

**T.C.
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AKTİF ÇOCUKLARDA FAZ AÇISI İLE AEROBİK VE
ANAEROBİK GÜÇ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Olgun Can ALTUNKAN

**Hareket ve Antrenman Bilimleri
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

ANKARA

2025

**T.C.
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AKTİF ÇOCUKLARDA FAZ AÇISI İLE AEROBİK VE
ANAEROBİK GÜÇ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Olgun Can ALTUNKAN

**Hareket ve Antrenman Bilimleri
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Tahir HAZIR**

**ANKARA
2025**

ONAY SAYFASI**AKTİF ÇOCUKLARDA FAZ AÇISI İLE AEROBİK ve ANAEROBİK GÜÇ ARASINDAKİ
İLİŞKİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ****OLGUN CAN ALTUNKAN****PROF. DR. TAHİR HAZİR**

Bu tez çalışması 3.11.2025 tarihinde jürimiz tarafından "Hareket ve Antrenman Bilimleri Programı" nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: *Prof. Dr. Ayşe KİN İŞLER*
Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi

Tez Danışmanı: *Prof. Dr. Tahir HAZİR*
Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi

Üye: *Prof. Dr. Şükrü Alpan CİNEMRE*
Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi

Üye: *Prof. Dr. Fırat AKÇA*
Ankara Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi

Üye: *Dr. Öğr. Üyesi Süleyman BULUT*
Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri tarafından uygun bulunmuştur. **18 Kasım 2025**

Prof. Dr. Müge YEMİŞÇİ ÖZKAN
Enstitü Müdürü

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H.Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir. ⁽¹⁾
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ... ay ertelenmiştir. ⁽²⁾
- Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. ⁽³⁾

...../...../2025

Arş. Gör. Olgun Can ALTUNKAN

i

¹“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”

(1) Madde 6. 1. Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.

(2) Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.

(3) Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, tezin yapıldığı kurum tarafından verilir *. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, ilgili kurum ve kuruluşun önerisi ile enstitü veya fakültenin uygun görüşü üzerine üniversite yönetim kurulu tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.

Madde 7.2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir

* Tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu tarafından karar verilir.

ETİK BEYAN

Bu çalışmadaki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında özgün olduğunu, Prof. Dr. Tahir HAZIR danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.

Olgun Can ALTUNKAN

TEŞEKKÜR

Bu zorlu süreçte desteğini her zaman hissettiğim ve akademik bilgeliğinin yanı sıra bu dünyada az rastlanan hoşgörü ve anlayışıyla bana güç veren sevgili danışmanım Prof. Dr. Tahir HAZIR'a

Verilerin toplanması sürecinde göstermiş olduğu özveri ve anlayış sebebiyle değerli hocam Arş. Gör. Yunus Emre EKİNCİ'ye

Kritik noktalardaki desteği ile çalışmanın gidişatına önemli katkılar sağlayan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Ayşe KİN İŞLER'e

Doğduğum günden beri her zaman yanımda olan biricik annem Serap MALÇOK'a

Hayatımın her aşamasında bana arkadaşlık eden kardeşim Bilgesu EKİM'e ve varlığıyla etrafa mutluluk saçan yeğenim Ada Leyla EKİM'e

Göstermiş oldukları özveri ve çaba ile bu araştırmanın ilerlemesinde en önemli rolü oynayan minik katılımcılarıma ve velilerine

Bugün olduğum insanı ortaya çıkartan bilgi ve tecrübeleri kazanmamı sağlayan bütün hocalarıma

Ve son olarak, yalnız gecelerde bilimin ışığını bütün zorluklara rağmen aramayı asla bırakmayan kendime

En içten teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Altunkan, O. C., Aktif Çocuklarda Faz Açısı ile Aerobik ve Anaerobik Güç Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Hareket ve Antrenman Bilimleri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2025. Bu çalışma, fiziksel olarak aktif sağlıklı çocuklardan oluşan bir popülasyon üzerinde faz açısı (FA) ile aerobik ve anaerobik güç arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Araştırmaya yüzme sporuyla müsabık olarak uğraşan ve haftada en az 3 defa düzenli antrenman yapan 31 erkek çocuk (yaş = $10,23 \pm 0,88$ yıl, vücut ağırlığı = $40,41 \pm 9,89$ kg, boy uzunluğu = $145,48 \pm 6,85$) katılmıştır. Araştırma kapsamında katılımcılardan FA, aerobik ve anaerobik güce ilişkin veriler toplanmıştır. FA ölçümleri 50 kHz frekansta elden-ayağa tüm vücut biyoelektrik impedans yöntemi ile belirlenmiştir. Aerobik güç, indirekt kalorimetrik yöntemle $VO_{2\text{zirve}}$ değerleri olarak ölçülmüştür. Anaerobik güç değerlendirmesinde Wingate Anaerobik Tesi'nde mekanik güç çıktıları mutlak zirve güç (MZG), mutlak ortalama güç (MOG), relatif zirve güç (RZG) ve relatif ortalama güç (ROG) olarak değerlendirilmiştir. FA ile aerobik ve anaerobik güç arasındaki ilişkinin değerlendirilmesinde Pearson Korelasyon Katsayısı kullanılmıştır. FA ile relatif $VO_{2\text{zirve}}$ arasında bir ilişki gözlenmemiştir ($r = 0,094$, $p = 0,632$). Mutlak $VO_{2\text{zirve}}$ ile FA arasında zayıf bir ilişki saptanmıştır ($r = 0,383$, $p = 0,045$) ancak bu ilişki biyolojik olgunlaşma durumuna göre kontrol edildiğinde anlamlılığını yitirmiştir ($r_k = 0,136$, $p = 0,500$). RZG ve ROG değişkenleri ile FA arasında biyolojik olgunlaşma durumundan bağımsız orta düzeyde anlamlı ilişkiler bulunmuştur (sırasıyla $r = 0,499$, $p = 0,004$ ve $r = 0,550$, $p = 0,001$). İstatistiksel analizler MZG ve MOG değişkenleri ile FA arasında tespit edilen anlamlı ilişkilerin (sırasıyla: $r = 0,484$, $p = 0,006$ ve $r = 0,546$, $p = 0,001$), MZG'de biyolojik olgunlaşma durumundan etkilendiği görülmüştür ($r_k = 0,352$, $p = 0,056$). Bu çalışmanın bulguları fiziksel olarak aktif erkek çocuklarda FA ile anaerobik güç arasında diğer değişkenlerden bağımsız bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Biyoelektrik impedans analizi, faz açısı, aerobik güç, anaerobik güç, çocuk

