esnek olmayan mezura ile ölçülmüştür (Şekil-16). Çap ölçümlerinde antropometrik ölçü aletleri seti (MEB) kullanılmıştır. Kaliper kullanılırken uçları kemik dokuya tam temas ettirilerek ölçümler alınmıştır. Deri kıvrım kalınlığı ölçümü, Holtain marka kaliper ile subskapula, triceps, biceps, önkol, abdomen, pektoral, suprailiak, uyluk ve baldır bölgelerinden alınmıştır (Şekil-16). Çap, çevre ve deri kıvrım kalınlık ölçümleri, katılımcıların baskın olan alt ve üst ekstremitelerinden, kişilerin anatomik pozisyonunda veya ölçülen bölgeye uygun olan postürde üçer kere tekrarlanarak alınmış ve her bir bölgeden alınan değerlerin ortalamaları hesaplanmıştır ⁽⁴²⁾.

3.3.1. Çevre Ölçümü Bölgeleri

Biceps: Anatomik pozisyonunda, akromion ile olekranonun orta noktasından humerusa dik olacak şekilde ölçülmüştür.

Biceps Fleksiyonu: 90° omuz fleksiyonunda iken, dirsek fleksiyonu yaptırılarak humerusa dik olacak şekilde kolun en geniş bölgesinin çevresi ölçülmüştür.

Ön Kol: Anatomik pozisyonunda, ön kolun en geniş bölgesi ölçülmüştür.

Üst Bacak: Anatomik pozisyonunda, gluteal bölgenin 1cm altından bacak kalınlığı ölçülmüştür.

Uyluk: Anatomik pozisyonda, trokanter majör ile lateral kondil'in orta noktasından humerusa dik olacak şekilde bacak kalınlığı ölçülmüştür.

Baldır: Anatomik pozisyonda, baldırın en geniş bölgesinden ölçülmüştür.

3.3.2. Çap Ölçüm Bölgeleri

Omuz: Anatomik pozisyonda, kaliper kolları akromial çıkıntılara gelecek şekilde ölçüm alınmıştır (Şekil-14B).

Pelvis: Anatomik pozisyonda, kaliper kolları spina iliaca anterior superiorda iken ölçüm alınmıştır (Şekil-14A).

Dirsek: Omuz ve dirsek 90° fleksiyonda iken epikondiller arası mesafe ölçülmüştür.

El Bileği: Omuz 45° fleksiyonda iken ulnar ve radial stiloid çıkıntılar arası mesafe ölçülmüştür.

Diz: Oturma pozisyonunda, kondiller arası mesafe ölçülmüştür.

Ayak Bileği: Oturma pozisyonunda, kaliper kolları medial ve lateral malleollerde iken çap ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 14. Pelvis (A) ve omuz (B) çap ölçümü.

3.3.3. Deri Kıvrım Kalınlığı Ölçüm Bölgeleri

Subskapula: Anatomik pozisyonda, angulus inferior skapuladan lateral 45 derecelik bir açı ile 2 cm uzaklıkta oblik deri kıvrımı ölçülmüştür (Şekil-15A).

Triceps: Anatomik pozisyonda, kolun posterior yüzeyinde, m. biceps'in orta hattının kolun arkasına devam ettirildiği iz düşümüyle, akromion ile olekranona giden hayali çizginin kesiştiği bölgeden vertikal eksende kıvrım alınarak ölçülmüştür.

Biceps: Anatomik pozisyonda, kolun anterior yüzeyinde, m. Biceps'in orta hattından vertikal kıvrım ölçülmüştür.

Önkol: Anatomik pozisyonda, ön kolun en geniş bölgesinin lateralinden vertikal kıvrım alınarak ölçülmüştür.

Abdomen: Anatomik pozisyonda, umblikustan dominant ekstremiteye doğru horizontal 5 cm gidilerek vertikal kıvrım ölçülmüştür.

Pektoral: Anatomik pozisyonda, ön aksiller kıvrım ile meme başının orta noktasından oblik katlantı alınarak ölçülmüştür.

Suprailiac: Anatomik pozisyonda, iliak krest hizasında horizontal çizgi ile, ön aksiller hattan spina iliaca anterior superiora giden çizginin kesiştiği bölgeden deri kıvrımına uygun olacak şekilde oblik kıvrım ölçülmüştür.

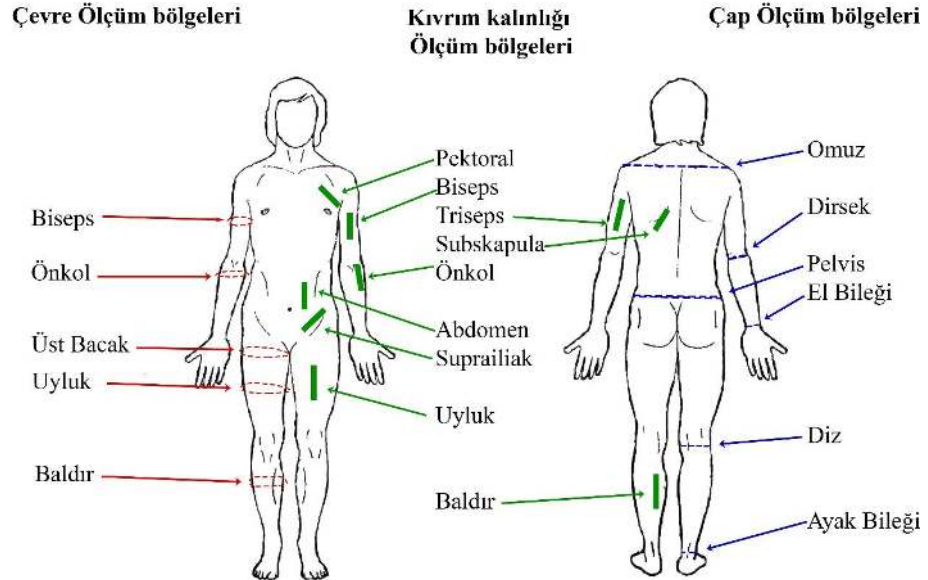
Uyluk: Anatomik pozisyonda, inguinal hat ile patella üst hizasının ortasından vertikal kıvrım ölçülmüştür (Şekil-15B).

Baldır: Anatomik pozisyonda, baldırın en geniş bölgesinden vertikal kıvrım alınarak ölçülmüştür.



Şekil 15. Subskapula (A) ve uyluk (B) bölgelerindeki deri kalınlığı ölçümü

Antropometrik ölçümlerin alındığı çap çevre ve kıvrım kalınlığı bölgeleri, Şekil 16'da gösterilmiştir.



Şekil 16. Antropometrik ölçüm bölgeleri. Kırmızı kesikli çizgi ile işaretli bölgeler çevre ölçümü, yeşil bant ile gösterilen bölgeler deri kıvrım kalınlığı ve mavi çizgilerle gösterilen bölgeler çap ölçüm bölgelerini belirtmektedir.

3.3.4. Antropometrik Ölçümlerden Hesaplanan Veriler

Vücut kitle indeksi (VKİ): Vücut ağırlığının (kg), boy uzunluğunun (m) karesine bölünmesiyle hesaplanmıştır⁽⁴³⁾.

$$VKİ = Kilo/(Boy)^2$$

Vücut yoğunluğu: $1.1093800 - 0.0008267 (A1) + 0.0000016 (A1)^2 - 0.0002574 (yaş)$

*A1: pektoral, abdominal ve uyluk skinfold değerlerinin ortalaması

Vücut yüzde yağ (Kiri) = $130 \times ((Biceps\ S. + Ön\ kol\ S. + Uyluk\ S. + Baldır\ S. + Pektoral\ S. + Abdominal\ S.) / 12) \times vücut\ yüzey\ alanı / vücut\ ağırlığı$

Vücut yüzde yağ (Jackson&Pollock) = $(1.1093 - (0.0008267 \times (Triceps\ S. + Pektoral\ S. + Subskapular\ S.)) + (0.0000016 \times (Triceps\ S. + Pektoral\ S. + Subskapular\ S.)^2) - (0.0002574 \times Yaş))$

Vücut yüzde yağ (%yağ): $[Vücut\ yüzde\ yağ\ (Jackson\&\ Pollock) + Vücut\ yüzde\ yağ\ (Kiri)] / 2$

Kas kütlesi (Martin): $[Boy \times 100 \times (0.0553 \times (Uyluk\ Ç. - Uyluk\ S./10)^2 + 0.0987 \times Ön\ Kol\ Çevresi^2 - 0.0331 \times (Baldır\ Ç. - Baldır\ S./10)^2 - 2445] / 1000$

Kas kütlesi (Matiegka): $0.65 \times Boy \times 100 \times (Biceps\ Ç. + Ön\ kol\ Ç. + Uyluk\ Ç. + Baldır\ Ç. / 251.2 - Biceps\ S. + Ön\ kol\ S. + Suprailiak\ S. + Uyluk\ S./800)^2$

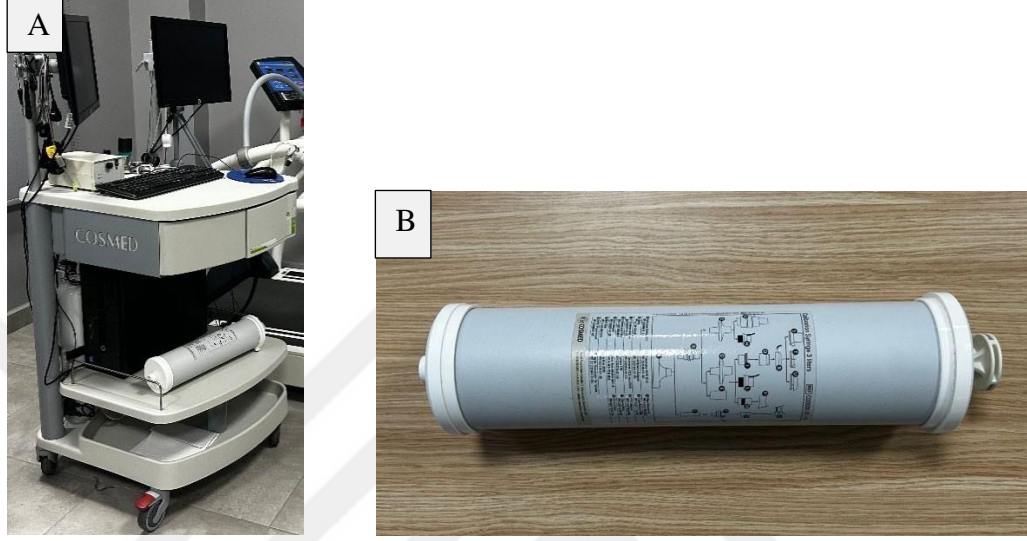
Kemik kütlesi: $(Dirsek\ Çapı + El\ Bileği\ Çapı + Diz\ Çapı + Ayak\ Bileği\ Çapı)^2 \times Boy \times 1.2/10$

Vücut yüzde kas (%kas): $((Kas\ Kütlesi\ (Martin) + Kas\ Kütlesi\ (Matiegka)) / 2) / V.A. \times 100$

Vücut yüzde kemik (% kemik): $[(Dirsek\ Çapı + El\ Bileği\ Çapı + Diz\ Çapı + Ayak\ Bileği\ Çapı)^2 \times Boy \times 1.2/10] / V.A. \times 100$

3.4. İndirekt Kalorimetre

Çalışmada indirekt kalorimetre (Cosmed, Quark PFT, İtalya) (Şekil-17A) kullanılmıştır. Her ölçüm öncesi kalibrasyon tüpüyle (%16 O₂, %5 CO₂) referans gaz kalibrasyonu, ardından ortam havası kalibrasyonu ve 3L hacimli kalibrasyon şırıngası (Şekil-17B) ile türbin kalibrasyonu yapılarak ölçümlere başlanmıştır.



Şekil 17. İndirekt kalorimetre ve kalibrasyon şırıngası

3.4.1. Teste Hazırlık ve Verilerin Takibi

Katılımcılara test öncesi göğüs hizasının altında olacak şekilde nabız bandı (Polar, H10) takılmıştır (Şekil-18). Dinlenim metabolizma hızı testi öncesi kanopi, egzersiz testleri öncesinde ise maske katılımcılara tanıtılmış ve uygun şekilde bağlantıları yapılarak hava sızdırmadığı kontrol edilmiştir. Testler esnasında veri anlık olarak bilgisayardan takip edilmiş ve kayıtları alınmıştır. Kaydedilen verilerden VO₂ (l/dk) ve VCO₂ (l/dk) parametreleri Frayn'ın stokiyometrik denklemlerine yerleştirilerek kişinin yağ ve karbonhidrat oksidasyonları hesaplanmıştır⁽⁴⁴⁾. Hesaplamalarda idrar ile azot atılımı göz ardı edilmiştir.



Şekil 18. Nabız bandı

3.4.2. Bazal Metabolizma Hızı Testi

Katılımcıların yatakta rahat bir pozisyonda dinlenmelerine müsaade edecek şekilde uzanmaları istenmiştir. Tam bir dinlenim hali olması için telefon, akıllı saat gibi uyarılar uzaklaştırılmış ve ortamın karanlık olması sağlanmıştır. Kişinin başına plastik kubbe şeklinde, solunum gazlarının sızmasını engelleyen kanopi yerleştirilmiş ve kanopi, hava pompasına bağlanmıştır (Şekil-19). Böylece akciğerden çıkan hava pompa sayesinde indirekt kalorimetreye taşınır. Ölçüm alınan kişilerin uyumaması istenmiştir.

Bazal metabolizma ölçümü için 16 dakikalık kayıt alınmış ve ilk 6 dakika göz ardı edilerek son 10 dakikalık veriler ile bazal metabolizma hızı hesaplanmıştır.



Şekil 19. Bazal metabolizma hızı ölçümü

3.4.3. Maksimal Yağ Yakım Hızı Testi

Kişiye koşu bandı üzerinde rahat hareket etmesine izin verecek şekilde ağız ve burnu kaplayan, yumuşak plastik bir maske takılmıştır. Maske, kenarlardan gaz kaçırmayacak şekilde ayarlanmış ve ağız hizasında solunum hızını ölçecek türbin yerleştirilmiştir. Test esnasında nasıl iletişim kurması gerektiği ve herhangi bir problemde neler yapması gerektiği bilgisi aktarılmıştır.

Test 1 dakikalık dinlenme kaydının ardından 3 km/saat hız ile hareket eden, eğimin %0 olduğu koşu bandında başlatılmış ve her 4 dakikada hız 1 km/saat arttırılarak devam ettirilmiştir. Kişinin yağ yakımının sıfır olduğu kabul edilen karbondioksit/oksijen oranına ($RQ=1$) ulaşması ile koşu bandı hızı dakikada 1 km/saat olan artışlar ile devam ettirilmiştir. Testin bu aşamasından sonra kullanılacak olan veri maksimum oksijen tüketiminin tespiti için kullanılmıştır. Kişinin oksijen alımının plato çizmesi, RQ değerinin 1.15'in üzerine çıkması veya maksimum kalp atım sayısı (220-Yaş)'ın %90'ına ulaşması şartlarından, 2'sinin gerçekleşmesi durumunda test sonlandırılmıştır⁽⁴⁵⁾.

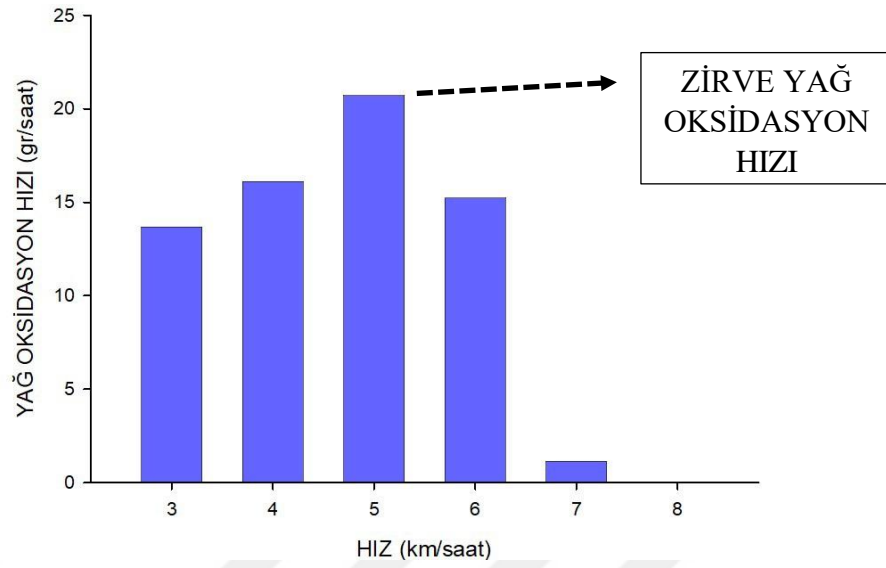
Maksimal yağ yakım hızı testinde elde edilen verilerden hareketsiz beklenen dinlenme kaydının alındığı ilk 1 dakikanın çıkarılmasından sonra, 30 saniyelik ortalamalar alınarak hesaplamalarda kullanılmıştır. Şekil 20'de örnek bir Yağ_{Maks} testinden elde edilen hıza bağlı yağ oksidasyon değişim grafiği verilmiştir.

FRAYN'in stokiyometrik denklemleri⁽⁴⁴⁾:

$$\text{Karbonhidrat oksidasyonu} = 4.55 VCO_2 - 3.21 VO_2$$

$$\text{Yağ oksidasyonu} = 1.67 VO_2 - 1.67 VCO_2$$

Alınan veri ile her denneğin farklı koşu hızlarındaki son bir dakikalık yağ yakım hızı tespit edilmiştir. Zirve yağ oksidasyonunun görüldüğü hız Yağ_{Maks} şiddeti olarak belirlenmiştir. Yapılan egzersiz testleri Yağ_{Maks} şiddetinde gerçekleştirilmiştir⁽⁴⁶⁾.