ABSTRACT

Altunkan, O. C., Evaluation of the Relationship Between Phase Angle and Aerobic and Anaerobic Power in Active Children, Hacettepe University Graduate School of Health Sciences, M. Sc. Thesis in Movement and Training Sciences, Ankara, 2025. The purpose of this study is to evaluate relationships between phase angle (PhA) and aerobic and anaerobic power in a population of physically active healthy children. This study was conducted with 31 boys who were competitive swimmers and trained regularly at least three times a week (age = 10.23 ± 0.88 years, body weight = 40.41 ± 9.89 kg, height = 145.48 ± 6.85 cm). Data on PhA, aerobic power, and anaerobic power were collected from the participants. PhA measurements were determined with the whole-body bioelectrical impedance method from hand to foot at a frequency of 50 kHz. Aerobic power was measured by the indirect calorimetric method and expressed as VO_{2peak} values. Mechanical power outputs using the Wingate Anaerobic Test were collected as absolute peak power (APP), absolute average power (AAP), relative peak power (RPP), and relative average power (RAP) for the assessment of anaerobic power. Pearson Correlation Coefficient was used to evaluate the relationship between PhA and aerobic and anaerobic power. No relationship was observed between PhA and relative VO_{2peak} ($r = 0.094$, $p = 0.632$). A weak relationship was found between absolute VO_{2peak} and PhA ($r = 0.383$, $p = 0.045$), but this relationship lost significance after being adjusted for biological maturation ($r_p = 0.136$, $p = 0.500$). Statistically significant relationships independent of biological maturation were found with moderate effect sizes between RPP and RAP variables and PhA ($r = 0.499$, $p = 0.004$, and $r = 0.550$, $p = 0.001$, respectively). Analyses showed that the significant relationships detected between APP and AAP variables and PhA ($r = 0.484$, $p = 0.006$, and $r = 0.546$, $p = 0.001$, respectively) were affected by the biological maturation status in the APP variable ($r_p = 0.352$, $p = 0.056$). The results of this study showed a relationship between PhA and anaerobic power in physically active male children, independent of other variables.

Key Words: Bioelectrical impedance analysis, phase angle, aerobic power, anaerobic power, children

İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI	iii
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI	iii
ETİK BEYAN	iv
TEŞEKKÜR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
TABLolar	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Amacı	3
1.2. Problemler	3
1.2.1. Alt Problemler	4
1.3. Hipotezler	4
1.4. Sınırlılıklar	4
1.5. Sayıtlar	4
1.6. Araştırmanın Önemi	4
2. GENEL BİLGİLER	6
2.1. Aerobik Güç	6
2.1.1. Aerobik Gücün Tanımı, Sınıflandırılması ve Etkileyen Faktörler	7
2.1.2. Aerobik Güç ve Sağlık	8
2.1.3. Aerobik Güç ve Sportif Performans	9
2.1.4. Aerobik Güç Ölçüm Yöntemleri	11
2.1.5. Çocuklarda Aerobik Güç	12

2.2. Anaerobik Güç	15
2.2.1. Anaerobik Enerji Metabolizması ve Etkileyen Faktörler	16
2.2.2. Anaerobik Güç ve Sağlık	17
2.2.3. Anaerobik Güç ve Sportif Performans	19
2.2.4. Anaerobik Güç Ölçüm Yöntemleri	21
2.2.5. Çocuklarda Anaerobik Güç	23
2.3. Biyoelektrik İmpedans Yöntemi ve Prensipleri	26
2.3.1. Faz Açısı	27
2.3.2. Faz Açısının Fizyolojik Anlamı ve Önemi	27
2.3.3. Faz Açısının Referans Değerleri	28
2.3.4. Faz Açısının Ölçülmesi	30
2.3.5. Faz Açısı ve Sağlık	32
2.3.6. Faz Açısı ve Sportif Performans	34
2.3.7. Faz Açısı ve Kas Kuvveti	35
2.3.8. Faz Açısı ve Aerobik Güç	37
2.3.9. Faz Açısı ve Anaerobik Güç	41
3. GEREÇ VE YÖNTEM	45
3.1. Araştırma Grubu	45
3.2. Veri Toplama Araçları	45
3.2.1. Stadiyometre	45
3.2.2. Oturma Boyu Tablası	46
3.2.3. Elektronik Baskül	46
3.2.4. Biyoelektrik İmpedans Analizörü	46
3.2.5. Elektronik Bisiklet Ergometresi	46
3.2.6. Mekanik Bisiklet Ergometresi	46
3.2.7. Gaz Analizörü	46

3.2.8. Kalp Atım Hızı Monitörü	46
3.2.9. Refraktormetre	46
3.3. Verilerin Toplanması	47
3.3.1. Antropometrik Ölçümler	47
3.3.2. Faz Açısı	48
3.3.3. Aerobik Güç	49
3.3.4. Anaerobik Güç (WAnT)	51
3.4. İstatistiksel Analiz	52
4. BULGULAR	53
4.1. Katılımcıların Fiziksel Özellikleri	53
4.2. Katılımcıların Biyolojik Olgunlaşma ve Faz Açısı Özelliklerine İlişkin Bulgular	54
4.3. Aerobik Güç Testinde Ölçülen $VO_{2\text{zirve}}$ Değerleri	54
4.4. Aerobik Güç, Faz Açısı ve Biyolojik Olgunlaşma Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi	55
4.5. WAnT Test Çıktıları	56
4.6. WAnT Test Çıktıları, Faz Açısı ve Biyolojik Olgunlaşma Arasındaki İlişkiler	57
5. TARTIŞMA	59
5.1. Faz Açısı İçin Normatif Değerler	59
5.2. Aerobik Güç İçin Normatif Değerler	60
5.3. Anaerobik Güç İçin Normatif Değerler	62
5.4. Faz Açısı ve Aerobik Güç İlişkisi	63
5.5. Faz Açısı ve Anaerobik Güç İlişkisi	67
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	73
6.1. Sonuç	73
6.2. Öneriler	74

7. KAYNAKÇA	76
8. EKLER	97
EK-1: Tez Çalışması İle İlgili Etik Kurul İzni	
EK-2: Çocuk için Aydınlatılmış Onam Formu	
EK-3: Anne, Baba veya Yasal Vasi İçin Aydınlatılmış Onam Formu	
EK-4: Turnitin Ekran Görüntüsü	
EK-5: Dijital Makbuz	
EK-6: İlk Ziyaret için Veri Toplama Formu	
EK-7: İkinci Ziyaret için Veri Toplama Formu	
9. ÖZGEÇMİŞ	116

SİMGELER VE KISALTMALAR

ADP	Adenozin Difosfat
ATP	Adenozin Trifosfat
AZD	Algılanan Zorluk Derecesi
BIA	Biyoelektrik İmpedans Analizi
FA	Faz Açısı
GA	Güven Aralığı
HDL	Yüksek Yoğunluklu Lipoproteinler
KAH	Kalp Atım Hızı
MOG	Mutlak Ortalama Güç
MZG	Mutlak Zirve Güç
R	Direnç
RAST	Anaerobik Sprint Koşusu Testi
ROG	Relatif Ortalama Güç
RZG	Relatif Zirve Güç
SDO	Solunum Değişim Oranı
SS	Standart Sapma
VCO ₂	Karbondioksit Üretimi
VKİ	Vücut Kütle İndeksi
VO ₂	Oksijen Tüketimi
VO _{2maks}	Maksimal Oksijen Tüketimi
VO _{2zirve}	Zirve Oksijen Tüketimi
VYY	Vücut Yağ Yüzdesi
WAnT	Wingate Anaerobik Güç Testi
Xc	Reaktans
Yİ	Yorgunluk İndeksi
Z	İmpedans
ZBUH	Zirve Boy Uzama Hızı

TABLOLAR

Tablo	Sayfa
4.1. Katılımcıların fiziksel özelliklerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler.	53
4.2. Katılımcıların biyolojik olgunlaşma düzeyleri ve faz açısı değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler ve Pearson korelasyon analizi.	54
4.3. Aerobik güç Testinde ölçülen $VO_{2\text{zirve}}$ değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler.	57
4.4. $VO_{2\text{zirve}}$ testinde ölçülen aerobik güç çıktıları ve faz açısı arasındaki ilişkilere ait Pearson korelasyon analizi ve biyolojik olgunlaşmanın kontrol değişkeni olarak belirlendiği kısmi korelasyon analizi sonuçları.	56
4.5. WAnT'ta ölçülen güç çıktılarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler.	57
4.6. WAnT'ta ölçülen güç çıktıları ve faz açısı arasındaki ilişkilere ait Pearson korelasyon analizi ve biyolojik olgunlaşmanın kontrol değişkeni olarak belirlendiği kısmi korelasyon analizi sonuçları.	58

1. GİRİŞ

Biyoelektrik impedans analizi (BIA), insan vücudunun elektriksel özelliklerine bağlı olarak vücut kompozisyonunu değerlendiren basit ve invaziv olmayan, hem laboratuvar hem de sahada yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (1). BIA, direnç (R) ve reaktanstan (X_c) oluşan insan vücudunun iç direncini ölçer (2). BIA teknikleri, düşük maliyetleri, taşınabilirlikleri, kullanım kolaylıkları ve radyasyona maruz kalınmaması nedeniyle vücut kompozisyonunu tahmin etmek için sıkça kullanılmaktadır (3). Bununla beraber vücut kompozisyonun ve beslenme dahil genel sağlık durumunun değerlendirilmesi ve izlenmesinde denklem ya da tahmin modeli kullanmaksızın doğrudan BIA'dan elde edilen ham verilerin (R, X_c ve impedans (Z)) kullanımı gittikçe artmaktadır. Vücut kompozisyonu ve klinik değerlendirmeler için BIA'dan elde edilen ham verilere ait temel impedans parametresi, faz açısıdır (FA). Vücuttan geçen alternatif elektrik akımı ve voltajın sinüzoidal dalgaları arasındaki açısal kayma (faz farkı/gecikme) FA olarak tanımlanır (4). FA, hücre içi ve hücre dışı sıvının dağılımıyla ilgilidir ve hücre zarlarının lipid içeriğine göre değişir ve yaşla birlikte düşme eğilimindedir (5). Klinik olarak çocuklarda yetersiz beslenme, vücuttaki potasyum seviyesi ve iltihap gibi bazı durumları tespit etmede FA'nın kullanımı oldukça yaygındır (6-8). Pediatrik popülasyonda bu gibi sağlıkla ilişkili durumların olumsuz sonuçları nedeniyle yüksek değer atfedilen önemli olan bir hücresel sağlık biyobelirtecidir (9). Bu alanda çocuklar üzerinde yapılan çalışmalar, çoğunlukla farklı hastalık türleri ve FA arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Örneğin, Zamberlan vd. (10) çocuklarda FA ile hastalık ve ölüm arasındaki ilişkiyi inceledikleri çalışmada daha yüksek FA'ya sahip çocukların hayatta kalma ihtimallerinin daha yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır. Siroz hastalığında FA ve sarkopeninin değerlendirilmesini inceleyen başka bir çalışma, FA'nın iskelet kası indeksi ile karşılaştırılabilir sonuçlar doğurduğunu göstermiştir (11).

Yapılan çalışmalar FA'nın, farklı sağlık koşullarına sahip bireylerde kas gücüyle doğrudan ilişkili olduğunu ve kas kalitesini kolayca ölçmek için bir indeks olarak faydasını da öne sürmektedir (12, 13). Dahası, aerobik güç ile arasında ilişki olduğunu gösteren kanıtlar da mevcuttur (14). Maksimal Oksijen Tüketimi olarak ölçülen aerobik güç literatürde VO_{2maks} ya da VO_{2zirve} olarak adlandırılır ve sıklıkla

birbiri yerine kullanılır (15). $VO_{2\text{zirve}}$ aerobik süreçlerin şiddetine atıf yapan bir kavram olmakla birlikte, çoğu araştırmacı tarafından bir organizmanın aerobik gücünün en iyi belirleyicisi ve aynı zamanda bir sporcunun fiziksel kapasitesinin de en iyi göstergesi olarak kabul edilmektedir (16, 17). Buna rağmen, FA ile $VO_{2\text{zirve}}$ arasındaki ilişkiyi çocuklarda ortaya koymayı amaçlayan çalışma sayısı çok azdır. Laboratuvar ortamlarında, gaz analizörü kullanılarak tükenene kadar artan egzersiz testi sırasında yapılan $VO_{2\text{maks}}$ değerlendirmesi, sağlıklı bireylerde kardiyorespiratuar performansı değerlendirirken altın standart olarak kabul edilir (18, 19). Bu gibi değerlendirmelerin, 8 yaş kadar genç popülasyonlar olmak üzere geniş bir yelpazede kullanımı uygundur ve literatürde bunun örnekleri yaygındır (20, 21). Gaz analizörü yardımıyla indirekt kalorimetrik yöntem ile yürütülen çalışmalar, daha yüksek FA değerlerinin, hasta popülasyonlarda daha iyi fiziksel uygunluk ile ilişkili olduğunu göstermektedir (22, 23). Benzer bir ilişkinin sportif performans yönünden doğası merak konusu olmaya devam etmektedir. BIA'dan elde edilen yüksek FA değerleri, daha iyi düzeyde fiziksel aktiviteyle ilişkilendirilmiştir (24). Yine de var olan çalışmalar genç sporcuların aerobik güçleriyle FA arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için yeterli değildir (25). Bunun en önemli sebebi, çocuklar üzerinde indirekt kalorimetrik yöntem ile belirlenen aerobik güç ve FA arasındaki ilişkiyi inceleyen bir çalışmanın daha önce yapılmamış olmasıdır.