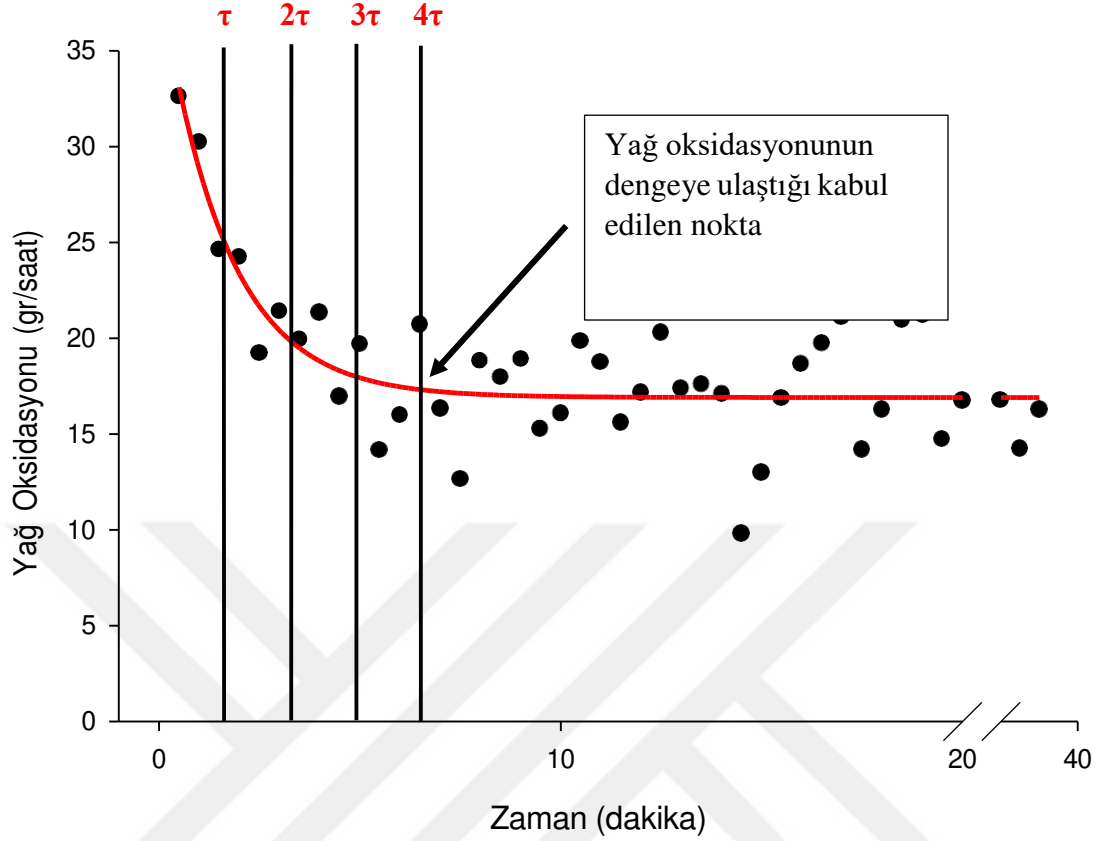
Şekil 20. Yağ_{Maks} testinden elde edilen örnek yağ oksidasyonu grafiği ve tespit edilen Yağ_{Maks} şiddeti. Buna göre kişinin zirve yağ oksidasyon hızı 20.73 gr/saat yağ maks şiddeti 5 km/saat bulunmuştur.

3.5. Egzersiz Testleri

3.5.1. Sabit Şiddet Egzersiz Testi

Katılımcılara Yağ_{Maks} şiddetinde 40 dakikalık bir egzersiz yaptırılmıştır. Egzersiz bitiminde kişi dik bir oturuş pozisyonunda sırtı ve kolları destekleyen sandalyede 40 dakika daha dinlenim halinde ölçüme devam ettirilmiştir. Elde edilen 80 dakikalık egzersiz ve dinlenim verisi 30 saniyelik ortalamalar ile hesaplamalarda kullanılmıştır.

Egzersiz verisi kullanılarak, deneklerin 40 dakikalık yağ oksidasyonunu gösteren bir grafik çizdirilmiş ve bu verilere uydurulan üstel azalan bir eğri oluşturulmuştur. Eğrinin başlangıç noktasında gözlenen değer, denge değerine ulaşması için gereken süre tau (zaman sabiti) ile hesaplanmaktadır. Tau, üstel azalan eğrinin başlangıç değerinin denge değerinin %63'üne ulaşacağı zamanı tanımlamak için kullanılır. İlerleyen her tauyla eğrinin başlangıç değeri dengeye yaklaşacağından, tau süresi eşit kalırken başlangıç ve bitiş değerlerinin farkı azalacaktır ($1\tau = \%63$, $2\tau = \%86$, $3\tau = \%95$, $4\tau = \%98$). Eğrinin dengeye gelme noktası olarak kabul edilen zaman sabiti (4τ) tespit edilmiştir⁽⁴⁷⁾. Her bir interval, bireysel 4 tau sürelerince gerçekleştirilmiştir (Şekil-21).



Şekil 21. Sabit şiddetli egzersizde gözlenen yağ oksidasyonunun zamana bağlı değişimi. Kırmızı renkli eğri uydurulan üstel azalan eğri, kırmızı renk ile gösterilmiştir. Her bir tau süresi dikey çizgiler ile belirtilmiştir.

3.5.2. Pasif Dinlenmeli İnterval Egzersiz

Katılımcıların egzersizlerde gerçekleştirdiği intervallerin süreleri, sabit şiddetli egzersizden elde edilen zaman sabiti sürelerinden oluşturulmuştur. Zaman sabiti süresi bitir bitmez banttan inmeleri sağlanmış sırt ve kol desteği olan sandalyede oturtulmuştur (Şekil-22). Dinlenim için yine aynı zaman sabiti süresince zaman ayrılmıştır. Süre bitiminde kişinin tekrar koşu bandına çıkarak egzersize devam etmesi sağlanmıştır. Dinlenme için ayrılan süre egzersiz yaptığı süreye eşittir. Egzersiz ve dinlenim sürelerinin ikisi de 40 dakikaya ulaşana kadar teste devam edilmiştir.



Şekil 22. Egzersiz (A) ve dinlenme (B) pozisyonu

3.5.3. Aktif Dinlenmeli İnterval Egzersiz

Katılımcılar $Yağ_{Maks}$ şiddetinde zaman sabiti süresince egzersiz yapmış süre bitiminde ise $Yağ_{Maks}$ testinden elde edilen en yüksek ikinci yağ oksidasyonun gözlendiği hızlarda yürütülmüştür (Şekil-23). Test egzersiz ve aktif dinlenim sürelerinin 40 dakikaya ulaşmasıyla sonlandırılmıştır.



Şekil 23. Aktif dinlenmeli egzersizde gerçekleşen örnek hız grafiği

3.6. İstatistiksel Analiz

Ölçümlerden elde edilen tüm veriler ortalaması ve standart sapması ile gösterilmiştir. Tespit edilen Yağ_{Maks} şiddetinin son 1 dakikasına ait parametrelerin ortalaması ile egzersizlerde Yağ_{Maks} şiddetinde gerçekleşen ölçümlerin ortalaması alınarak, normal dağılım ve varyans homojenliği test edilmiştir. Normal dağılım gösteren değerler tekrarlı ölçüm varyans analiziyle incelenmiştir. Normal dağılım göstermeyen parametreler ise Friedman testi ile değerlendirilmiştir. Anlamlı fark olan parametrelerde wilcoxon testi uygulanmıştır. İstatistiksel analizler IBM SPSS Statistics (v27.0.1.0) programı kullanılarak yapılmıştır. Anlamlılık düzeyi $p<0.05$ olarak kabul edilmiştir.



4. BULGULAR

Çalışmaya katılan gönüllülerin yaş, boy, vücut ağırlığı, VKİ, yağ, kas ve kemik doku ağırlıklarının vücut ağırlığına oranları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Katılımcıların yaş, boy, vücut ağırlığı, VKİ, yağ oranı, kas oranı ve kemik oranı ortalamaları.

	Ortalama $\pm$ Standart sapma
Yaş	23.0 $\pm$ 3.0
Boy (cm)	177.6 $\pm$ 7.8
Vücut Ağırlığı (kg)	77.9 $\pm$ 11.5
VKİ (kg/m²)	24.6 $\pm$ 2.8
Yağ Oranı (%)	19.3 $\pm$ 8.1
Kas Oranı (%)	41.5 $\pm$ 3.4
Kemik Oranı (%)	15.0 $\pm$ 1.6

4.1. İstirahat Metabolik Hızı Testi

Katılımcıların, istirahat durumunda ölçülen değişkenler Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Katılımcıların istirahat değişkenlerinin ortalamaları. Veriler, ortalama $\pm$ standart sapma olarak verilmiştir.

Dinlenim Metabolik Hız (kcal/gün)	1968.6 $\pm$ 256.4
Beklenen Dinlenim Metabolik Hız (kcal/gün)	1875.5 $\pm$ 188.6
Dinlenim Yağ Oksidasyonu (%)	63.8 $\pm$ 27.2
Dinlenim Karbonhidrat Oksidasyonu (%)	36.1 $\pm$ 27.2

4.2. Yağ_{Maks} Testi

Yağ_{Maks} egzersiz şiddetinin gözlendiği hız, bu şiddette tespit edilen yağ oksidasyon hızı, karbonhidrat oksidasyon hızı, kullanılan substratların yüzde dağılımı, VO₂, VCO₂, RQ ve kalp atım sayısı değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Kişilerin Yağ_{Maks} şiddetinde gözlenen değerleri. Veriler, ortalama $\pm$ standart sapma olarak verilmiştir.

Yağ_{Maks} Egzersiz Şiddeti (km/saat)	5.9 $\pm$ 0.8
Yağ Oksidasyon Hızı (gr/saat)	23.5 $\pm$ 7.0
Karbonhidrat Oksidasyon Hızı (gr/saat)	46.6 $\pm$ 26.9
Yağ Oksidasyonu (%)	59.5 $\pm$ 16.1
Karbonhidrat Oksidasyonu (%)	40.7 $\pm$ 16.2
VO₂ (ml/dk/kg)	17.93 $\pm$ 4.67
VO₂ (ml/dk)	1377.3 $\pm$ 308.3
VCO₂ (ml/dk)	1142.3 $\pm$ 297.3
VO₂/ VO_{2Maks} (%)	44.2
RQ	0.83 $\pm$ 0.05
HR (atım/dk)	111.8 $\pm$ 18.8
HR/HR_{Maks} (%)	58.3

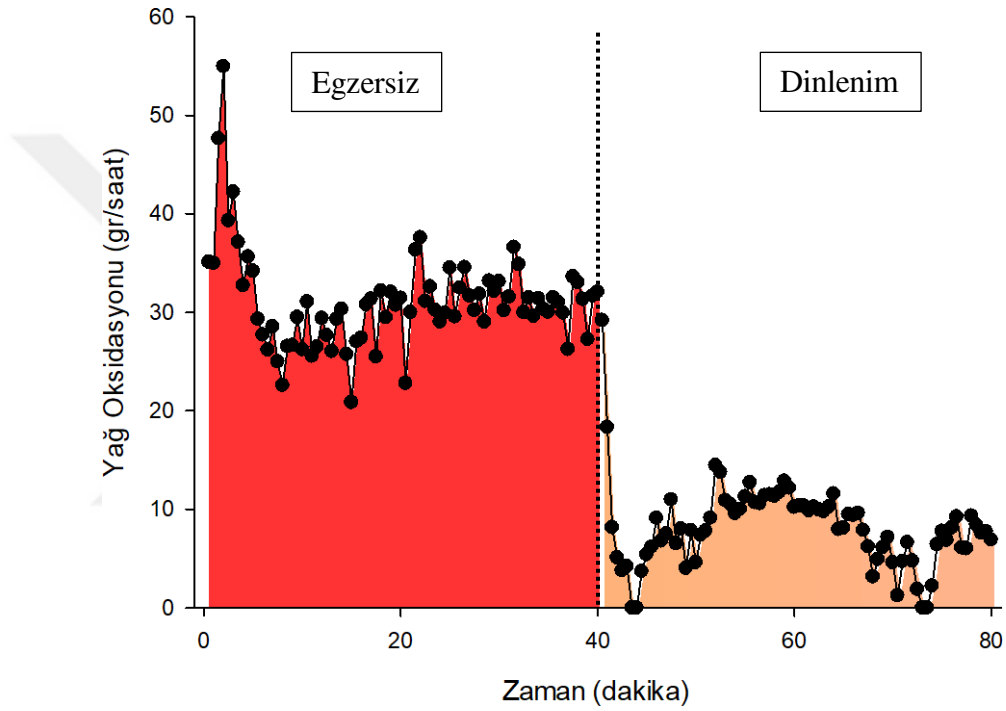
Yağ_{Maks} testinin tamamlanmasıyla maksimal şiddete götürülerek belirlenen en yüksek değerler tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Zirve değerler tablosu. Veriler, ortalama $\pm$ standart sapma olarak verilmiştir.

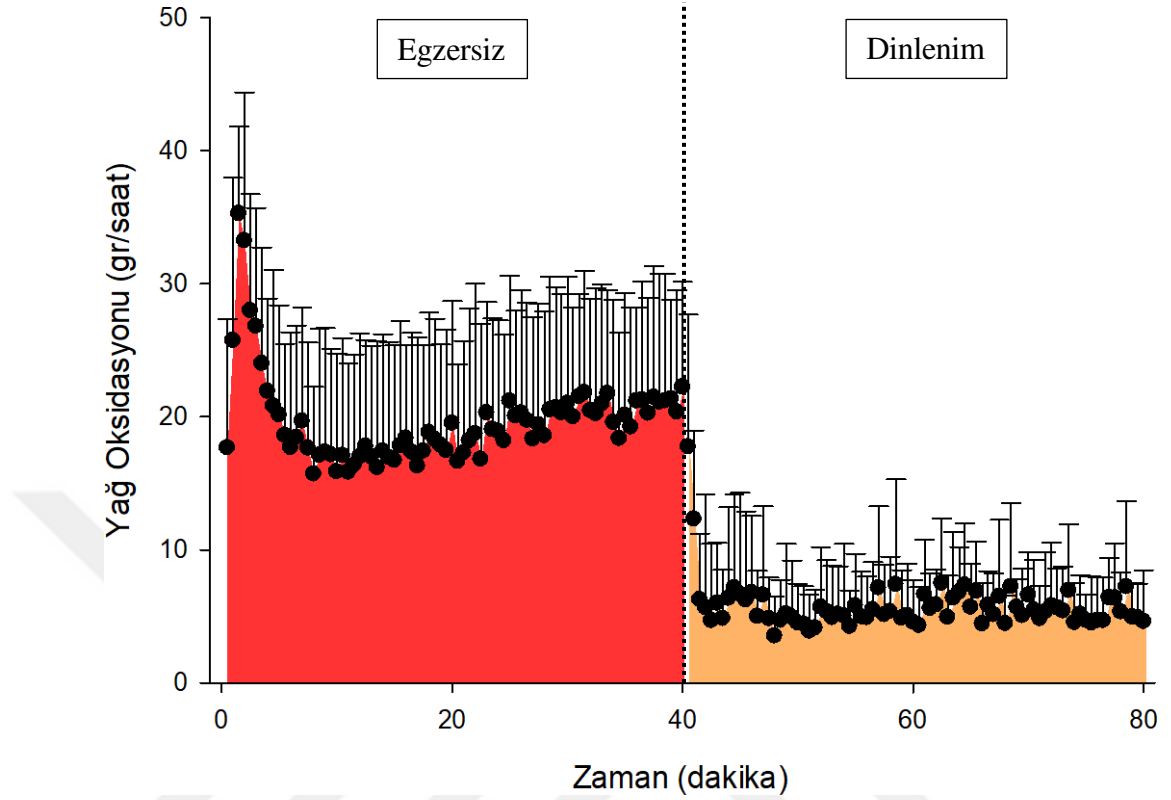
HR_{Maks} (atım/dk)	191.4 $\pm$ 10.1
VO_{2Maks} (ml/kg/dk)	40.2 $\pm$ 4.4
VO₂ (ml/dk)	3113.7 $\pm$ 502.3
VE (Lt/dk)	124.9 $\pm$ 14.0
RQ	1.11 $\pm$ 0.10
En Yüksek Hız (km/saat)	13.0 $\pm$ 2.0

4.3. Sabit Şiddetli Egzersiz

Sabit şiddetli egzersiz testinde, aktif hareket (ilk 40 dk) ve dinlenim (son 40 dk) süresince gerçekleşen, bir kişiye ait örnek yağ oksidasyon hızı Şekil 24'te gösterilmiştir. Tüm katılımcıların yağ oksidasyonu hız ortalamaları Şekil 25'te gösterilmiştir. Gerçekleşen toplam yağ oksidasyon miktarı, oluşturulan yağ oksidasyonu grafiğinin altında kalan alanın hesaplanmasıyla tespit edilmiştir (Şekil-25).



Şekil 24. Sabit şiddetli egzersiz esnasında kaydedilen örnek zamana bağlı yağ oksidasyon değişim grafiği.