Literatür, çocuklarda FA ile anaerobik güç arasındaki ilişkinin incelenmesi yönünden oldukça sınırlıdır. Ancak FA ile farklı sportif performans parametreleri arasındaki ilişki incelenirken bu özelliğin dahil edilmelisi gerekir çünkü birçok bireysel ve takım sporu etkinliği, $VO_{2\text{maks}}$ ile ilişkili hız veya gücün üzerinde uzun süreli hareket etmeyi gerektirir (26). Bu gibi durumlarda, egzersiz şiddeti ve dolayısıyla enerji ihtiyacı arttıkça anaerobik güç çıktıları aktif rol oynamaya başlar (27). Anaerobik gücün araştırma ortamlarında belirlenmesinde, bu metabolik sürecin doğasına bağlı olarak kısa süren ancak maksimal efor gerektiren ve çoğunlukla koşu bandı ya da bisiklet ergometresi kullanılan çalışma dizaynları kullanılmaktadır. Bu testlerden en yaygını, bisiklet ergometresi kullanılarak farklı güç çıktılarının ölçülmesine olanak sağlayan Wingate Anaerobik Testi'dir (WAnT) ve bu test, anaerobik gücün tutarlı ve geçerliliği yüksek bir belirleyicisidir (28). WAnT, küçük

çocuklar ve fiziksel geriliği olanlarda dahil, çeşitli popülasyonlar tarafından uygulanması uygun, girişimsel olmayan ve masrafsız bir yöntemdir (29, 30).

Bu araştırmada, FA ile aerobik ve anaerobik güç arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için yüzme sporuyla uğraşan bir popülasyon seçilmesinde bazı gerekçelere dayanılmıştır. Bunlardan ilki, yüzme sporunun diğer spor branşlarına kıyasla çok daha erken özelleşilen, performans beklentileri genç yaşta yüksek olan bir spor dalı olmasıdır. Bunun sonucunda sporcular, erken yaştan itibaren antrenman etkisine maruz kalmaktadırlar (31). Çocuk yaşta olsa dahi antrenman etkisine uzun süredir maruz kalmakta olan bireylerin aerobik ve anaerobik güç değerlerine erişmek, düzenli şekilde gerçekleştirilen egzersizin FA üzerindeki etkilerini anlamak için değerli görülen bir değişkendir. Yüzme sporunun uygunluğuna katkı sağlayan bir diğer gerekçe ise, yüzme sporunda düşük-orta şiddetli aerobik antrenmanlar yaygın olarak VO_{2maks} ve kasın oksidatif kapasitesini artırmak için çalışılırken (32); aynı zamanda anaerobik gücü geliştirmede yüksek şiddetli antrenman metodları da sıkça uygulanmaktadır (33). FA ile aerobik ve anaerobik güç arasındaki ilişkinin anlaşılması, hastalık ve sağlık sorunlarını tespit etme ve değerlendirmede uzun zamandır kullanılan bu yöntemin sportif performans anlamında masrafsız ve kolay bir yöntem olarak kullanılıp kullanılamayacağını ortaya koyma potansiyeline sahiptir. Özellikle çocuklarda bu ilişki incelenirken, FA'yı etkilediği literatürde önceki çalışmalarda gösterilmiş olan olgunlaşma düzeyi de göz ardı edilmemelidir (34). Bu gibi bir değişkeni değerlendirmek için zirve boy uzama hızı (ZBUH) kavramı literatürde farklı şekillerde kullanılmaktadır ve özellikle genç sporcular düşünüldüğünde değerlendirilmesi gereken önemli bir bileşendir (35).

1.1. Araştırmanın Amacı

Bu doğrultuda araştırmanın amacı, fiziksel olarak aktif sağlıklı çocuklardan oluşan bir popülasyon üzerinde FA ile aerobik ve anaerobik güç arasındaki ilişkiyi incelemektir.

1.2. Problemler

1. Aktif çocuklarda faz açısı ve aerobik ve anaerobik güç arasında ilişki var mıdır?

1.2.1. Alt Problemler

1. Aktif çocuklarda faz açısı ve $VO_{2\text{zirve}}$ arasında ilişki var mıdır?
2. Aktif çocuklarda faz açısı ve zirve güç arasında ilişki var mıdır?
3. Aktif çocuklarda faz açısı ve ortalama güç arasında ilişki var mıdır?
4. Aktif çocuklarda faz açısı ve yorgunluk indeksi arasında ilişki var mıdır?

1.3. Hipotezler

1. Aktif çocuklarda faz açısı ve $VO_{2\text{zirve}}$ arasında ilişki vardır.
2. Aktif çocuklarda faz açısı ve zirve güç arasında ilişki vardır.
3. Aktif çocuklarda faz açısı ve ortalama güç arasında ilişki vardır.
4. Aktif çocuklarda faz açısı ve yorgunluk indeksi arasında ilişki vardır.

1.4. Sınırlılıklar

1. Bu çalışma 9-12 yaşındaki erkek çocukları ile sınırlıdır.
2. Aerobik güç $VO_{2\text{zirve}}$ ile sınırlıdır.
3. Anaerobik güç Wingate Anaerobik Testi çıktıları ile sınırlıdır.

1.5. Sayıtlar

1. Çalışmaya dahil edilen katılımcıların süreç boyunca kendilerinden istenen tüm bilgileri (doğum tarihi, antrenman geçmişi, sağlık durumu, vb.) doğru bir şekilde beyan ettikleri varsayılmıştır.
2. Çalışma katılımcılarının araştırmanın gerekliliklerine (laboratuvar ziyaretlerinden önceki gün kafein ya da kafeinli besin ve içecek tüketilmemesi, yüksek şiddetli egzersiz yapılmaması, vb.) uygun davrandıkları varsayılmıştır.

1.6. Araştırmanın Önemi

Günümüzde sağlık ve fiziksel performans arasındaki ilişkinin doğasını anlamak bilimsel araştırmalar için gittikçe artan bir öneme sahiptir. İyi bir fiziksel