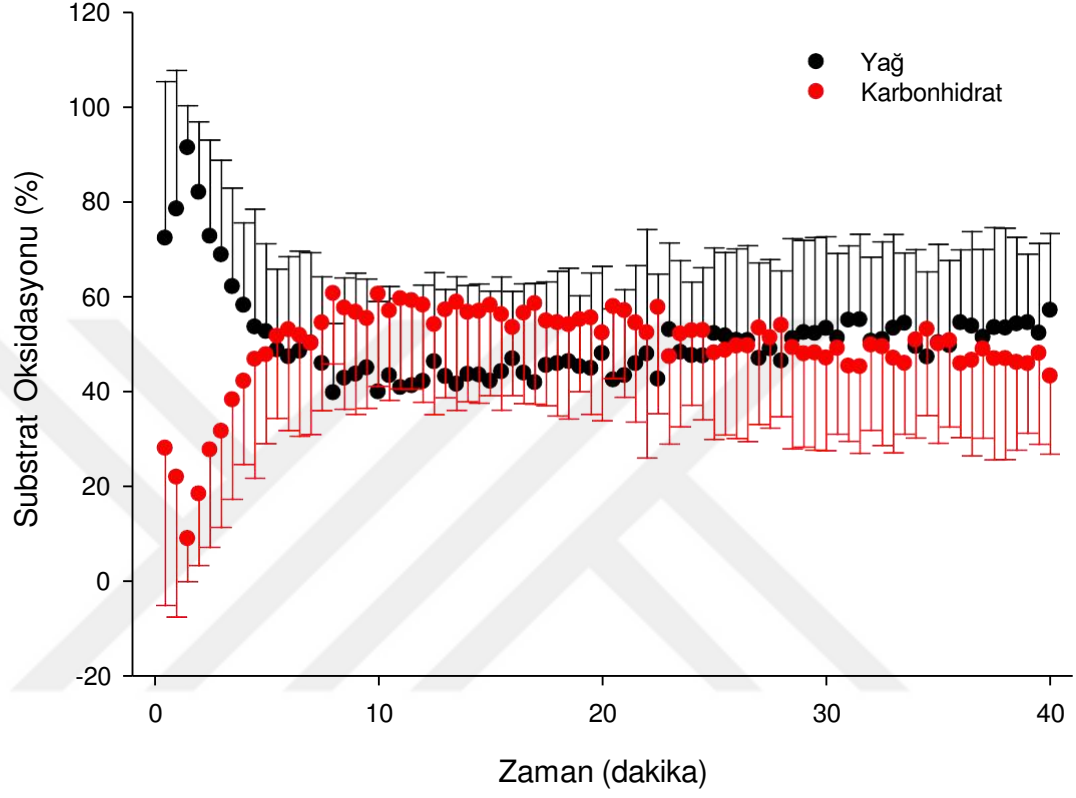
Şekil 25. Sabit şiddetli egzersiz testi süresince gözlenen zamana bağlı ortalama yağ oksidasyonu değişim grafiği. Taralı alanlar ilgili dönemlerdeki toplam yağ oksidasyon miktarını göstermektedir.

Test süresince gözlenen en yüksek substrat oksidasyon hızları ile egzersiz ve toparlanma sürelerince gerçekleşen substrat oksidasyon miktarları Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Egzersizde gözlenen en yüksek substrat oksidasyon hızları ve test süresince okside olan substrat miktarları. Veriler, ortalama $\pm$ standart sapma olarak verilmiştir.

Egzersiz				Toparlanma	
Zirve Yağ Oksidasyonu Hızı (gr/saat)	Zirve Karbonhidrat Oksidasyonu Hızı (gr/saat)	Toplam Yağ Oksidasyonu (gr)	Toplam Karbonhidrat Oksidasyonu (gr)	Toplam Yağ Oksidasyonu (gr)	Toplam Karbonhidrat Oksidasyonu (gr)
36.8 $\pm$ 8.6	78.3 $\pm$ 31.3	12.9 $\pm$ 5.4	33.3 $\pm$ 18.9	3.7 $\pm$ 1.8	9.3 $\pm$ 3.8

Egzersiz esansında okside olan substratların zamana bağılı değişimi Şekil 26’da gösterilmiştir.



Şekil 26. Sabit şiddetli egzersiz sırasında substrat kullanım oranının zamana bağılı değişimi

Sabit şiddetli egzersizde ölçülen solunum değişkenleri ve bu değişkenlerin $Yağ_{Maks}$ şiddetindeki değerleri ve oranları Tablo 6’te verilmiştir.

Tablo 6. Yağ_{Maks} testi ile sabit şiddetli egzersiz sırasında kaydedilen değişkenlerin karşılaştırılması. Veriler, ortalama $\pm$ standart sapma olarak verilmiştir.

	Yağ _{Maks}	SŞE	Oran (%)
Zirve Yağ Oksidasyon Hızı (gr/saat)	23.5 $\pm$ 7.0	36.8 $\pm$ 8.6*	147
Zirve Karbonhidrat Oksidasyon Hızı (gr/saat)	46.6 $\pm$ 26.9	78.3 $\pm$ 31.3*	168
Ortalama Yağ Oksidasyon Hızı (gr/saat)	23.5 $\pm$ 7.0	19.7 $\pm$ 8.1*	84
Karbonhidrat Oksidasyon Hızı (gr/saat)	46.6 $\pm$ 26.9	52.3 $\pm$ 26.0	112
Yağ Oksidasyonu (%)	59.5 $\pm$ 16.1	50.0 $\pm$ 17.1	85
Karbonhidrat Oksidasyonu (%)	40.7 $\pm$ 16.2	50.0 $\pm$ 17.3	122
VO₂ (ml/dk)	1377.3 $\pm$ 308.3	1315.9 $\pm$ 310.0	96
VCO₂ (ml/dk)	1142.3 $\pm$ 297.3	1119.6 $\pm$ 288.1	98
RQ (Solunum Katsayısı)	0.83 $\pm$ 0.05	0.85 $\pm$ 0.05	103
HR (Atım/dk)	111.8 $\pm$ 18.8	111.8 $\pm$ 18.8	100

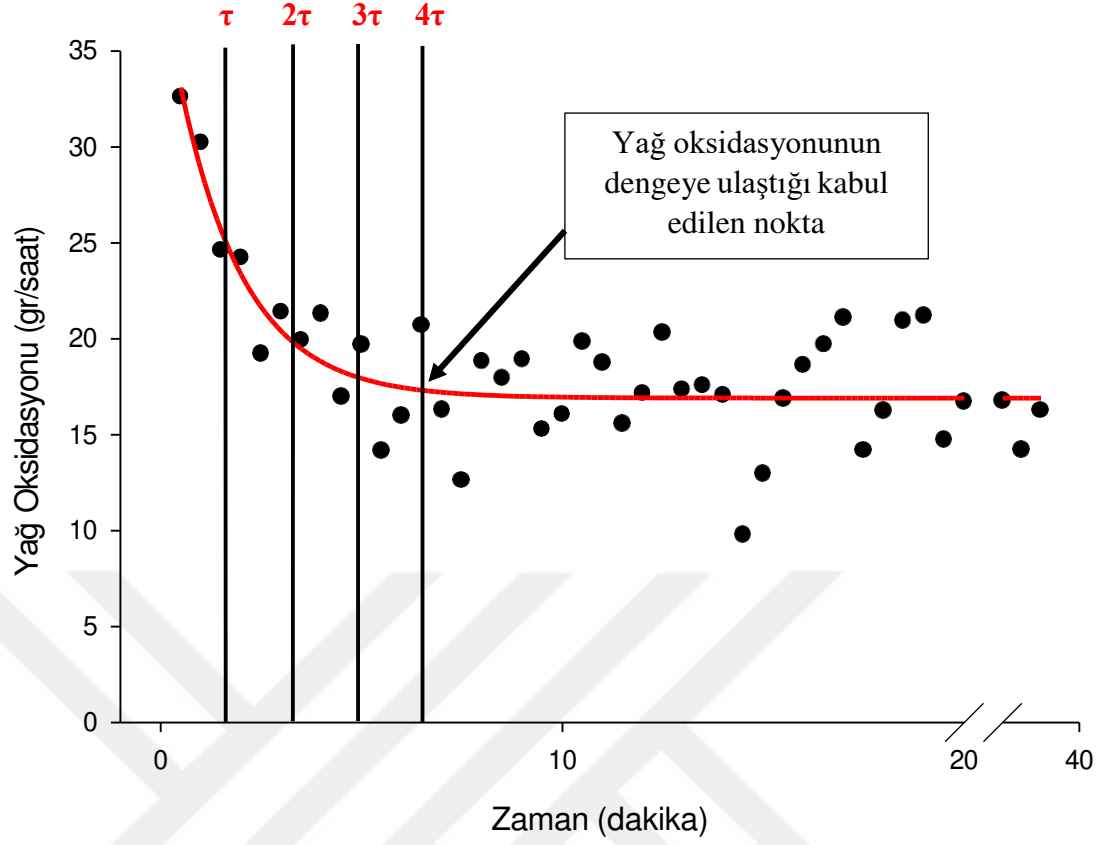
*, Yağ_{Maks} testinden anlamlı farklılık (p<0.05)

Sabit şiddetli egzersizde gözlenen ortalama kalp atım sayısı, ortalama oksijen alımı ile RQ değerinin, maksimal şiddetteki egzersizde gözlenen değişkenlere oranı sırasıyla % 58.4, % 42.3 ve % 77.0 olarak bulunmuştur.

4.4. İnterval Egzersiz Sürelerinin Tespiti

Katılımcıların aktif ve pasif interval egzersizlerinde gerçekleştirecekleri interval süreleri bireysel olarak belirlenmiştir. Bunun için katılımcıların Yağ_{Maks} testindeki yağ oksidasyon değişiminin dengeye gelme süresi kullanılmıştır. Bu süre belirlenirken ilk olarak sabit şiddetli egzersizde gözlenen yağ oksidasyon değişimi grafik haline getirilmiş, daha sonra grafiğe üstel bozunma (exponential decay) eğrisi ($f = y_0 + a \cdot \exp(-b \cdot x)$) uydurulmuştur (Şekil-27). Kişisel interval süresi olarak 4 tau kabul edilmiştir.

Yağ_{Maks} testinde belirlenen hızda bireyler 40 dakika yürütülerek (sabit şiddetli egzersiz) yağ oksidasyonundaki değişim belirlenmiştir. Bu amaçla yağ oksidasyonunun zamana bağlı değişimine eğri uydurulmuştur (Şekil-27). Eğrinin dengeye gelme süresi (4 tau) kişinin interval süresi olarak kabul edilmiştir.



Şekil 27. Sabit şiddetli egzersizde gözlenen yağ oksidasyonunun zamana bağlı değişimi. Uydurulan üstel bozunma eğrisi, kırmızı renk ile gösterilmiştir. Her bir tau süresi dikey çizgiler ile belirtilmiştir.

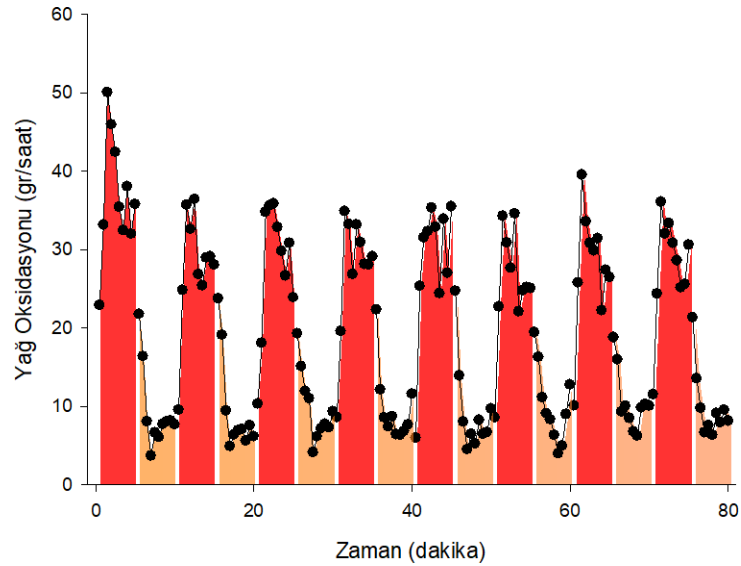
Tespit edilen tau süreleri ve 40 dakikalık egzersiz süresine ulaşmak için yapılan interval sayıları, hedef egzersiz şiddetleri ve ADE protokolünde gerçekleştirilen aktif dinlenme hızları Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. Katılımcılara ait bireysel tau süreleri ile aktif ve pasif egzersizlerdeki interval sayıları.

Denek	Yağ Oksidasyonunun Zaman Sabiti (dk)	Toplam İnterval Sayısı	Yağ _{maks} Şiddeti (Km/saat)	Aktif Dinlenme Şiddeti (Km/saat)
1	8	5	6	5
2	5	8	6	5
3	7.5	6	6	4
4	4.5	9	5	4
5	10	4	5	4
6	8	5	6	5
7	2	20	6	5
8	5	8	6	3
9	8	5	5	4
10	3	14	6	3
11	3	14	8	4

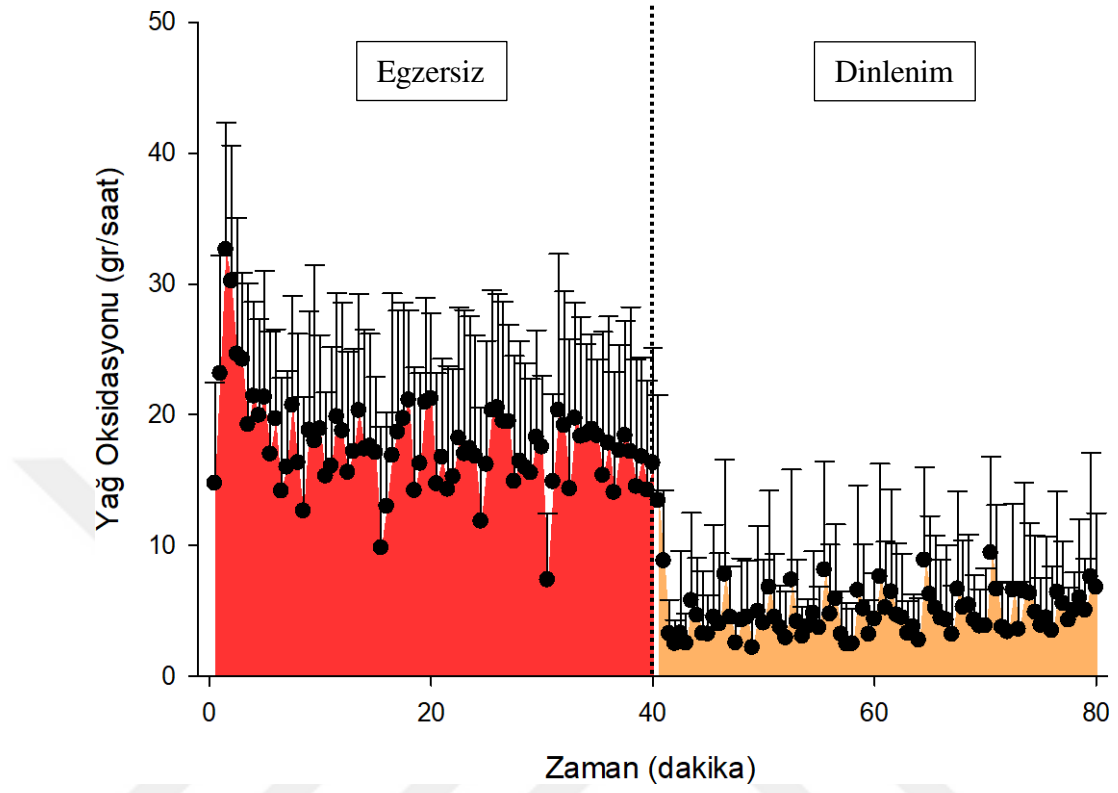
4.5. Pasif Dinlenmeli İnterval Egzersiz

Pasif dinlenme yaptırılan egzersiz testi grubundaki bir kişiden alınan, 80 dakikada gözlenen örnek yağ oksidasyonu değerleri Şekil 28’de gösterilmiştir.



Şekil 28. Pasif dinlenmeli egzersiz sırasında bir kişiden kaydedilen örnek yağ oksidasyon hızı grafiği.

Pasif dinlenmeli egzersizlerin egzersiz ve toparlanma sürelerinin birleştirilerek oluşturulduğu yağ oksidasyon hızı grafiği Şekil 29’da gösterilmiştir.



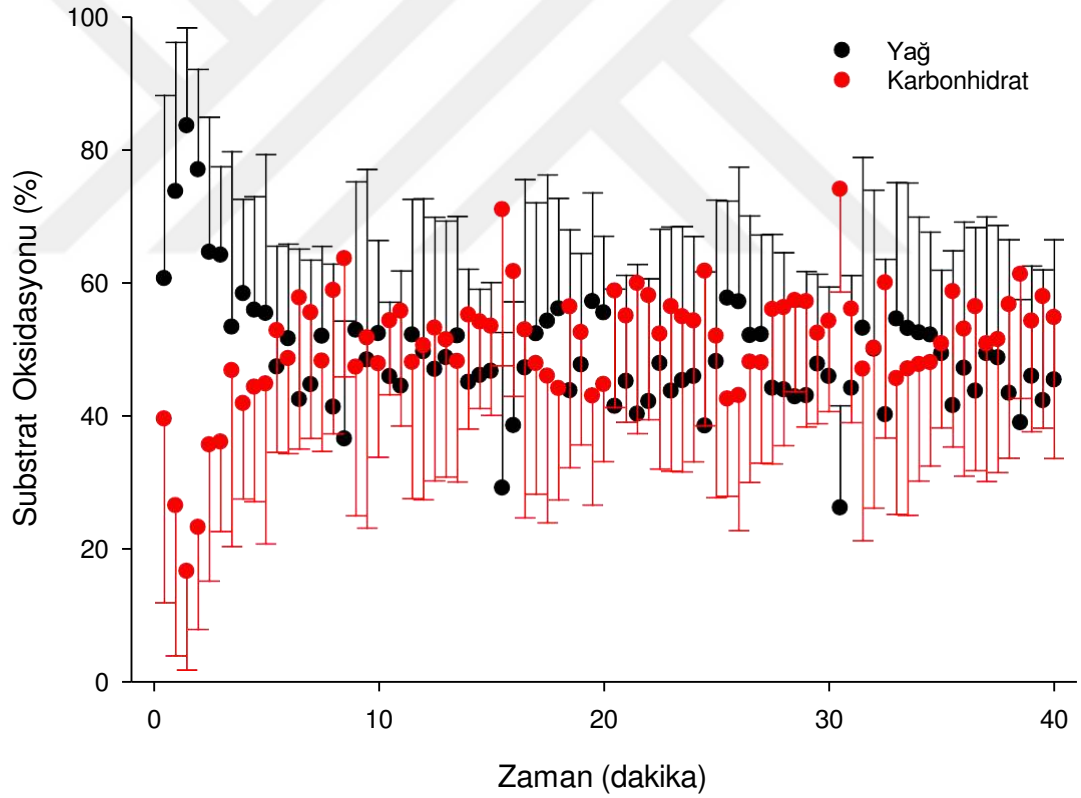
Şekil 29. Pasif dinlenmeli egzersiz testi süresince gözlenen zamana bağlı ortalama yağ oksidasyonunu değişim grafiği. Taralı alanlar ilgili dönemlerdeki toplam yağ oksidasyon miktarını göstermektedir.

Test süresince gözlenen en yüksek substrat oksidasyon hızları ile egzersiz ve toparlanma sürelerince gerçekleşen substrat oksidasyon miktarları Tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 8. Egzersizde gözlenen en yüksek oksidasyon hızları ve test süresince okside olan substrat miktarları. Veriler, ortalama $\pm$ standart sapma olarak verildi.

Egzersiz				Toparlanma	
Zirve Yağ Oksidasyonu (gr/saat)	Zirve Karbonhidrat Oksidasyonu (gr/saat)	Toplam Yağ Oksidasyonu (gr)	Toplam Karbonhidrat Oksidasyonu (gr)	Toplam Yağ Oksidasyonu (gr)	Toplam Karbonhidrat Oksidasyonu (gr)
35.5 $\pm$ 8.5	70.2 $\pm$ 15.8	11.7 $\pm$ 3.9	30.7 $\pm$ 8.4	3.2 $\pm$ 2.3	17.9 $\pm$ 3.3

Egzersizde gözlenen substratların kullanım yüzdeleri Şekil 30’da gösterilmiştir.



Şekil 30. Pasif dinlenmeli egzersiz sırasında substrat kullanım oranının zamana bağlı değişimi

Pasif dinlenmeli egzersizde gözlenen ortalama kalp atım sayısı, oksijen alımı ve RQ değerinin, maksimal şiddetteki egzersizde ulaşılan kalp atım sayısı, oksijen alımı ve RQ değerine oranı sırasıyla % 53.7, % 37.7 ve % 77.5 olarak bulunmuştur. Pasif dinlenmeli egzersizde gözlenen solunum değişkenlerinin, substrat oksidasyonu verileri ve YağMaks testinde gözlenen aynı şiddetteki değişkenlere oranları Tablo 9’da gösterilmiştir.

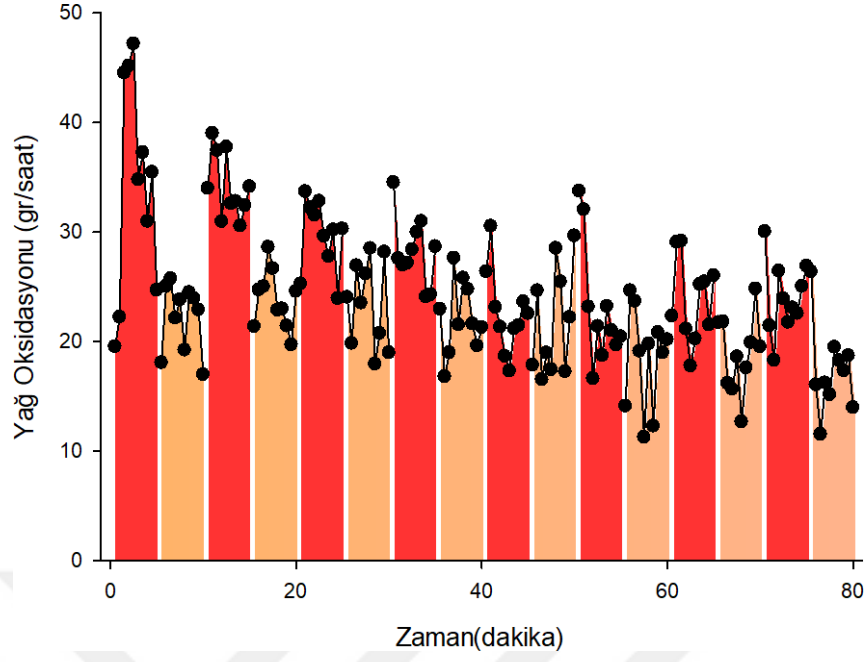
Tablo 9. Pasif dinlenmeli egzersizin, YağMaks şiddetinde kaydedilen solunum değişkenlerinin ortalama değerleri ve bu değerlerin Yağmaks testinde saptanan değerlere oranı. Veriler, ortalama $\pm$ standart sapma olarak verilmiştir.

	YağMaks	PDE	Oran (%)
Zirve Yağ Oksidasyon Hızı (gr/saat)	23.5 $\pm$ 7.0	35.5 $\pm$ 8.5*	151
Zirve Karbonhidrat Oksidasyon Hızı (gr/saat)	46.6 $\pm$ 26.9	70.2 $\pm$ 15.8*	151
Ortalama Yağ Oksidasyon Hızı (gr/saat)	23.5 $\pm$ 7.0	17.7 $\pm$ 5.9*	75
Karbonhidrat Oksidasyon Hızı (gr/saat)	46.6 $\pm$ 26.9	46.5 $\pm$ 12.7	100
Yağ Oksidasyonu (%)	59.5 $\pm$ 16.1	49 $\pm$ 12.8	82
Karbohidrat Oksidasyonu (%)	40.7 $\pm$ 16.2	51 $\pm$ 12.9	126
VO₂ (ml/dk)	1377.3 $\pm$ 308.3	1175.1 $\pm$ 193.5	85
VCO₂ (ml/dk)	1142.3 $\pm$ 297.3	999.1 $\pm$ 160.0*	87
RQ	0.83 $\pm$ 0.05	0.86 $\pm$ 0.04	104
HR (Atım/dk)	111.8 $\pm$ 18.8	102.8 $\pm$ 14.1*	92

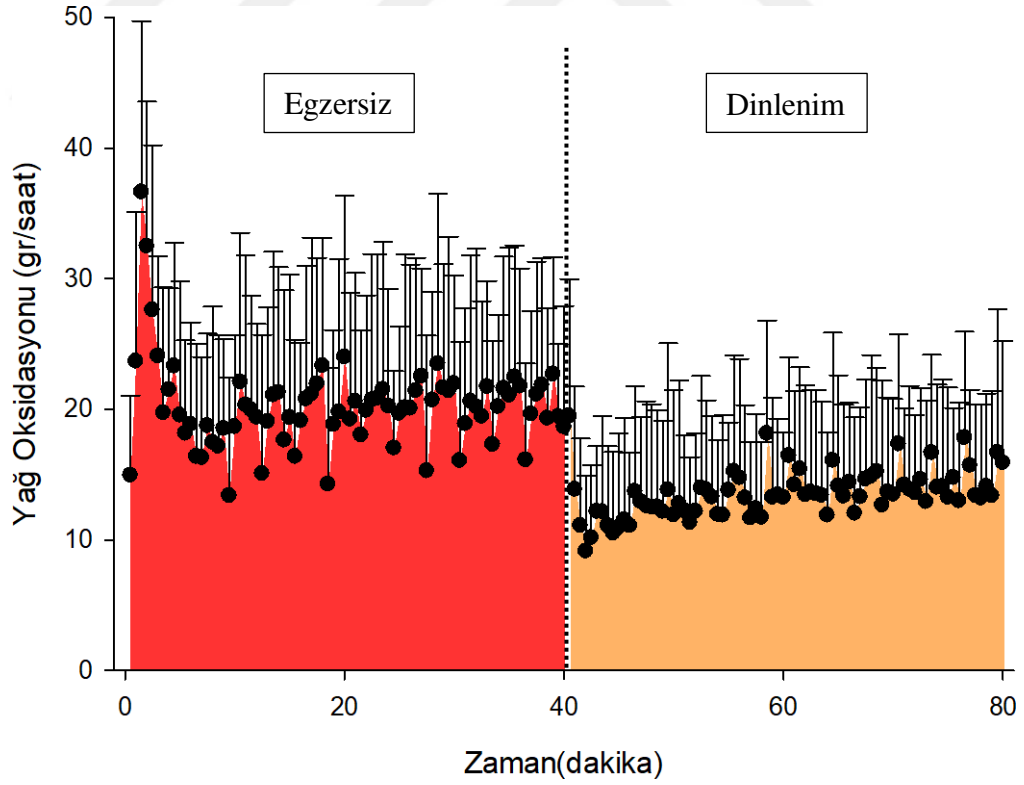
*, YağMaks testinden anlamlı farklılık (p<0.05)

4.6. Aktif Dinlenmeli İnterval Egzersiz

Aktif dinlenmeli egzersiz testi boyunca bir katılımcıya ait örnek yağ oksidasyon hızı değerleri Şekil 31’de verilmiştir. Aktif dinlenmeli egzersizlerin egzersiz ve toparlanma sürelerinin birleştirilerek oluşturulduğu yağ oksidasyon hızı grafiği Şekil 32’de verilmiştir.



Şekil 31. Aktif dinlenmeli egzersiz sırasında bir kişiden kaydedilen örnek yağ oksidasyon hızı grafiği.



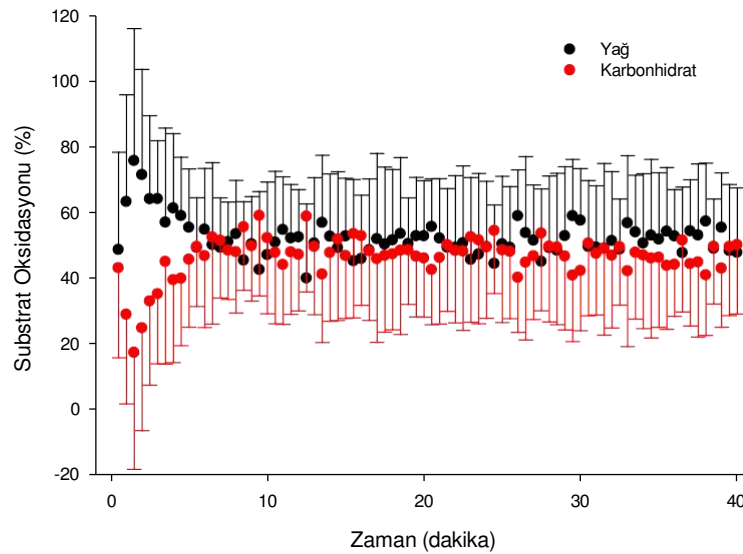
Şekil 32. Aktif dinlenmeli egzersiz testi süresince gözlenen zamana bağlı ortalama yağ oksidasyonu değişim grafiği. Taralı alanlar ilgili dönemlerdeki toplam yağ oksidasyon miktarını göstermektedir.

Test süresince gözlenen en yüksek substrat oksidasyon hızları ile egzersiz ve toparlanma sürelerinde gerçekleşen substrat oksidasyon miktarları Tablo 10’da gösterilmiştir.

Tablo 10. Egzersizde gözlenen en yüksek oksidasyon değerleri ve test süresince okside olan substrat miktarları. Veriler, ortalama $\pm$ standart sapma olarak verilmiştir.

Egzersiz				Toparlanma	
Zirve Yağ Oksidasyonu (gr/saat)	Zirve Karbonhidrat Oksidasyonu (gr/saat)	Toplam Yağ Oksidasyonu (gr)	Toplam Karbonhidrat Oksidasyonu (gr)	Toplam Yağ Oksidasyonu (gr)	Toplam Karbonhidrat Oksidasyonu (gr)
38.7 $\pm$ 13.0	78.6 $\pm$ 21.1	13.3 $\pm$ 5.0	30.2 $\pm$ 8.2	8.8 $\pm$ 4.0	28.9 $\pm$ 7.8

Aktif dinlenmeli egzersizde katılımcıların Yağ_{Maks} şiddetinde gözlenen ortalama kalp atım sayısının maksimal testte ulaşılan en yüksek kalp atım sayısına oranı % 54.3; ortalama oksijen tüketiminin, maksimal testte ulaşılan en yüksek oksijen alımına oranı % 40.2; ortalama RQ değerinin, maksimal testte ulaşılan en yüksek RQ değerine oranı ise % 76.3 olarak bulunmuştur. Katılımcıların egzersiz intervalleri birleştirilerek egzersizde gözlenen substratların kullanım yüzdeleri Şekil 33’te gösterilmiştir.



Şekil 33. Aktif dinlenmeli egzersiz sırasında substrat kullanım oranının zamana bağlı değişimi

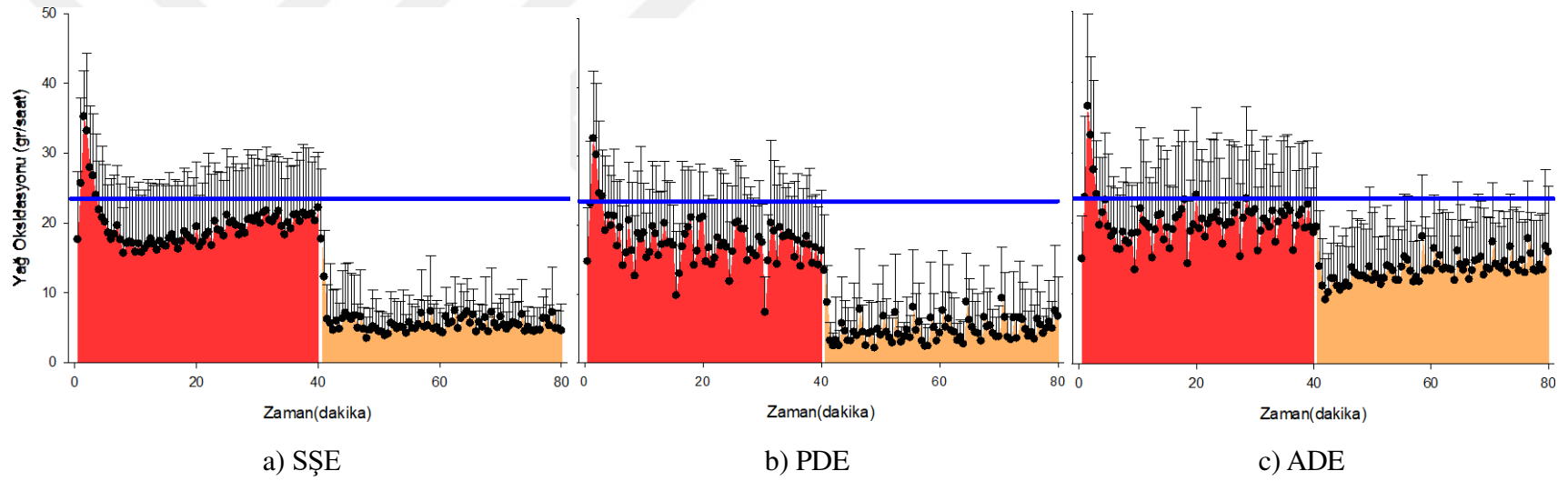
Egzersiz sırasında ölçülen solunum değişkenleri ile bu değişkenlerin Yağ_{Maks} testinde aynı şiddette ölçülen değerleri ve oranları Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Aktif dinlenmeli egzersiz ile Yağ_{Maks} testinin aynı şiddetinde kaydedilen solunum değişkenlerinin ortalamaları ve bu değerlerin Yağ_{Maks} testinde tespit edilen değerlere oranı.