performans sergileyebilmek için sağlıklı olmak, sağlıklı olmak ve bunu sürdürebilmek içinse iyi bir fiziksel performans düzeyine sahip olmak gerekmektedir. BIA ile ölçülen FA değerleri sağlık alanında birçok farklı amaç için kullanılan ve hastalık durumlarında kritik öneme sahip bir özelliktir. Son yıllarda yapılan çalışmalar sağlık yönünden prognostik bir araç olarak rolü on yıllardır kanıtlanmış olan FA'nın fiziksel performans ile direkt bir ilişki içerisinde olduğuna dair kanıtlar sunmaktadır. Ancak fiziksel performansın önemli bileşenleri olarak kabul edilen aerobik ve anaerobik güç ile FA arasındaki ilişkinin incelendiği çalışmalar çok sınırlı sayıdadır. FA ile fiziksel performans ilişkisini ortaya koymayı amaçlayan çalışmalar son yıllarda hız kazanmakla birlikte literatürde aerobik güç için altın standart olarak görülen indirekt kalorimetrik yöntem daha önce çocuklarda FA ile aerobik güç arasındaki ilişki incelenirken kullanılmamıştır. Benzer şekilde anaerobik güç değerlendirmesi için önemli bir araç olarak kabul edilen WAnT çıktıları ile FA arasındaki ilişki de çocuklarda değerlendirilmemiştir. Bu sebeple FA'nın fiziksel performans anlamında rolünü ya da fiziksel performansın FA üzerindeki etkilerinin tam anlamıyla ortaya koyulabilmesi için doğru, tutarlı ve tekrarlanabilir sonuçlar gerektiği açıktır. Yapılan bu çalışma, çocuklarda FA ile aerobik ve anaerobik güç arasındaki ilişki hakkında mevcut bilgi eksikliğini gidermeyi amaçlamaktadır. Elde edilen bulgular FA'nın fiziksel performansa ve bu sayede spor bilimleri alanına hangi yönden katkı sağlayabileceğini göstermesi açısından önemlidir. Ayrıca bu araştırma, daha yüksek FA değerlerinin sağlık yönünden olumlu sonuçlar doğurduğu bilinen durumlarda daha iyi anaerobik güç çıktılarına ulaşmaya yönelik egzersiz müdahalesi yaklaşımlarının oluşturulmasına yönelik kuramsal bir çerçeve oluşturma potansiyeline de sahiptir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Aerobik Güç

Aerobik güç veya maksimal oksijen tüketimi (VO_{2maks}), oksijen taşıma sisteminin durumuna ilişkin kaba bir ölçüm sağlar ve oksijenin alınmasının (pulmoner), taşınmasının (kardiyovasküler) ve kullanılmasının (kas) işlevsel sınırlarını yansıtır (36). Vücutta enerji olarak kullanılması için adenosin trifosfat (ATP) molekülünün sentezlenmesi, adenosin difosfat (ADP) molekülünün fosforile olmasıyla gerçekleşir ve bu süreç oksidatif fosforilasyon olarak adlandırılır (37, 38). Organizmanın atmosferik oksijeni kullanımı oksijen taşıma zincirine bağlı olarak gerçekleşmektedir (39). İnsan fizyolojisi açısından oksijen taşınması, konveksiyon yoluyla gerçekleşen ve difüzyon yoluyla gerçekleşen olmak üzere ikiye ayrılabilir (40). Konveksiyon enerji gerektiren aktif bir süreçtir ve atmosfer havasının akciğerlere alınması ya da oksijenlenen kanın kalp tarafından pompalanması süreçlerini içerir (40, 41). Difüzyon ise, oksijenin bir konsantrasyon gradyanı boyunca, örneğin akciğerlerden alveoler kılcal damarlara ya da mikrosirkülasyondan dokulara doğru pasif hareketini tanımlar (40, 41). Oksijen taşıma sistemi ise, bu süreçleri açıklamak için kullanılan kapsayıcı bir olgu olarak karşımıza çıkmaktadır (41). Akciğerlerde oksijen molekülü kana geçerken karbondioksitin atılması, alveoller ve kılcal damarlar arasında sağlanmaktadır ve bu değişim süreci pulmoner difüzyon olarak tanımlanmaktadır (42). Bu süreçler, VO_{2maks} anlamında pulmoner bileşenin rolünü özetlemektedir. VO_{2maks} ile ilgili daha önce bahsedilen kardiyovasküler bileşen, pulmoner difüzyon sonrası oksijenlenmiş kanın önce sol atriuma gelmesi ve buradan sol ventriküle geçerek kalpteki kasların kasılmasıyla dokulara gönderilmesini ifade eder (43). Bu noktada, kalp kasının farklı özelliklerine (kontraktilite, ön yükleme, son yükleme) bağlı olarak dakikadaki atım hacmi ve sıklığının bir ifadesi olan kardiyak çıktıdan söz edilir (44). Kardiyak çıktı, elde edilen VO_{2maks} değerleri arasındaki farkı çoğunlukla açıklamakta olan ana bileşen olarak görülmektedir (45). VO_{2maks} ölçümleri için gerekli maksimal egzersiz testleriyle tutarlılık gösterecek şekilde kas bileşeni, çoğunlukla iskelet kasları açısından değerlendirilmektedir. Egzersizde önemli bir yere sahip iskelet kasları metabolik açıdan çok aktiftirler (46). Dolayısıyla ATP'nin oksidatif fosforilasyon yoluyla yeniden sentezi için oksijen, yüksek enerji ihtiyacı olan

ve vücut kütlelerinin büyük bir kısmından sorumlu iskelet kası dokularına (47), miyoglobin proteini tarafından ulaştırılmaktadır. Bunun olabilmesi, miyoglobin proteininin oksijen molekülüne afinitesinin oksijeni kanda taşıyan hemoglobin proteini akranına karşı daha yüksek olmasıyla sağlanır (48). Bahsedilen fizyolojik süreçler kanın oksijen molekülü yönünden doygunluğa ulaşması ve daha sonra vücutta dolaşarak gerekli dokular tarafından kullanılması olarak görülmektedir. Bu durumun yarattığı arteriyo-venöz oksijen farkı, doku oksijen ekstraksiyonu ve kullanımının kaba bir göstergesi olarak kabul edilir ve egzersiz yapan kasın oksidatif fonksiyonunu yansıtır (49). Oksijen kullanımını tahmin yöntemi olarak geliştirilen Fick Denklemi, oksijen tüketiminin kardiyak çıktı ve arteriyo-venöz oksijen farkının çarpımı tarafından belirlendiğini öne sürmektedir (50). Arterio-venöz oksijen farkı, doğrudan iskelet kası tarafından kullanılan oksijenle ilişkili olduğu için, iskelet kas sisteminin VO_{2maks} üzerindeki önemini göstermektedir.