	Yağ _{Maks}	ADE	Oran (%)
Zirve Yağ Oksidasyon Hızı (gr/saat)	23.5 ± 7.0	38.7 ± 13.0*	165
Zirve Karbonhidrat Oksidasyon Hızı (gr/saat)	46.6 ± 26.9	78.6 ± 21.1*	169
Ortalama Yağ Oksidasyon Hızı (gr/saat)	23.5 ± 7.0	20.2 ± 7.5	86
Karbonhidrat Oksidasyon Hızı (gr/saat)	46.6 ± 26.9	45.8 ± 12.4	98
Yağ Oksidasyonu (Yüzde)	59.5 ± 16.1	53 ± 13.7	89
Karbonhidrat Oksidasyonu (Yüzde)	40.7 ± 16.2	47 ± 13.9	116
VO₂ (ml/dk)	1377.3 ± 308.3	1252.6 ± 272.4	91
VCO₂ (ml/dk)	1142.3 ± 297.3	1051.1 ± 214.1	92
RQ (Solunum Katsayısı)	0.83 ± 0.05	0.84 ± 0.04	102
HR (Atım/dk)	111.8 ± 18.8	104.0 ± 14.5*	93

*, Yağ_{Maks} testinden anlamlı farklılık (p<0.05)

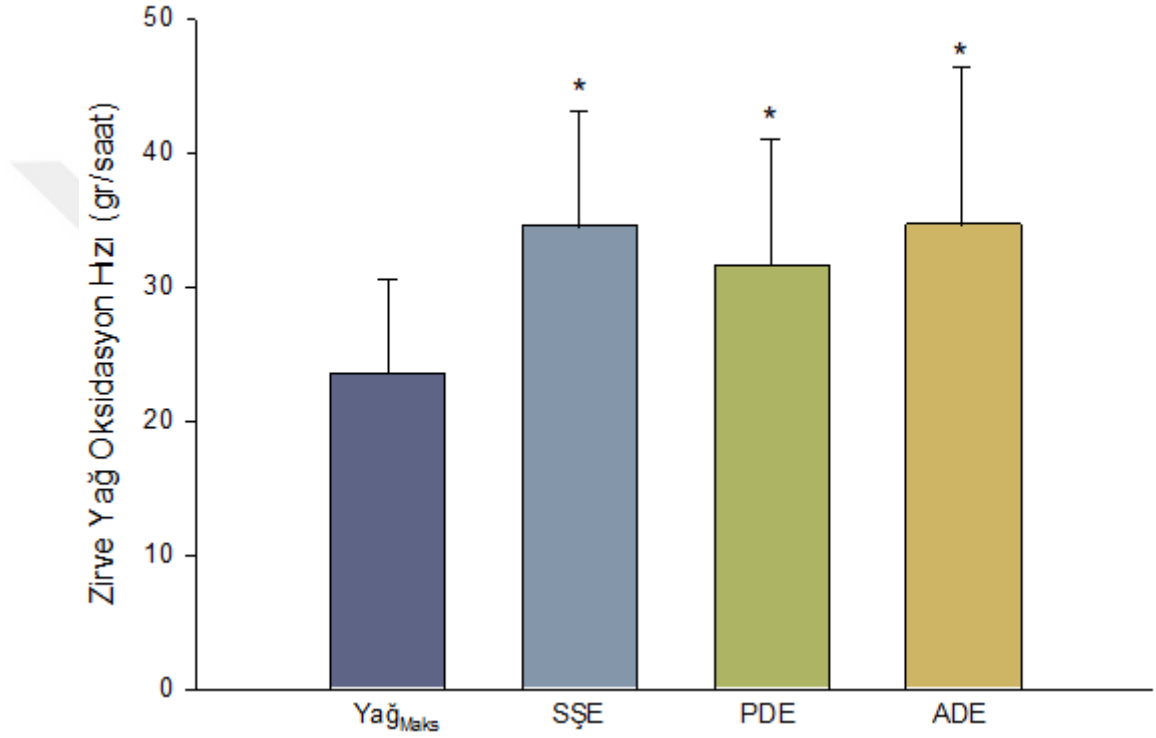
Egzersiz testlerinde gözlenen yağ oksidasyon hızı ortalamalarının, egzersiz ve toparlanma süreleri birleştirilerek oluşturulan yağ oksidasyon hızı grafiği Şekil 34'te verilmiştir.



Şekil 34. Sırasıyla sabit şiddet, pasif dinlenmeli ve aktif dinlenmeli egzersiz protokollerinde gözlemlenen zamana bağlı ortalama yağ oksidasyon hızı değişim ve standart sapmalarının grafikleri. İnterval egzersiz testlerinde ölçülen egzersiz ve toparlanma verileri birleştirilerek oluşturulmuştur. Mavi çizgi, YağMaks testinde tespit edilen en yüksek yağ oksidasyon hızını temsil etmektedir.

4.7. Zirve Yağ Oksidasyon Hızları

Yağ_{Maks} testinde gözlenen zirve yağ oksidasyon değeri (23.5 ± 7.0), SŞE (36.85 ± 8.61), PDE (35.4 ± 8.47) ve ADE (38.71 ± 12.97) gruplarında gözlenen zirve değerlerden anlamlı miktarda düşük bulunmuştur ($p < 0.05$). Diğer yandan egzersiz grupları arasında zirve yağ oksidasyon hızları arasında fark bulunmamıştır (Şekil-35).

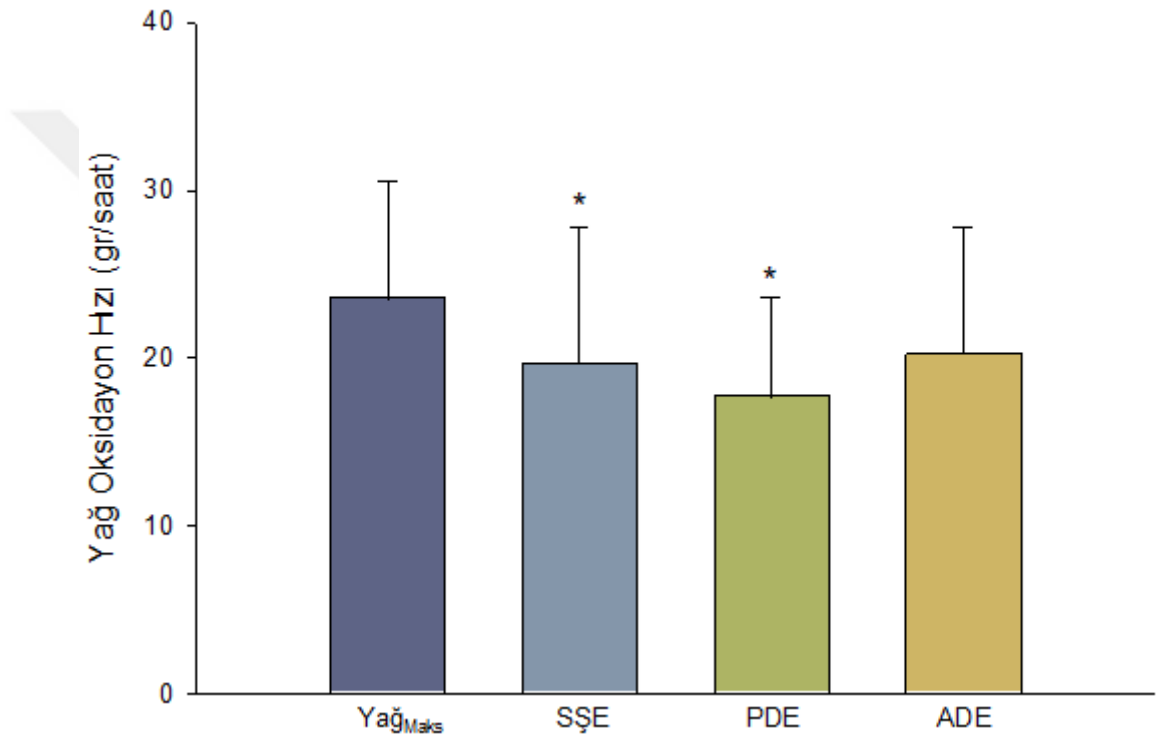


Şekil 35. Testlerde gözlenen zirve yağ oksidasyon hızları

*, Yağ_{Maks} testinde ölçülen zirve yağ oksidasyon hızına göre anlamlı farklılık ($p < 0.05$)

4.8. Ortalama Yağ Oksidasyon Hızı

Egzersiz testlerinde gözlenen ortalama yağ oksidasyon hızları karşılaştırıldığında, Yağ_{Maks} testinde gözlenen ortalama yağ oksidasyon hızı (23.5 ± 7.0), sabit şiddetli (19.7 ± 8.1) ve pasif dinlenmeli (17.7 ± 5.9) egzersizlere göre anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur ($p < 0.05$). Ancak, egzersizlerde gözlenen ortalama yağ oksidasyon hızları arasında anlamlı bir farklılık tespit edilememiştir (ADE: 20.2 ± 7.5) (Şekil-36).

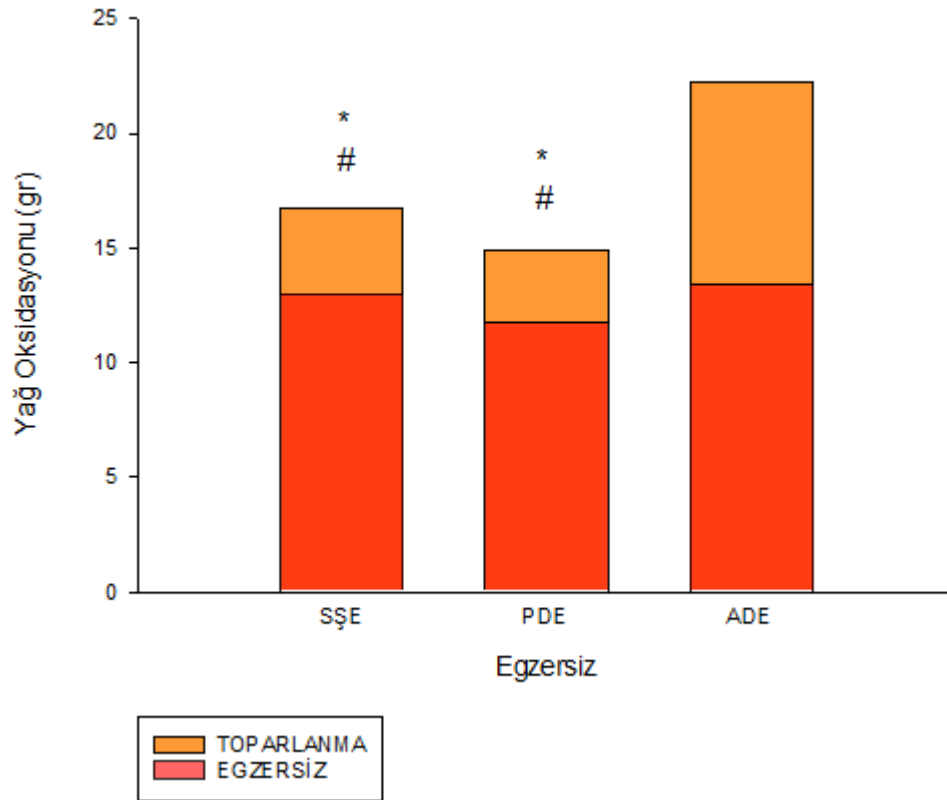


Şekil 36. Yağ_{Maks} testinde ve sabit şiddet, pasif dinlenmeli ve aktif dinlenmeli egzersiz protokollerinde gözlenen ortalama yağ oksidasyon hızlarının karşılaştırması.

*, Yağ_{Maks} testinden ölçülen zirve yağ oksidasyon hızına göre anlamlı farklılık ($p < 0.05$)

4.9. Yağ Oksidasyon Miktarı

Egzersiz süresince gözlenen yağ oksidasyon miktarları Şekil 37’de gösterilmiştir. Buna göre; egzersiz döneminde gözlenen yağ oksidasyon miktarları arasında istatistiksel anlamlı farklılık tespit edilememiştir (SŞE:13.0±5.4 PDE:11.7±3.9 ADE:13.3±5.0). Aktif dinlenmeli egzersiz testinin toparlanma periyodunda gerçekleşen yağ oksidasyon miktarının (8.9±4.0), sabit şiddet (3.7±1.8) ve pasif dinlenmeli (3.2±2.3) egzersizde gerçekleşen yağ oksidasyon miktarıyla karşılaştırıldığında anlamlı miktarda yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p<0.01$). Tüm ölçüm süresince gerçekleşen yağ oksidasyon miktarı, ADE’de (22.4±8.6), sabit şiddetli (16.8±6.8) ve pasif dinlenmeli (15.02±6.11) egzersizlerden anlamlı miktarda yüksek bulunmuştur ($p<0.05$).



Şekil 37. Egzersiz testleri süresince gerçekleşen yağ oksidasyon miktarları.

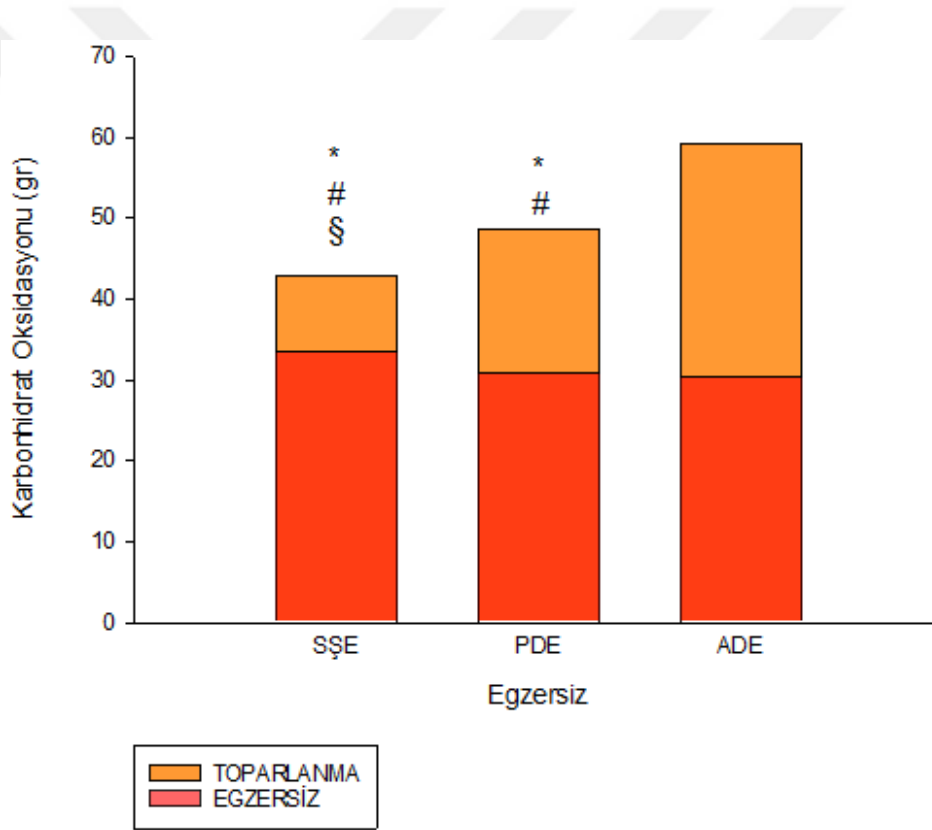
*, ADE’de toparlanma periyodunda gerçekleşen yağ oksidasyon miktarına göre anlamlı farklılık ($p<0.01$)

#, ADE’de tüm test süresince gerçekleşen yağ oksidasyon miktarına göre anlamlı farklılık ($p<0.05$)

4.10. Karbonhidrat Oksidasyon Miktarı

Egzersiz süresince gözlenen karbonhidrat oksidasyon miktarları arasında anlamlı farklılık tespit edilememiştir (SŞE:33.3±18.9 PDE:30.7±8.4 ADE:30.2±8.2).

Toparlanma süresince gerçekleşen karbonhidrat oksidasyon miktarı, ADE gurubunda diğer iki gruba göre anlamlı yüksek bulunmuştur ($p<0.01$). Pasif dinlenmeli egzersiz grubunda gerçekleşen karbonhidrat oksidasyonunun, SŞE grubundan daha fazla olduğu gözlemlenmiştir (SŞE:9.3±3.8 PDE:17.9±3.3 ADE:28.9±7.8) ($p<0.05$). Aktif dinlenmeli egzersizde tüm ölçüm süresince gerçekleşen karbonhidrat oksidasyon miktarının (59.6±15.8), SŞE (43.1±20.4) ve PDE (49.0±11.1)'de ölçülen karbonhidrat oksidasyon miktarından anlamlı biçimde yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$) (Şekil-38).



Şekil 38. Yağ_{Maks} testinde ve sabit şiddet, pasif dinlenmeli, aktif dinlenmeli egzersiz protokollerinde Yağ_{Maks} şiddetinde yapılan egzersizler sırasında gözlenen toplam yağ oksidasyonlarının karşılaştırması.

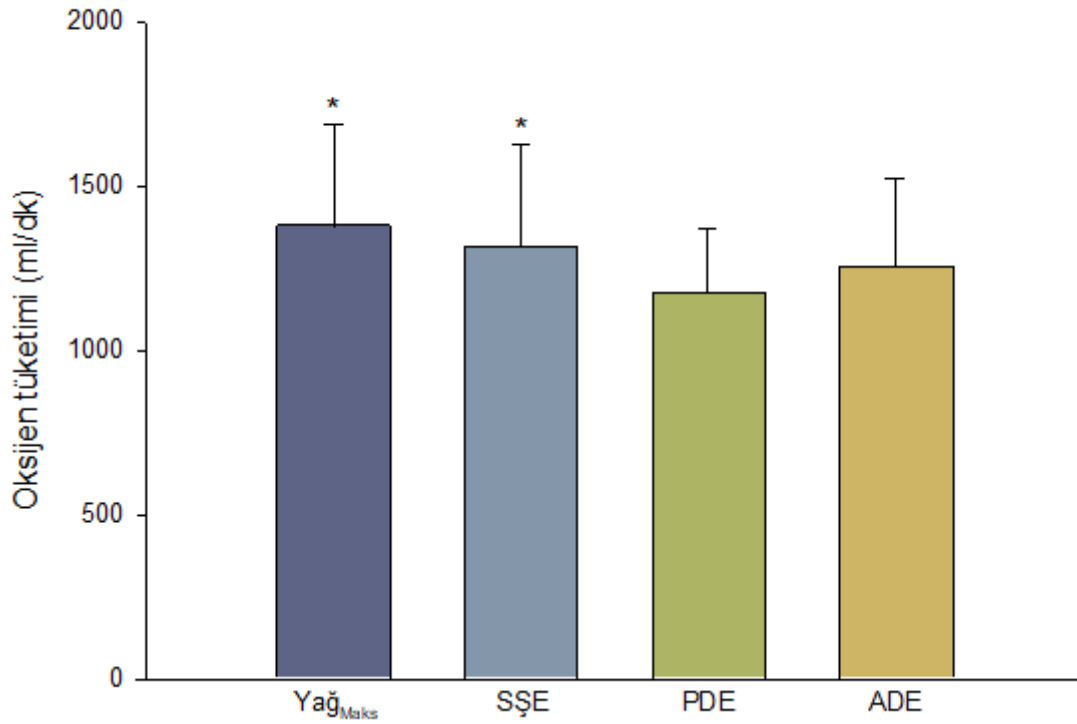
*, ADE'de toparlanma periyodunda ölçülen karbonhidrat oksidasyon miktarına göre anlamlı farklılık ($p<0.01$)

#, ADE'de tüm test süresince gerçekleşen karbonhidrat oksidasyon miktarına göre anlamlı farklılık ($p<0.01$)

§, PDE'de toparlanma periyodunda ölçülen karbonhidrat oksidasyon miktarına göre anlamlı farklılık ($p<0.05$)

4.11. Oksijen Alımı

Ölçümlerin egzersiz döneminde gözlenen ortalama oksijen alım değerlerine bakıldığında; pasif dinlenmeli egzersizde gözlenen değerler (1175.1 ± 193.5), Yağ_{Maks} testi (1377.3 ± 308.3) ve sabit şiddetli (1315.9 ± 310.0) egzersizden anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur ($p < 0.05$). Diğer yandan aktif dinlenmeli egzersiz (1252.6 ± 272.4) ile PDE’de ölçülen ortalama oksijen alım değerleri arasında anlamlı farklılık saptanmamıştır (Şekil-39).

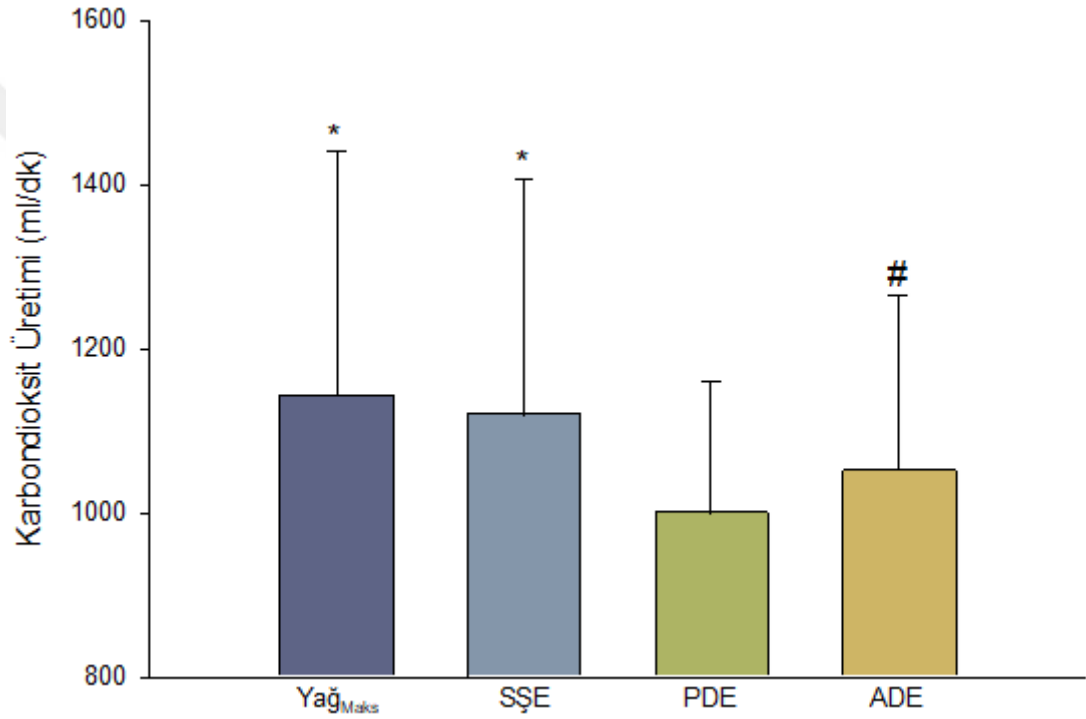


Şekil 39. Yağ_{Maks} testi ve sabit şiddet, pasif dinlenmeli, aktif dinlenmeli egzersiz protokollerinde gözlenen oksijen tüketim değerleri.

*, PDE’de ölçülen oksijen alımına göre anlamlı farklılık ($p < 0.05$)

4.12. Karbondioksit Üretimi

Pasif dinlenmeli (999.1 ± 160.0) egzersizde ölçülen ortalama karbondioksit üretim miktarı, Yağ_{Maks} testi (1142.3 ± 297.3) ve sabit şiddetli (1119.6 ± 288.1) egzersizde gerçekleşen ortalama karbondioksit üretiminden anlamlı miktarda düşük bulunmuştur ($p < 0.05$). Aktif dinlenmeli (1051.1 ± 214.1) egzersizde tespit edilen ortalama karbondioksit üretim miktarının, sabit şiddetli egzersizde üretilen ortalama karbondioksit miktarından anlamlı düzeyde az olduğu gözlemlenmiştir ($p < 0.05$) (Şekil-40).



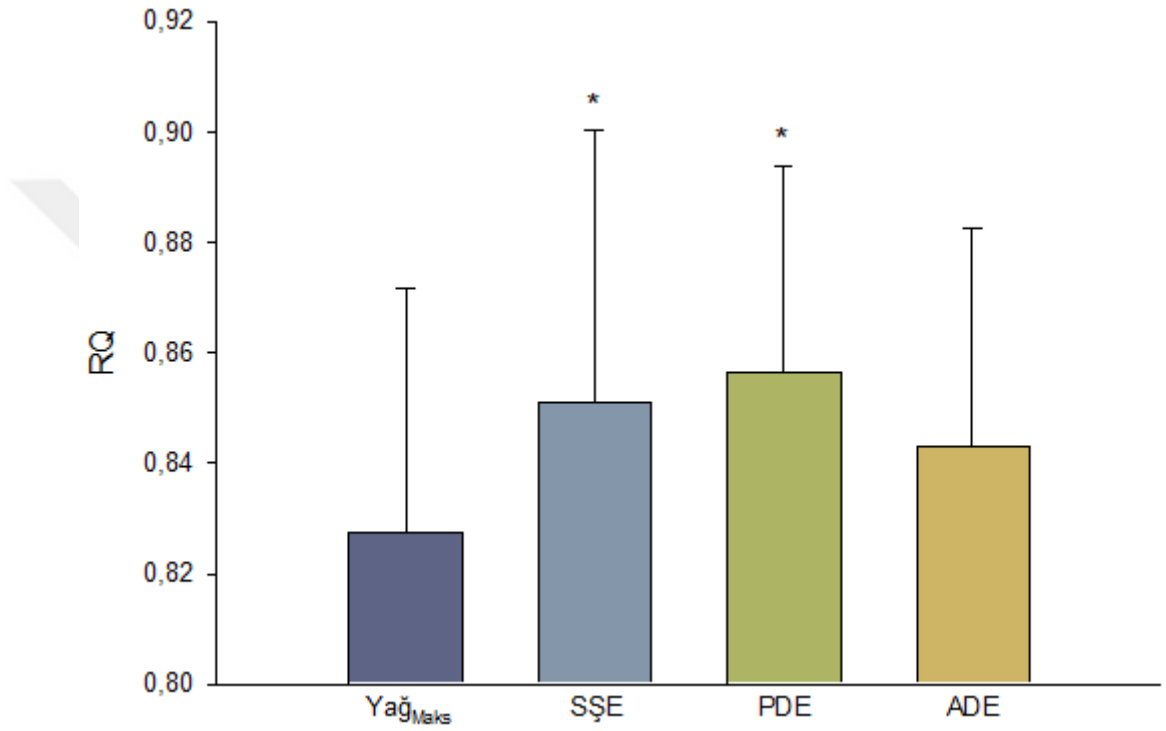
Şekil 40. Yağ_{Maks} testi ve sabit şiddet, pasif dinlenmeli, aktif dinlenmeli egzersiz protokollerinde gözlenen ortalama karbondioksit üretim miktarları.

*, PDE’de ölçülen ortalama karbondioksit üretim miktarına göre anlamlı farklılık ($p < 0.05$)

#, SŞE’de ölçülen ortalama karbondioksit üretim miktarına göre anlamlı farklılık ($p < 0.05$)

4.13. RQ

Yağ_{Maks} testinde gözlenen RQ değerinin (0.83 ± 0.05), sabit şiddetli (0.85 ± 0.05) ve pasif dinlenmeli (0.86 ± 0.04) egzersizde ölçülen ortalama RQ değerlerinden anlamlı miktarda düşük olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Aktif dinlenmeli (0.84 ± 0.04) egzersizde ölçülen RQ değeri ile Yağ_{Maks} testinde gözlenen RQ değeri arasında fark bulunamamıştır (Şekil-41).

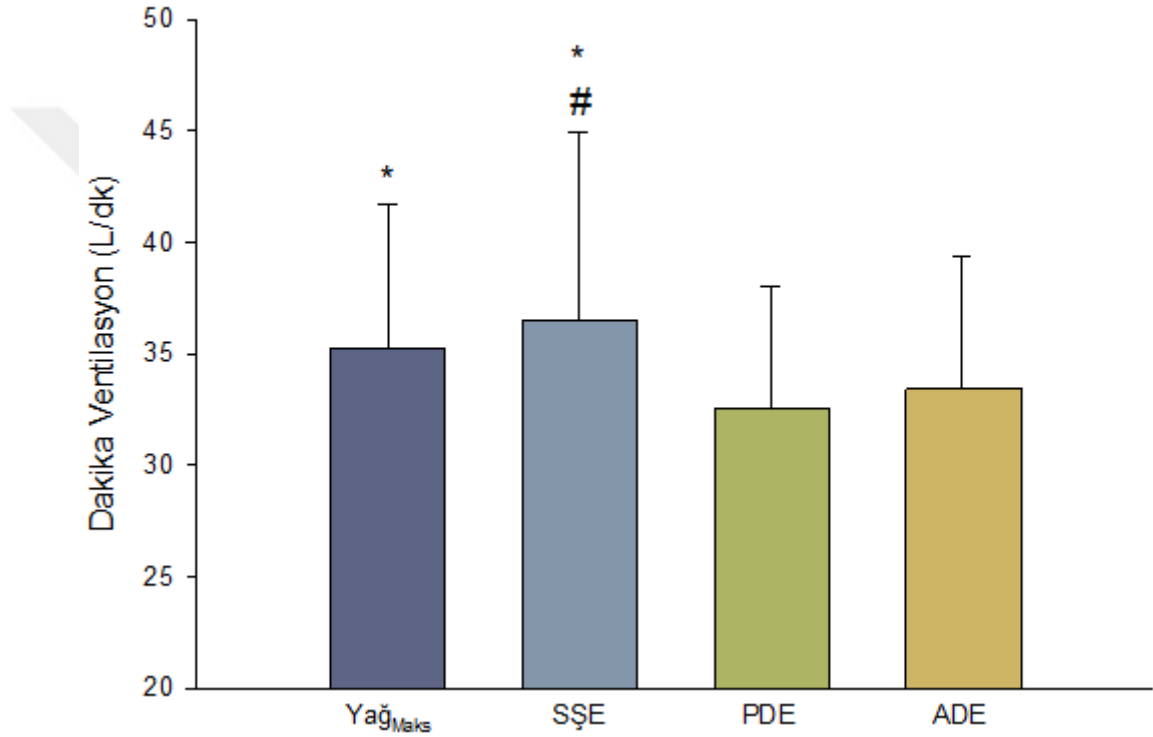


Şekil 41. Yağ_{Maks} testi ve egzersiz protokollerinde gözlenen RQ değerleri.

*, Yağ_{Maks}'ta gözlenen RQ değerine göre anlamlı farklılık ($p < 0.05$)

4.14. Dakika Ventilasyon (VE)

Pasif dinlenmeli (32.6 ± 5.5) egzersizde ölçülen ortalama dakika ventilasyon hacmi, $\dot{V}_{\text{A}}_{\text{Maks}}$ testi (35.2 ± 6.6) ve sabit şiddetli (36.5 ± 8.5) egzersizde gözlenen anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur ($p < 0.05$). Bununla birlikte sabit şiddetli egzersizde gözlenen dakika ventilasyon hacmi aktif dinlenmeli (33.4 ± 5.9) egzersizden anlamlı olarak yüksek saptanmıştır ($p < 0.05$) (Şekil-42).



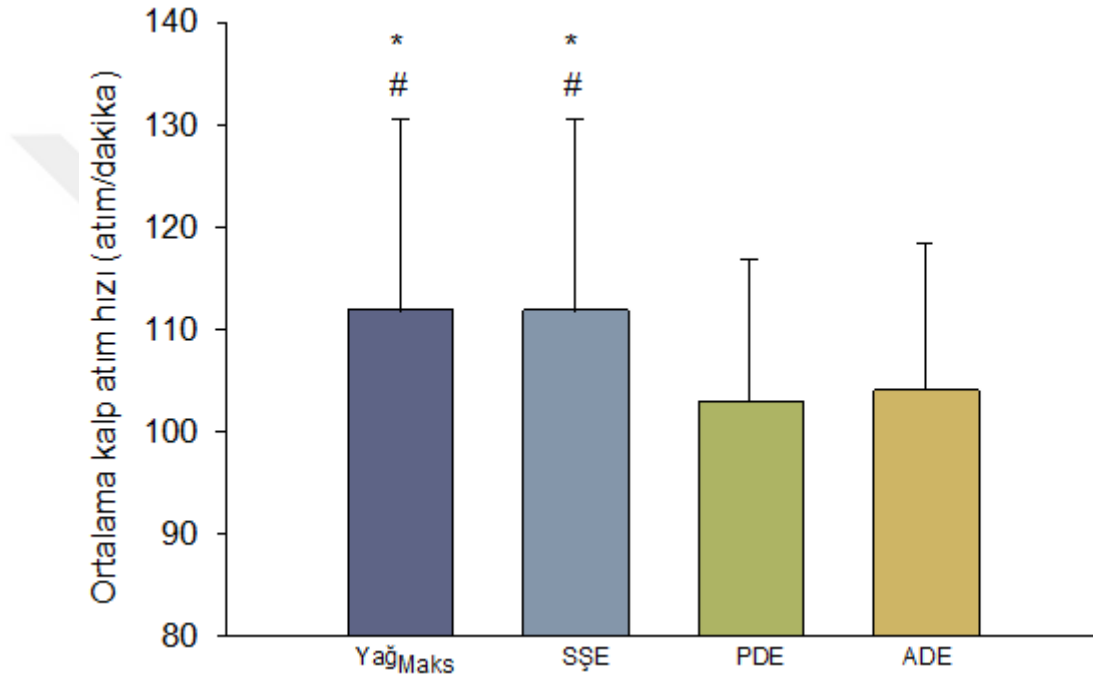
Şekil 42. $\dot{V}_{\text{A}}_{\text{Maks}}$ testi ve sabit şiddet, pasif dinlenmeli, aktif dinlenmeli egzersiz protokollerinde gözlenen dakika ventilasyon hacimleri.

*, PDE’de ölçülen dakika ventilasyon hacmine göre anlamlı farklılık ($p < 0.05$)

#, ADE’de ölçülen dakika ventilasyon hacmine göre anlamlı farklılık ($p < 0.05$)

4.15. Ortalama Kalp Atım Hızı

Pasif dinlenmeli egzersizde (102.8 ± 14.1) ölçülen ortalama kalp atım hızı, Yağ_{Maks} testi (111.8 ± 18.8) ve sabit şiddetli egzersizde (111.8 ± 18.8) gözlenen ortalama kalp atım hızından anlamlı miktarda düşük bulunmuştur ($p < 0.05$). Aktif dinlenmeli egzersizde (104.0 ± 14.5) ölçülen ortalama kalp atım hızının Yağ_{Maks} testi ve sabit şiddetli egzersizde gözlenen değerlere göre anlamlı düzeyde düşük olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$) (Şekil-43).



Şekil 43. Yağ_{Maks} testi ve sabit şiddet, pasif dinlenmeli, aktif dinlenmeli egzersiz protokollerinde gözlenen ortalama kalp atım sayısı.

*, PDE’de ölçülen ortalama kalp atım sayısına göre anlamlı farklılık ($p < 0.05$)

#, ADE’de ölçülen ortalama kalp atım sayısına göre anlamlı farklılık ($p < 0.05$)

Testlerde ölçülen substrat oksidasyon miktarları, okside olan substratların yüzdeleri ve zirve yağ oksidasyon değerleri Tablo 12’de verilmiştir. Ölçülen solunum değişkenlerinin ortalamaları ve ortalama kalp atım hızı değerleri ise Tablo 13’te yer almaktadır.

Tablo 12. Yağ_{Maks} testinde ve egzersizlerde gözlemlenen substrat oksidasyonu değerleri. Veriler, ortalama±standart sapma, minimum ve maksimum değerler olarak sırasıyla verilmiştir.

	Ortalama Yağ Oksidasyon Hızı (gr/saat)	Karbonhidrat Oksidasyon Hızı (gr/saat)	Yağ Oksidasyonu (%)	Karbonhidrat Oksidasyonu (%)	Zirve Yağ Oksidasyon Hızı (gr/saat)
Yağ_{Maks} Testi	23.5 ± 7.0 14.3 40.2	46.6 ± 26.9 20.0 115.4	59.5 ± 16.1 28.4 84.5	40.7 ± 16.2 15.5 72.1	23.5 ± 7.0 14.3 40.2
SŞE	19.7 ± 8.1* 9.6 35.5	52.3 ± 26.0 27.2 123.1	50.6 ± 17.1 23.7 78.6	49.6 ± 17.3 21.4 76.9	36.8 ± 8.6* 26.2 54.9
PDE	17.7 ± 5.9* 10.1 28.7	46.5 ± 12.7 23.4 64.8	49.0 ± 12.8 32.1 75.8	51.2 ± 12.9 24.2 67.9	35.5 ± 8.5* 26.6 50.1
ADE	20.2 ± 7.5 8.0 31.5	45.8 ± 12.4 28.0 70.2	53.1 ± 13.7 29.1 74.8	47.1 ± 13.9 25.2 70.9	38.7 ± 13.0* 14.3 63.8

*, Yağ_{Maks} testinden anlamlı farklılık (p<0.05)

Tablo 13. Yağ_{Maks} testinde ve egzersizlerde gözlemlenen solunum parametreleri ve kalp atım hızı değerleri. Veriler, ortalama±standart sapma, minimum ve maksimum değerler olarak sırasıyla verilmiştir.