2.1.1. Aerobik Gücün Tanımı, Sınıflandırılması ve Etkileyen Faktörler

VO_{2maks} , kas kütlelerinin önemli bir bölümünü içeren egzersiz sırasında belirli bir süre içinde vücut tarafından tüketilen en yüksek oksijen miktarıdır (36). Günümüzde aerobik güç olarak nitelendirilen VO_{2maks} kavramı, organizmanın oksijeni dokulara ne kadar verimli bir şekilde taşıyabildiği ve kullanabildiğinin bir göstergesi olarak performansın değerlendirilmesinde isabetli bir yöntem olarak görülmektedir (51). VO_{2maks} olarak ölçülen özellik temelde birkaç bileşene ayrılabilir; akciğerlerden alınan havadaki oksijenin çoğunlukla kırmızı kan hücrelerinde bulunan hemoglobin tarafından taşınması, oksijenlenen kanın kalp tarafından damarlar aracılığı ile dokulara gönderilmesi, gönderilen oksijenin fiziksel aktivite sırasında çoğunlukla kas dokuları tarafından kullanılması. Pulmoner sistem, VO_{2maks} 'ı etkileyen sınırlayıcı bir faktör olarak görülmemektedir. Bunun sebebi, pulmoner sistemin solunum ve gaz değişimi talepleri için gerekenden çok daha yüksek bir kapasiteye sahip olmasından kaynaklanmaktadır (52). Kardiyak çıktı, antrenmana bağlı olarak kalp kasında meydana gelen hipertrofi sonucu artabilir (53). Kardiyak çıktı ile VO_{2maks} arasında doğrusal bir ilişki vardır ve bu sebeple daha yüksek kardiyak çıktı değerlerinin VO_{2maks} anlamında olumlu olduğu düşünülmektedir (54). Oksijen kullanımının en yoğun olduğu iskelet kası dokularının toplam miktarı da oksijen tüketimi değerlerini

etkilemektedir. Bu doğrultuda egzersiz tipinin (örneğin; bisiklet ya da koşu) önemli olduğu söylenebilir çünkü hareket şekline bağlı olarak daha fazla kasın dahil olduğu egzersiz türleri daha yüksek oksijen tüketimi değerlerini beraberinde getirmektedir (55). Örneğin, koşu egzersizi sırasında belirlenen VO_{2maks} değerlerinin bisiklettekilere kıyasla % 10-15 yüksek olduğunu söylemek mümkündür (56). Genetik özellikler ve bireysel farklılıklar da (cinsiyet, yaş, antrenman, çevre, vb.) VO_{2maks} özelliği üzerinde etkili olabilir (51). 2010 yılında yapılan bir çalışmada binlerce yıldır çok yüksek rakımlarda yaşamını sürdüren Tibet halkında, kandaki oksijen miktarını arttırmaya yönelik olarak hemoglobin proteininin daha verimli olmasını sağlayan çok sayıda genetik varyasyon olduğu rapor edilmiştir (57). Ayrıca cinsiyet farkının da oksijen kinematikleri üzerinde etkili olduğunu gösteren çalışmalar vardır (58).

2.1.2. Aerobik Güç ve Sağlık

Fiziksel aktivite sırasında oksijen sağlama yeteneği olarak tanımlanan fiziksel uygunluğun sağlıkla ilgili bir bileşeni olan kardiyovasküler uygunluk, genellikle koşu bandı ya da bisiklet ergometresi kullanılarak yapılan egzersiz testleriyle ölçülen VO_{2maks} olarak ifade edilir (59). Yapılan araştırmalar, düşük kardiyovasküler uygunluğun her türlü ölüm ve kardiyovasküler hastalığın bağımsız bir öngörücüsü olduğunu ortaya koymaktadır (60). Laukkanen vd. (61) yaptıkları çalışmada, sigara içmenin ve en yüksek oksijen tüketimi değerlerinin mortalite için en güçlü iki bağımsız ve tutarlı risk öngörücüsü olduğunu göstermişlerdir. Araştırmacılar, VO_{2zirve} 'deki $3,5 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ artışın koroner kalp hastalığı olan erkeklerde ölümcül olmayan ve olan riskin sırasıyla % 18 ve % 32 azalmasıyla ilişkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Dahası akciğer hastalığı, diyabet ve anormal istirahat durumları gibi diğer kardiyovasküler hastalık durumları söz konusu olduğunda da, yüksek VO_{2zirve} değerlerinin benzer risk azalmalarıyla sonuçlandığı açıklanmıştır. Bir başka çalışmada Sui vd. (62), kadın ve erkek katılımcıların kardiyovasküler uygunluk durumları ve ölümcül olmayan kardiyovasküler hastalıklar arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Bu kapsamlı çalışmada, 20.728 erkek ve 5.909 kadın olmak üzere toplam 26.637 katılımcının verileri değerlendirilmiş ve elde edilen bulgular kadın ve erkeklerde kardiyovasküler uygunluk ile kardiyovasküler hastalıklar arasında istatistiksel olarak anlamlı ve ters bir ilişki olduğunu göstermiştir. Ancak tespit edilen bu ilişkiler yaş,

sigara içme, alkol alma ve aile geçmişi gibi ortak değişkenler hesaba katılarak yapılan analizler sonrası erkeklerde anlamlılığını korumaya devam ederken kadınlarda yitirmiştir. Ortak değişkenler hesaba katıldıktan sonra erkeklerde orta düzeyde kardiyovasküler uygunluğa sahip olmak kardiyovasküler hastalık riskini % 18 oranında azaltırken, yüksek düzeyde kardiyovasküler uygunluğa sahip olmanın % 39 oranında düşürdüğü görülmüştür. Son olarak, koroner kalp hastalığına sahip bireyler üzerinde yapılan bir çalışmada araştırmacılar, kardiyopulmoner egzersiz testi ile ölçülen $VO_{2\text{zirve}}$ değerleri ile kardiyovasküler sebeplerden ölüm ya da herhangi bir sebepten ölüm riski arasındaki ilişkiyi ortaya koymayı amaçlamışlardır (63). Çalışma sonucunda elde edilen bulgular doğrultusunda araştırmacılar, cinsiyetten bağımsız olarak $VO_{2\text{zirve}}$ değerlerindeki $1 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ artışın hem tüm nedenlere bağlı, hem de kardiyovasküler hastalıklara özgü ölüm riskini yaklaşık olarak % 15 oranında azalttığını göstermişlerdir. Sağlık alanında $VO_{2\text{maks}}$ 'ın önemine ilişkin yapılan çalışmalar ölüm riski ve özellikle kardiyovasküler hastalıklar konusunda kanıta dayalı pek çok ilişki ortaya koysa da bu durumun altında yatan mekanizmalar tartışma konusu olmaya devam etmektedir. Bu konuya açıklık getirmeyi amaçlayan bir derleme çalışmasında araştırmacılar konuya birkaç farklı perspektiften yaklaşmışlardır. Örneğin, daha önce yapılan çalışmalarda aynı vücut kütle indeksine sahip ancak fiziksel uygunluk bakımından yeterliliği yüksek bireylerin daha düşük iç organ yağlanmasına sahip olduğu ve bu durumun $VO_{2\text{maks}}$ 'ın karın bölgesinde daha az yağlanma yoluyla vücut kütle indeksi ile ilişkili sağlık risklerini iyileştiriyor olabileceği tartışılmıştır (64). Dahası, $VO_{2\text{maks}}$ antioksidan enzim etkinliğini koruyarak oksidatif strese karşı aracılık edebileceği gibi, vücut kompozisyonundan bağımsız olarak daha az inflamasyon yoluyla tüm nedenlere bağlı ölüm riskini azaltıyor olabilir (64).