	Rf (Soluk/dk)	VT (L)	VE (L/dk)	VO₂ (mL/dk)	VCO₂ (mL/dk)	RQ	HR (Atım/dk)
Yağ_{Maks} Testi	24.2 ± 4.4	1.5 ± 0.4	35.2 ± 6.6 ^b	1377.3 ± 308.3 ^b	1142.3 ± 297.3 ^b	0.83 ± 0.05	111.8±18.8 ^{b,c}
	18.4 32.9	0.9 2.0	27.6 51.7	979.1 2031.3	764.0 1855.6	0.76 0.91	92.0 147.5
SŞE	27.1 ± 4.7	1.4 ± 0.3	36.5 ± 8.5 ^b	1315.9 ± 310.0 ^b	1119.6 ± 288.1 ^b	0.85 ± 0.05*	111.8 ± 18.8 ^{b,c}
	20.5 37.2	1.1 1.8	28.8 59.3	921.1 2026.7	824.7 1880.9	0.77 0.93	95.1 156.4
PDE	26.0 ± 5.5	1.3 ± 0.3	32.6 ± 5.5	1175.1 ± 193.5	999.1 ± 160.0	0.86 ± 0.04*	102.8 ± 14.1
	19.1 37.7	1.0 1.9	27.5 47.4	901.4 1579.2	792.0 1351.5	0.78 0.91	85.8 134.3
ADE	25.9 ± 4.7	1.3 ± 0.3	33.4 ± 5.9 ^a	1252.6 ± 272.4	1051.1 ± 214.1 ^a	0.84 ± 0.04	104.0 ± 14.5
	19.6 33.4	1.0 1.8	26.9 49.0	945.5 1937.9	855.4 1624.3	0.78 0.91	87.0 135.2

*, Yağ_{Maks} testinden anlamlı farklılık (p<0.05)

a, SŞE'den anlamlı farklılık (p<0.05)

b, PDE'den anlamlı farklılık (p<0.05)

c, ADE'de ölçülen kalp atım sayısına göre anlamlı farklılık (p<0.05)

5. TARTIŞMA

Yağ_{Maks} kavramı, maksimum yağ oksidasyonunun gerçekleştiği egzersiz şiddetini tanımlamak için ilk olarak 2001 yılında Achten ve Jeukendrup tarafından öne sürülmüştür⁽⁴⁸⁾. Egzersizde substrat oksidasyonunun indirekt yöntemlerle tespit edilmesi, sportif performansın değerlendirilmesi, metabolik hastalıkların yorumlanması, kilo kontrolü, farklı egzersiz protokollerinin ve bireysel faktörlerin substrat oksidasyonu üzerine etkisi ile ilgili çalışmalarının ortaya çıkmasına olanak sağlamıştır.

Özdemir ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği bir çalışmada, Yağ_{Maks} şiddetinde yapılan uzun süreli egzersizde, yağ oksidasyon hızının egzersizin başlamasından sonraki ilk 16 dakika içerisinde anlamlı olarak azaldığı gösterilmiştir⁽⁹⁾. Bu noktadan hareketle yağ oksidasyonunun azalmasının durduğu sürede verilecek dinlenmenin ardından aynı şiddette egzersizin tekrarlanması ile kurgulanabilecek bir interval egzersiz modelinin, sabit şiddetli egzersize göre toplam yağ oksidasyon miktarını artırabileceği düşünülmüştür. Dolayısıyla bu çalışmanın amacı, Yağ_{Maks} şiddetinde gerçekleştirilen sabit ve farklı interval egzersizlerin toplam yağ oksidasyonu üzerine olan etkilerini araştırmaktır.

Çalışmanın en önemli bulgusunu sabit ve interval egzersizlerinde gözlenen zirve yağ oksidasyon değerlerinin bu egzersizlere referans olan Yağ_{Maks} testinin zirve değerlerinden anlamlı yüksek bulunması oluşturmaktadır. Ayrıca egzersizlerin başlangıç döneminde gözlenmiş olan bu zirve değerlere geri kalan sürede ulaşamamış olması da bir diğer önemli bulgu olarak karşımıza çıkmaktadır. Son olarak, farklı egzersiz türleri arasında tüm egzersiz süresinde gözlenen toplam yağ oksidasyon miktarları arasında anlamlı fark bulunamamıştır.

Bu çalışmanın en önemli bulgusunu oluşturan sabit ve interval egzersizlerde gözlenen zirve yağ oksidasyon değerlerinin Yağ_{Maks} testindeki değerlerden anlamlı olarak yüksek bulunması, egzersizin başlangıç döneminde solunum gazlarının eş zamanlı dengeye gelememesi ile izah edilebilir. Egzersizin başlangıç döneminde ilk anda oluşan enerji ihtiyacı ekstrasellüler ya da intrasellüler substratlar (karbonhidratlar ve yağlar) yerine fosfokreatinden karşılanmaktadır. Egzersizin akut dönemindeki oluşan hiperkalemiyi inceleyen bir çalışmada kas hücresinde fosfokreatinin negatif yükünün,

hücre içi potasyum iyonları ile dengelenmekte olduğu bildirilmiştir. Enerji ihtiyacının karşılanması için fosfokreatinin hidrolize olduğu, akut egzersize yanıt döneminde hücrenin negatif yükünü dengelemek için gerekli olan katyon miktarı azalmaktadır. Hücre içinde derişimi artan potasyum plazmaya aktarılır. Plazmada gözlenen potasyum artışı ise plazma bikarbonatının artışıyla stokiometrik olarak ilişkilendirilmiştir. Bikarbonat derişimindeki akut artış ile geçici bir alkaloz tablosunun oluşabileceği sonucuna varmışlardır. Bu durum ise karbondioksit çıkışını geciktirebileceği şeklinde yorumlanabilmektedir^(49, 50).

Egzersize verilen akut solunumsal yanıtların incelendiği bir çalışmada, egzersiz başlangıcında oksijen alımı ve karbondioksit üretimi ile bu değişkenlerde gözlenen farklılıkların kaynağı irdelenmiştir. Çalışmada, karbondioksit üretiminin dengeye ulaşma süresinin oksijen tüketimine göre daha yavaş gerçekleştiği tespit edilmiştir. Dengeye ulaşma sürelerindeki bu farklılığın RQ değerlerini belirgin miktarda düşürdüğü gösterilmiştir. Çalışmada, RQ değerinin ilk dakikada en düşük seviyesine ulaştığı ve ancak üç dakika sonunda karbondioksitin dengelendiği bildirilmiştir⁽⁵¹⁾. Egzersizin erken döneminde, başta CO₂ olmak üzere solunum gazlarının geç dengeye gelmesi, solunum gazlarından dolayı olarak hesaplanan “substrat oksidasyon” düzeylerinin hatalı olarak yorumlanabilmesine yol açabilir. Substrat oksidasyon düzeylerinin hesaplanmasında kullanılan Frayn’ın stokiyometrik denklemi⁽⁴⁴⁾, ölçülen RQ değerine dayanmaktadır. RQ değerlerindeki CO₂’nin gecikmesinden kaynaklanan düşüş ise hesaplanmanın yapıldığı dönemde metabolik harcamanın yağlar lehine yönelim göstermesi şeklinde yorumlanabilir.

Karbondioksit kinetiği, egzersizin başlangıç sürecinde daha önce bahsedilen mekanizmadan dolayı daha yavaş dengeye ulaşmaktadır. İş şiddetinin belirli aralıkla artış gösterdiği testlerde ilk yüklemede yukarıda tartışılmış nedenlerden dolayı karbondioksit geç dengeye gelebilmekte, bu durumda da RQ değeri olması gerekenden daha düşük tespit edilebilmektedir. İlk yüklemeden sonraki yüklemelerde ise hücre içi fosfokreatin ile birlikte hücre içi ve hücre dışı substratların kullanılıyor olması, RQ değerinde karbondioksitin geç dengeye gelmesinden kaynaklanan düşüşleri azaltacaktır. Bu sebeple egzersizin başlangıcında görülen yüksek yağ oksidasyon değerleri ile karşılaşılabilir. Nitekim durağan halden iş yükünün artırıldığı ve düşük iş yükünden, iş yükünün artırıldığı iki farklı durumun karşılaştırıldığı bir çalışmada, hareketin devam ettiği bir

durumda meydana gelen iş yükü artışında karbondioksitin çok daha hızlı dengeye geldiği gösterilmiştir⁽⁵²⁾. Bu nedenle ikinci yüklemeden sonra, oksijen ve karbondioksit kinetiklerinde gözlenen uyumsuzluk azalacak ve sonucunda RQ değerinin düşmesinden kaynaklanan yüksek yağ oksidasyon hızı değerleri gözlemlenmeyecektir. Bu mekanizma ile, aktif dinlenmeli egzersizde RQ değerinin neden düşmediğini açıklanabilmektedir. Diğer yandan hareketsiz halden iş yükünün arttığı durumda karbondioksitin geç dengeye gelme durumu, egzersizin sonlandırıldığı noktadan istirahat denge koşullarına dönüşte de gözlemlenmiştir. Buna göre işin sonlandırılmasının ardından karbondioksit oksijene göre daha geç başlangıç düzeyine dönmektedir⁽⁵²⁾. Dinlenme dönemlerinin pasif bir şekilde oturarak gerçekleştirildiği pasif dinlenmeli interval egzersizlerinde yağ oksidasyon düzeyinin ardışık yüklemelerde artış göstermemesi, dinlenme döneminde karbondioksitin başlangıç düzeyine dönememiş olması ile açıklanabilir.

Farklı egzersiz protokollerinde gözlenen ortalama yağ oksidasyon hızları arasında anlamlı farklılık bulunamamıştır. Literatürde bulunan çalışmalarda, Yağ_{Maks} şiddetinde yapılan sabit şiddetli egzersizler, yüksek yoğunluklu ve orta yoğunluklu interval egzersizlerin yağ oksidasyon hızları arasında anlamlı fark olmadığı gösterilmiştir⁽⁵³⁻⁵⁵⁾. Başka bir çalışmada ise dayanıklılık sporu yapan katılımcıların, 8 kilometrelik koşuyu bireysel VO_{2Maks}'lerinin % 56'sı (anaerobik eşiğin % 70'i) veya % 78,5'inde (anaerobik eşiğin % 95'i) tamamlamaları istenmiştir. Çalışmada koşuyu yüksek şiddette tamamlayan katılımcıların enerji tüketim miktarlarının arttığı gösterilmiştir. Ancak yağ oksidasyon miktarlarında anlamlı farklılık oluşmamıştır⁽⁵⁶⁾. Tüm bu çalışmalara bakıldığında, egzersizlerin, orta-yüksek şiddetli, sabit ya da interval tarzda yapılması sonucunda toplam enerji tüketim miktarının değişebildiği, ancak yağ oksidasyon hızının ise sabit kalacağı sonucuna varılmaktadır.

Tüm test süresince gerçekleşen substrat oksidasyonu karşılaştırıldığında, aktif dinlenmeli egzersizde gözlenen değerlerin, sabit şiddetli egzersiz ve pasif dinlenmeli interval egzersizde gözlenen değerlere göre anlamlı miktarda yüksek olduğu bulunmuştur (Şekil-37, Şekil-38). Ancak aktif dinlenmeli egzersiz protokolünde gözlenen yüksek substrat oksidasyon miktarları egzersiz protokolünün dinlenme periyodunda, diğer egzersiz protokollerinin aynı periyoduna göre daha fazla enerji harcanmasından kaynaklanmaktadır. Bu protokolda dinlenmenin aktif hareketle yaptırılması enerji tüketimini anlamlı miktarda artmasına yol açmaktadır.

Bu çalışmada pasif dinlenmeli egzersizde ölçülen ortalama oksijen alımı, karbondioksit üretimi, dakika ventilasyon ve kalp atım hızı değerlerinin, Yağ_{Maks} ve sabit şiddetli egzersiz testlerine göre anlamlı miktarda düşük olduğu gözlemlenmiştir. Katılımcılar bu protokolde, egzersize dinlenim durumundan başlamıştır. Dolayısıyla her bir intervalde gözlenen akut fizyolojik yanıtların, dinlenim ya da dinlenime yakın değerlerden başlayarak yükselmesi o intervalde gözlenen değerlerin ortalamasının aşağıya çekilmesine neden olmaktadır. Buna bağlı olarak da pasif dinlenmeli egzersizdeki değerler ortalamaları diğer egzersiz biçimlerinden daha düşük tespit edilmiştir.

Literatüre bakıldığında, Yağ_{Maks} şiddetinde yapılan kronik egzersizlerin yağ yakımını arttırdığı⁽⁵⁷⁾, lipid profilini olumlu etkilediği^(5, 6), mitokondriyal yağ oksidasyonunu arttırdığı⁽⁶⁾ ve inflamasyonu azalttığı⁽⁵⁸⁾ söylenebilmektedir. Yağ oksidasyonunun arttırılmasını hedefleyen farklı egzersiz çalışmalarında çoğu egzersiz protokolünün, yağ oksidasyonu üzerinde olumlu etkileri olduğu bildirilmiştir^(6, 57, 59-61).

Farklı egzersiz protokollerinin, toplam yağ oksidasyon miktarlarını değiştirmediği gözlemlenmiştir. Ancak bu egzersiz protokollerine verilecek kronik yanıtların nasıl olacağı bilinmemektedir. Uzun vadeli araştırmalar, bu egzersizlerin kilo yönetimi ve metabolik sağlık üzerindeki potansiyel faydalarını daha iyi anlamamıza yardımcı olabilir.

6.SONUÇ VE ÖNERİLER

Egzersiz başlangıç döneminde gözlenen yüksek yağ oksidasyon hızları solunum gazlarının dengeye gelme sürelerindeki farklılıktan kaynaklanabilmektedir. Bu sebeple egzersiz başlangıcında gözlenen solunumsal yanıtlar daha detaylı incelenmelidir.

Çalışmamızda zirve yağ oksidasyon hızının, VO_{2Maks} 'ın % 44'ünde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bireylerin en yüksek yağ oksidasyonuna ulaşacağı bu şiddette yapılacak olan egzersizler ile yağ kütlesinin azalacağı öngörülmektedir.

Egzersiz sırasında yağ oksidasyon miktarı, uygulanan farklı protokollere göre büyük değişiklikler göstermeyebilir. Ancak, aktif olarak kalınan sürenin uzaması, toplam enerji harcaması ve dolayısıyla yağ ve karbonhidrat gibi enerji substratlarının daha fazla tüketilmesini sağlar. Bu nedenle, kilo verme sürecinde günlük aktif kalma süresinin artırılması, harcanan enerji miktarını yükselterek vücutta daha fazla yağın okside edilmesine katkıda bulunabilir. Bu durum, özellikle uzun süreli düşük-orta şiddette yapılan aktivitelerin kilo kaybı üzerindeki olumlu etkilerini vurgular.

Farklı egzersiz protokollerinin, toplam yağ oksidasyon miktarlarını değiştirmediği gözlemlenmiştir. Ancak bu egzersiz protokollerine verilecek kronik yanıtların nasıl olacağı bilinmemektedir. Uzun vadeli araştırmalar, bu egzersizlerin kilo yönetimi ve metabolizma üzerindeki potansiyel faydalarını daha iyi anlamamıza yardımcı olabilir.

KAYNAKLAR

1. **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(3):209-214.
2. **William D. McArdle, FIK, Victor L. Katch.** Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins, **2015**:Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance. p.
3. **Brun, J-F, Myzia J, Varlet-Marie E, Raynaud de Mauverger E, Mercier J.** Beyond the Calorie Paradigm: Taking into Account in Practice the Balance of Fat and Carbohydrate Oxidation during Exercise? *Nutrients* **2022**; 14(8).
4. **Brooks, GA, Mercier J.** Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the "crossover" concept. *J Appl Physiol (1985)* **1994**; 76(6):2253-2261.
5. **Brun, JF, Romain AJ, Mercier J.** Maximal lipid oxidation during exercise (Lipoxmax): From physiological measurements to clinical applications. Facts and uncertainties. *Science & Sports* **2011**; 26(2):57-71.
6. **Bordenave, S, Metz L, Flavier S, Lambert K, Ghanassia E, Dupuy AM, Michel F, Puech-Cathala AM, Raynaud E, Brun JF, Mercier J.** Training-induced improvement in lipid oxidation in type 2 diabetes mellitus is related to alterations in muscle mitochondrial activity. Effect of endurance training in type 2 diabetes. *Diabetes & Metabolism* **2008**; 34(2):162-168.
7. **Achten, J, Jeukendrup AE.** Optimizing fat oxidation through exercise and diet. *Nutrition* **2004**; 20(7-8):716-727.
8. **Meyer, T, Gässler N, Kindermann W.** Determination of "Fatmax" with 1 h cycling protocols of constant load. *Appl Physiol Nutr Metab* **2007**; 32(2):249-256.
9. **Özdemir, Ç, Özgönen K, Günaştı Ö, Eryılmaz SK, Kılıcı A, Kurdak SS.** Changes in substrate utilization rates during 40 min of walking within the Fatmax range. *Physiol Int* **2019**; 106(3):294-304.