2.1.3. Aerobik Güç ve Sportif Performans

$VO_{2\text{maks}}$ olarak tanımlanan aerobik güç, yaşlılar ve kardiyovasküler ya da akciğer hastalıkları olan kişilerde $20 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ 'nin altından, elit dayanıklılık sporcularında $80 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ 'nin üzerindeki değerlere kadar değişmektedir (65). İyi bir dayanıklılık performansı için yüksek bir $VO_{2\text{maks}}$ gerekmektedir ancak tek başına dayanıklılık performansını tahmin etmek için yeterli değildir (66). Koşu, bisiklet ve

yüzme gibi spor dalları çoğunlukla dayanıklılık özelliği ile ilişkilendirilse de, dayanıklılık gerektiren diğer sporlar arasında kürek, kano, kros kayağı ve sürat pateni gibi örnekler de yer alabilir (67). Dayanıklılık sporlarında gerekli olan yüksek çalışma kapasitelerini sürdürebilmek için iyi bir oksidatif mekanizmaya ihtiyaç olduğu düşünüldüğünde, elit dayanıklılık sporcularında yüksek VO_{2maks} değerleri gözlenmesi ve VO_{2maks} ile dayanıklılık performansı arasında olumlu ilişkiler gösteren çalışmalar olması şaşırtıcı değildir (68). Örneğin, yapılan bir çalışmada McLaughlin vd. (69) VO_{2maks} ve benzer şekilde dayanıklılık performansı ile ilişkili olduğu düşünülen diğer bazı değişkenler ile koşu sırasında dayanıklılık performansı arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. İyi antrenmanlı 10 erkek ve 7 kadın uzun mesafe koşucusundan elde edilen fizyolojik veriler ve zamana karşı 16 km koşu testi uygulamasından elde edilen performans çıktıları arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Elde edilen bulgular, bütün değişkenler arasında 16 km koşu performansının en önemli belirleyicisinin VO_{2maks} olduğunu ve 16 km koşu zamanındaki toplam varyansın % 90,2'sini tek başına açıkladığını göstermiştir. Elit erkek kros kayakçılarının performansını tahmin etmek için VO_{2maks} 'ın ölçeklendirilmesi amacıyla yapılan bir diğer çalışmada da Carlsson vd. (70), VO_{2maks} ve toplam yarış süresi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Oniki İsveçli erkek kros kayakçısının VO_{2maks} ölçümleri bir gaz analizörü yardımıyla indirekt kalorimetrik ölçüm şeklinde gerçekleştirilmiş ve yarış süreleri ise yetkili mercilerce sertifika ile onaylanmış bir rotada ölçülmüştür. Araştırmacılar elde ettikleri yarış sürelerini mutlak ve relatif VO_{2maks} değerleriyle arasındaki ilişki bakımından değerlendirdiklerinde, hem mutlak VO_{2maks} hem de relatif VO_{2maks} değerlerinin yarış süresi ile istatistiksel olarak negatif anlamlı bir ilişki içerisinde olduğunu ortaya koymuşlardır (sırasıyla: $r = -0,669$, $p = 0,017$ ve $r = -0,639$, $p = 0,025$). Bu durum, yarışı bitirme süresi düştükçe yani performans arttıkça daha yüksek VO_{2maks} değerleri gözlemlendiğine işaret etmektedir. Ehrström vd. (71) tarafından yakın zamanda yapılan bir çalışma ise, kısa mesafe patika koşusundaki (27 km) toplam yarışma süresi ve relatif VO_{2maks} değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde negatif bir ilişki olduğunu göstermektedir ($r = -0,76$). Araştırmacılar 9 erkekten oluşan tecrübeli ve üst düzey patika koşucularıyla çalışmayı yürütmüşlerdir. Koşu bandı üzerinde ve her nefeste ölçüm yapan bir gaz analizörü yardımıyla gerçekleştirilen maksimal bir test sırasında ölçümler sonucunda katılımcılara ilişkin VO_{2maks} verileri toplanmıştır.

VO_{2maks} verileri daha sonra vücut ağırlığına göre normalize edilerek relatif olarak incelenmiş ve patika koşusunu tamamlama süresi ile arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için istatistiksel olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular araştırmacılar tarafından önceki çalışmalarda raporlanan sonuçlardan daha düşük bir ilişki düzeyine işaret etse de, benzer şekilde relatif VO_{2maks} kavramının koşu performansı açısından önemli bir belirleyici olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Son olarak, orta düzeyde antrenmanlı erkek bireylerin yüksek şiddetli interval antrenman müdahalesinden sonra 3000m koşu performansları ve relatif VO_{2maks} değerlerindeki değişimleri inceleyen bir çalışmanın bulguları, uygulanan antrenman müdahalesinin incelenen her iki özellik için istatistiksel olarak anlamlı ve olumlu etkileri olduğunu ortaya koymaktadır (72). Hem 3000m koşu performansı hem de VO_{2maks} değerleri, 6 kişiden oluşan 2 farklı antrenman grubunda aynı egzersiz yöntemi ile uygulanmış ve herhangi bir uygulama yaptırılmayan kontrol grubuna (n = 5) kıyasla gerçekleşen değişimler raporlanmıştır. 10 hafta antrenman müdahalesine maruz bırakılan her 2 grupta da 3000m koşu performansı olarak değerlendirilen toplam koşu süresi düşmüş ve oksijen tüketimi koşu bandında telemetrik bir sistemle ölçülen katılımcıların VO_{2maks} değerleri yükselmiştir. Bu değişimler istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir. Antrenman müdahalesi uygulanan ilk grup için VO_{2maks} ve koşu performansındaki değişimler sırasıyla % 9,1 ve %-7,3 olarak gözlenirken ikinci grup için bu değişimler sırasıyla % 6,2 ve % -3,4 şeklinde gözlenmiştir. Bu çalışmanın bulguları, dayanıklılık performansı ile VO_{2maks} arasındaki ilişkiyi direkt olarak inceleyen ve anlamlı bir ilişkinin varlığına işaret eden diğer çalışmalarla uyum içindedir.