10. **Smith, CM.** Second edition ed, Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, **2005**:Mark's basic medical biochemistry : a clinical approach.
11. **David L. Nelson, MMC, Aaron A. Hoskins.** New York, NY: Macmillan Learning, **2021**:Lehninger principles of biochemistry. p.
12. **Hall, JE.** *Textbook of medical physiology*. Thirteenth edition. ed, Philadelphia, PA: Elsevier, **2016**:Guyton and Hall textbook of medical physiology. p.
13. **Vasudevan, D, Sreekumari S, Kannan V.** New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers, **2013**:Textbook of BIOCHEMISTRY for Medical Students. 7th edition. p.
14. **Abali, EE, Cline SD, Franklin DS, Viselli S, Ferrier DR.** *Lippincott illustrated reviews*, Philadelphia: Wolters Kluwer, **2022**:Lippincott Illustrated Reviews: Biochemistry. p.
15. **Botham, KM, Mayes PA.**Lipids of Physiologic Significance. editor^editors, *Harper's Illustrated Biochemistry, 32nd Edition*, New York, NY: McGraw Hill Education, **2023**: p.
16. **Litwack, G.**Chapter 7 - Glycogen and Glycogenolysis. editor^editors, *Human Biochemistry*, Boston: Academic Press, **2018**: p. 161-181.
17. **Kennelly, PJ, Kathleen M. Botham, Owen P. McGuinness, Victor W. Rodwell, and P. Anthony Weil.,** 32nd Edition ed, New York: McGraw Hill, **2023**:Harper's Illustrated Biochemistry. p.
18. **Champe, PC, Harvey RAPD.** Third edition ed, Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins **2005**:Lippincott's Illusturated Reviews: Biochemistry. p.
19. **Baynes, JW, Dominiczak MH.** Fourth edition ed, Edinburgh: Saunders Elsevier, **2014**:Medical biochemistry. p.
20. **Wagenmakers, AJ, Beckers EJ, Brouns F, Kuipers H, Soeters PB, van der Vusse GJ, Saris WH.** Carbohydrate supplementation, glycogen depletion, and amino acid metabolism during exercise. *Am J Physiol* **1991**; 260(6 Pt 1):E883-890.

21. **Hargreaves, M, Spriet LL.** Skeletal muscle energy metabolism during exercise. *Nature Metabolism* **2020**; 2(9):817-828.
22. **Glancy, B, Balaban RS.** Energy metabolism design of the striated muscle cell. *Physiological Reviews* **2021**; 101(4):1561-1607.
23. **Farrell, PA, Joyner MJ, Caiozzo VJ, American College of Sports M.** 2nd ed, Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins, **2012**:ACSM's advanced exercise physiology. p.
24. **Bhagavan, NV, Ha C-E.**Chapter 19 - Contractile Systems. editor^editors, *Essentials of Medical Biochemistry (Second Edition)*, San Diego: Academic Press, **2015**: p. 339-361.
25. **Katch, V, McArdle WD, Katch F.****2013**:Essentials of exercise physiology: Fourth edition. p. 1-699.
26. **Bhagavan, NV, Ha C-E.**Chapter 13 - Electron Transport Chain, Oxidative Phosphorylation, and Other Oxygen-Consuming Systems. editor^editors, *Essentials of Medical Biochemistry (Second Edition)*, San Diego: Academic Press, **2015**: p. 187-204.
27. **Bhagavan, NV, Ha C-E.**Chapter 12 - Carbohydrate Metabolism I: Glycolysis and the Tricarboxylic Acid Cycle. editor^editors, *Essentials of Medical Biochemistry (Second Edition)*, San Diego: Academic Press, **2015**: p. 165-185.
28. **Bhagavan, NV, Ha C-E.**Chapter 16 - Lipids I: Fatty Acids and Eicosanoids. editor^editors, *Essentials of Medical Biochemistry*, San Diego: Academic Press, **2015**: p. 191-207.
29. **Yartsev, A.** Endocrinology Metabolism and Nutrition
Eriřim:(<https://derangedphysiology.com/main/required-reading/endocrinology-metabolism-and-nutrition/Chapter%20318/physiological-adaptation-prolonged-starvation>) **2015**.Eriřim tarihi: 07.09.2024
30. **Possik, E, Al-Mass A, Peyot M-L, Ahmad R, Al-Mulla F, Madiraju SRM, Prentki M.** New Mammalian Glycerol-3-Phosphate Phosphatase: Role in β -Cell, Liver and Adipocyte Metabolism. *Frontiers in Endocrinology* **2021**; 12.

31. **Wasserman, K, Hansen J, Sue DY, Stringer W, Sietsema K, Sun X-G, Whipp BJ.** fifth ed**2011**:Principles of exercise testing and interpretation: Including pathophysiology and clinical applications: Fifth edition. p. 1-592.
32. **Hargreaves, M, Spriet LL.** Exercise Metabolism: Fuels for the Fire. *Cold Spring Harb Perspect Med* **2018**; 8(8).
33. **Robinson, SL, Chambers ES, Fletcher G, Wallis GA.** Lipolytic Markers, Insulin and Resting Fat Oxidation are Associated with Maximal Fat Oxidation. *Int J Sports Med* **2016**; 37(8):607-613.
34. **Alghannam, AF, Ghaith MM, Alhussain MH.** Regulation of Energy Substrate Metabolism in Endurance Exercise. *Int J Environ Res Public Health* **2021**; 18(9).
35. **Westerblad, H, Bruton JD, Katz A.** Skeletal muscle: Energy metabolism, fiber types, fatigue and adaptability. *Experimental Cell Research* **2010**; 316(18):3093-3099.
36. **Koeppen, BM.** Elsevier (A Division of Reed Elsevier India Pvt. Limited), **2008**:Berne & Levy Physiology (6Th Edition). p.
37. **Powers, SK, Howley ET.** *Exercise Physiology: Theory and Application to Fitness and Performance, 10e*, New York, NY: McGraw-Hill Education, **2018**: p.
38. **Boron, WF, Boulpaep EL.** Elsevier Health Sciences, **2016**:Medical Physiology E-Book. p.
39. **Rhoades, R, Bell DR.** 5th edition - International edition ed, Philadelphia: Wolters Kluwer, **2017**:Medical Physiology : principles for clinical medicine. p.
40. **Hackney, AC.**Chapter 4 - Measurement Techniques for Energy Expenditure. editor^editors, *Exercise, Sport, and Bioanalytical Chemistry*: Elsevier, **2016**: p. 33-42.
41. **Koeppen, BM, Stanton BA, Levy MN, Berne RM.** Seventh edition ed, Philadelphia, PA: Elsevier, **2018**:Berne & Levy physiology. p.

42. **Eston, RG, Reilly T.** 3rd ed, Abingdon, Oxon: Routledge, **2009**:Kinanthropometry and exercise physiology laboratory manual : tests, procedures and data. Volume 1, Anthropometry. p.
43. **Simopoulos, AP, Van Itallie TB.** Body weight, health, and longevity. *Ann Intern Med* **1984**; 100(2):285-295.
44. **Frayn, KN.** Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* **1983**; 55(2):628-634.
45. **ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing.** *Am J Respir Crit Care Med* **2003**; 167(2):211-277.
46. **Chrzanowski-Smith, OJ, Edinburgh RM, Betts JA, Stokes KA, Gonzalez JT.** Evaluation of a graded exercise test to determine peak fat oxidation in individuals with low cardiorespiratory fitness. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* **2018**; 43(12):1288-1297.
47. **Jones, AM, Poole DC.** Oxygen uptake dynamics: from muscle to mouth--an introduction to the symposium. *Med Sci Sports Exerc* **2005**; 37(9):1542-1550.
48. **Jeukendrup, A, Achten J.** Fatmax: A new concept to optimize fat oxidation during exercise? *European Journal of Sport Science - EUR J SPORT SCI* **2001**; 1.
49. **Wasserman, K, Stringer WW, Casaburi R, Zhang YY.** Mechanism of the exercise hyperkalemia: an alternate hypothesis. *J Appl Physiol (1985)* **1997**; 83(2):631-643.
50. **Ward, A, Guluzade N, Kowalchuk J, Keir D.** Coupling of VE and VCO₂ kinetics: insights from multiple exercise transitions below the estimated lactate threshold. *European Journal of Applied Physiology* **2022**.
51. **Chuang, ML, Ting H, Otsuka T, Sun XG, Chiu FY, Beaver WL, Hansen JE, Lewis DA, Wasserman K.** Aerobically generated CO₂ stored during early exercise. *J Appl Physiol (1985)* **1999**; 87(3):1048-1058.
52. **Whipp, BJ, Ward SA.** Physiological determinants of pulmonary gas exchange kinetics during exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise* **1990**; 22(1).

53. **Astorino, TA, Edmunds RM, Clark A, Gallant R, King L, Ordille GM, Heath B, Montell M, Bandong J.** Change in maximal fat oxidation in response to different regimes of periodized high-intensity interval training (HIIT). *Eur J Appl Physiol* **2017**; 117(4):745-755.
54. **Alkahtani, S.** Comparing fat oxidation in an exercise test with moderate-intensity interval training. *J Sports Sci Med* **2014**; 13(1):51-58.
55. **İpekoğlu, G, Balci S.** Comparison between continuous and intermittent submaximal exercise at the intensity of maximal fat oxidation. *Journal of Human Sciences* **2016**; 13:4604.
56. **Rosenberger, F, Meyer T, Kindermann W.** Running 8000 m fast or slow: Are there differences in energy cost and fat metabolism? *Med Sci Sports Exerc* **2005**; 37(10):1789-1793.
57. **Venables, MC, Jeukendrup AE.** Endurance training and obesity: effect on substrate metabolism and insulin sensitivity. *Med Sci Sports Exerc* **2008**; 40(3):495-502.
58. **Ben Ounis, O, Elloumi M, Zouhal H, Makni E, Denguezli M, Amri M, Lac G, Tabka Z.** Effect of individualized exercise training combined with diet restriction on inflammatory markers and IGF-1/IGFBP-3 in obese children. *Ann Nutr Metab* **2010**; 56(4):260-266.
59. **Lanzi, S, Codecasa F, Cornacchia M, Maestrini S, Capodaglio P, Brunani A, Fanari P, Salvadori A, Malatesta D.** Short-term HIIT and Fat max training increase aerobic and metabolic fitness in men with class II and III obesity. *Obesity (Silver Spring)* **2015**; 23(10):1987-1994.
60. **Tan, S, Wang J, Cao L, Guo Z, Wang Y.** Positive effect of exercise training at maximal fat oxidation intensity on body composition and lipid metabolism in overweight middle-aged women. *Clin Physiol Funct Imaging* **2016**; 36(3):225-230.
61. **Besnier, F, Lenclume V, Gérardin P, Fianu A, Martinez J, Naty N, Porcherat S, Boussaid K, Schneebeli S, Jarlet E, Hatia S, Dalleau G, Verkindt C, Brun JF, Gonthier MP, Favier F.** Individualized Exercise Training at Maximal Fat Oxidation Combined with Fruit and Vegetable-Rich Diet in Overweight or Obese Women: The LIPOXmax-Réunion Randomized Controlled Trial. *PLoS One* **2015**; 10(11):e0139246.

EKLER

EK-1 AYDINLATILMIŞ ONAM FORMU

Çukurova Üniversitesi

Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı Spor Fizyolojisi Bilim Dalı

Maksimal Yağ Oksidasyon Şiddetinde Yapılan Farklı Egzersiz Biçimlerinin Toplam Yağ Oksidasyonuna Etkisi

Dinlenim Metabolizma Hızı ve Yağ Oksidasyon Hızı Ölçümü

Onam Formu

Yapılacak olan çalışma, Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı Egzersiz Fizyolojisi Bilim Dalı tarafından gerçekleştirilecektir. Çalışma dahilinde, davet edileceğiniz ilk gün fizik muayeneden sonra, vücut yüzde yağ ve kas oranlarının tespiti için hem elektronik tartı aleti hem de manuel yöntemlerle vücudunuzun belirli bölgelerinden çap ve çevre ölçümleri yapılacaktır.

Çap ve çevre ölçümlerinin ardından sizden bir yatağa uzanmanız istenecek ve baş – boyun bölgenizi içerisine alacak bir fanusun içerisinde rahat bir şekilde nefes alıp vermeniz istenecektir. Bu ortamdaki solunum havanızdan alınacak olan gaz örneklerinden metaboliz hızınız hesaplanacaktır. Bu ölçüm yatay pozisyonda ve tam dinlenim halinde 20 dakika kadar sürecektir.

Dinlenim metabolizmanısının ölçümünü takiben maksimal yağ oksidasyon hızınızın ölçümü için size bir egzersiz testi uygulanacaktır. Test, koşu bandı üzerinde yapılacak olup uygulama sırasında yüzünüzde bir maske takılı olacaktır. Aynı zamanda göğüs kafesinizin altına sarılan bir bant aracılığı ile kalp atım sayınız takip edilecektir.

Başlangıçta çok hafif olan temponuz giderek artacaktır. Solunum gazlarınızdan yağ oksidasyon miktarınız anlık olarak hesaplanacaktır. Yağ oksidasyonunuzun en yüksek noktaya ulaşmasının ve sonrasında azalarak sıfır değerine ulaşmasının ardından test sonlandırılacaktır. Bu durumun haricinde arzu ettiğiniz zaman test sonlandırılabilir. Uygulama sırasında baş dönmesi, denge kaybı hissi, göğüs ağrısı, bacaklarda ağrı ya da aşırı yorgunluk veya testi devam ettiremeyeceğinizi hissettiğinizde test yapılan koşu bandının hemen sağında bulunan kırmızı butona

basarak testi istediğiniz anda durdurabilirsiniz. Teste bağlı olarak 10.000’de 1 ila 4 oranında istenmeyen etkiler ortaya çıkabilmektedir. Testin bitiminden hemen sonra yavaş tempoda birkaç dakika daha yürümeniz önerilmektedir.

Çalışmanın hiçbir aşaması için sizden bir ücret talep edilmeyecek. sağlık sigorta kurumunuz üzerinden işlem yapılmayacaktır. Yukarıda bahsi geçen ölçümlerin tamamı Çukurova Üniversitesi Sağlıklı Yaşam ve Spor Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi’nde yapılacaktır.

Katılımcı imza:

Sonuçlar öncelikle bilimsel amaçla kullanılacak. kişisel bilgileriniz gizli tutulacak. sorun saptanması halinde durum size bildirilecek ve alınması gereken önlemler konusunda ayrıntılı bilgilendirme yapılacaktır. Parasal bir bedel ödemenizi gerektirmeyen ve size de bir ödeme yapılması söz konusu olmayan bu çalışmaya katılmama ve katıldıktan sonra çekilme hakkınız bulunmaktadır. Ek bilgi talebiniz olursa sözlü olarak karşılanacaktır.

Araştırmamıza katılmayı kabul ediyorsanız. lütfen aşağıdaki bölüme adınızı-soyadınızı yazıp tarih ve imza atınız. Teşekkür ederiz.

Yukarıda yazılanları okudum ve ayrıntılı olarak bilgilendirildim. Bu testi istediğim zaman sonlandırabileceğimi ve bundan dolayı herhangi bir sorunla karşılaşmayacağımı biliyorum. Yukarıda bahsedilen ölçümlerin yapılabilmesi için gerekli onayı veriyorum.

Katılımcı adı-soyadı:

Tarih:

İmza:

Doktorun İmzası:

Tanık:

EK-2 ETİK KURUL ONAY FORMU

T.C. ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ GİRİŞİMSSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU

Toplantı Sayısı		Tarih
134		2 Haziran 2023

KARAR NO 48- Fizyoloji Anabilim Dalı'nda, Prof. Dr. Kerem Özgünen yönetiminde, Araş. Gör. Dr. Özgür Günaştı ve Prof. Dr. S. Sadi Kurdak'ın katkılarıyla, Araş. Gör. Ertuğrul Gezgin, tarafından yürütülmesi öngörülen, "Maksimal Yağ Oksidasyon Şiddetinde Yapılan Farklı Egzersiz Biçimlerinin Toplam Yağ Oksidasyonuna Etkisi" başlıklı yüksek lisans tez projesi araştırma etiği yönünden değerlendirildi. Toplantıya katılan üyelerin oybirliğiyle uygun olduğuna karar verildi.

BAŞKAN	Prof Dr Selim Kadioğlu Tıp Tarihi ve Etik Anabilim Dalı	
ÜYELER	Prof Dr Davut Alptekin Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı	
	Prof Dr Dinçer Yıldızdaş Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı	
	Prof Dr Gülşah Seydaoğlu Biyoistatistik Anabilim Dalı	
	Prof Dr Gürhan Sakman Genel Cerrahi Anabilim Dalı	
	Doç Dr Zehra Hatipoğlu Anesteziyoloji ve Reanimasyon Anabilim Dalı	
	Doç Dr Yasemin Saygıdeğer Göğüs Hastalıkları Anabilim Dalı	
	Av Simay Sönmezates Hukukçu Üye	
	Dr Neşe Kayrın Kurum Dışı Üye	

Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Dekanlık Binası, Balcalı 01330 Adana
Telefon: 0322 338 60 60 dahili 3465, Faks: 0322 338 67 22

ÖZGEÇMİŞ

Ertuğrul GEZGİN [REDACTED] doğdu. Doğu Akdeniz Üniversitesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon bölümünden 2018 yılında mezun oldu. 2019 yılında Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji AD’da yüksek lisans eğitimine başladı. 2022 yılında Çukurova Üniversitesi’nde araştırma görevlisi kadrosuna atandı.