2.1.4. Aerobik Güç Ölçüm Yöntemleri

VO_{2maks}, bir kişinin egzersiz sırasında alabileceği en yüksek oksijen miktarı olarak tanımlanabilir ve oksijeni vücut dokularına taşıma kapasitesinin bir ölçüsüdür (73). Laboratuvarda gerçekleştirilen VO_{2maks} ölçümleri, artan egzersiz sırasında solunan havanın gaz analizörleri aracılığıyla analiz edilerek değerlendirilir ve kardiyopulmoner egzersiz testi adı altında bilimsel araştırmalar için altın standart olarak görülür (74, 75). VO_{2maks}'a ulaşıldığını doğrulamak için en çok dikkate alınan kriter, oksijen tüketimi değerlerinde bir düzleşme (plato) olmasıdır (75). Plato kavramının önemi, maksimal bir oksijen tüketimi çıktısına ulaşıldığını ifade etmesi

açısından gerekli görülmektedir. Bunun sebebi özellikle artan iş yüküne dayalı protokoller kullanıldığında belirginleşmektedir. Bu durumda plato kavramının dayandığı temel prensip, fizyolojik olarak daha fazla iş yapılmasına karşın oksijen tüketimi değerlerindeki artışın sonlanması ve bu sayede maksimal bir çıktıya ulaşıldığının kanıtlanmasından oluşmaktadır. Yine de araştırmalarda yer alan plato kriterlerinin standart olmadığı ve araştırmacılar tarafından farklı biçimlerde kullanılabildiği dikkate alınması gereken bir durumdur. Örneğin, egzersiz testinin son dakikasında elde edilen oksijen tüketimi değerlerindeki değişimin önceki dakikadan relatif olarak $2 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ (76) ya da $2,1 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ (70) daha az olması ve mutlak değişimin ise 100 ml.dk^{-1} (71) ya da 125 ml.dk^{-1} (77) daha az olması şeklinde değerlendirilebildiği görülebilmektedir. Plato kavramını somutlaştırmak için oksijen tüketimi değerlerine ilişkin regresyon modellerinden faydalanan bazı araştırmalar, kişiye özgü olacak şekilde daha isabetli çıkarımlar yapmayı da amaçlayabilmektedir (78). Ancak yetişkinler ve özellikle pediatrik popülasyonlarda $\text{VO}_{2\text{maks}}$ için önemli bir kriter olan oksijen tüketiminde plato çoğu zaman gözlenmemektedir (79). Plato yetişkinlerin yanı sıra çocuklarda ve ergenlerde de nadiren gözlemlendiğinden, ölçülen en yüksek $\text{VO}_{2\text{zirve}}$ değeri, aerobik uygunluğu tanımlamak için sıklıkla $\text{VO}_{2\text{maks}}$ ile birbirinin yerine kullanılmaktadır (15). $\text{VO}_{2\text{zirve}}$ değerleri araştırmalar için doğrulama yöntemleri uygulandığında gerçek bir $\text{VO}_{2\text{maks}}$ elde edildiği görüşünü desteklemektedir (80). Platonun görülmediği durumlarda kullanılan bazı ikincil kriterler şu değişkenlere bağlı olarak belirlenmektedir; teorik maksimal kalp atım hızı (220-yaş), solunum değişim oranı, kan laktat konsantrasyonu ve algılanan zorluk derecesi (AZD) (81). Bu kavramın literatürde değerlendirilebilmesi için somutlaştırmada kullanılan birçok indirekt ve direkt yöntem vardır. Buttar vd. (82), tarafından yapılan bir derleme çalışmasında, indirekt ölçümler için 20'den ve direkt ölçümler için kullanılan 10'dan fazla yöntem değerlendirilmiştir. Hem çocuklarda hem de yetişkinlerde koşu bandı ve bisiklet ergometrisi $\text{VO}_{2\text{maks}}$ ve $\text{VO}_{2\text{zirve}}$ 'nin belirlenmesinde en sık kullanılan 2 test yöntemidir (56).

2.1.5. Çocuklarda Aerobik Güç

Çocukluk dönemi için $\text{VO}_{2\text{maks}}$ değerlendirildiğinde, ortalama değerlerinin hem mutlak hem de relatif olarak kadınlara kıyasla erkeklerde her zaman daha yüksek

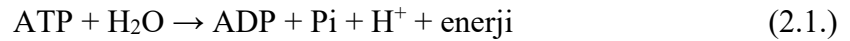
olduğu ve bu belirgin farkın ergenlik dönemiyle birlikte arttığı görülmektedir (83). On yaşındaki çocukların ortalama mutlak ve relatif VO_{2maks} değerleri için erkeklerde kadınlardan yaklaşık % 12 daha yüksek gözlenirken, Onsekiz yaşında ergenlik çağındaki kişiler açısından bakıldığında mutlak VO_{2maks} değerleri % 75 ve relatif VO_{2maks} değerleri % 25 ila % 30 daha yüksektir (83). Çocuklarda maksimal aerobik gücün gelişimsel bileşenlerine odaklanan bir meta-analiz çalışması kadın ve erkekler arasında VO_{2maks} değerleri bakımından gözlenen bu farkın antrenmanlı çocuklarda azaldığını ortaya koymuştur. Meta analizden elde edilen bulgular mutlak VO_{2maks} değerleri açısından cinsiyete bağlı farkın antrenmansız onaltı yaşındaki çocuklarda % 56, antrenmanlı çocuklarda % 24 olduğunu ve aynı duruma relatif VO_{2maks} değerleri için bakıldığında cinsiyete bağlı farkın antrenmansız çocuklarda % 32, antrenmanlı çocuklarda % 18 olduğunu göstermiştir (36). Bu bulgular çocuklarda VO_{2maks} 'ın egzersize bağlı fizyolojik stres durumlarından etkilendiğini ve antrenman yaparak geliştirilebileceğini göstermektedir. Düzenli egzersiz uygulamalarının çocuklarda fiziksel çalışma kapasitesi üzerindeki etkilerini inceleyen ilk çalışmalardan biri Gilliam ve Freedson (84) tarafından yürütülmüştür. Araştırmacılar 7-9 yaş arasında 23 çocuktan oluşan katılımcı grubuna 12 hafta ve haftada 4 seanstan oluşan bir fiziksel aktivite programı uygulanmıştır. Fiziksel çalışma kapasitesini uygulama öncesi ve sonrasında metabolik olarak değerlendirmek için açık devre spirometri teknikleri kullanmışlar ve böylece mutlak ve relatif VO_{2zirve} değerlerindeki değişimi belirlemişlerdir. Elde ettikleri bulgular, uygulanan fiziksel aktivite programının mutlak ya da relatif VO_{2maks} değerleri üzerinde herhangi bir etkisi olmadığını ortaya koymuştur. Araştırmacılar, çalışma gruplarındaki çocukların kronolojik yaşlarının o zamana kadar incelenen en genç araştırma gruplarından biri olduğunu ve yapılan başka çalışmalar karşısında gözlenen çelişkili bulguların biyolojik olgunlaşma durumu sebebiyle ortaya çıkmakta olabileceğini tartışmışlardır. Değerlendirilmesi gereken başka bir nokta, uygulanan antrenman yönteminin VO_{2maks} özelliğini geliştirmek için etkili olup olmadığıdır. Örneğin çocuklarla yapılan ve 8 hafta süren başka bir çalışmada, haftada 2 defa VO_{2maks} 'ın % 70-80 şiddetinde ve 2 defa VO_{2maks} 'ın %90-100 şiddetinde uyguladıkları 4 antrenmanın, VO_{2maks} 'da % 7,5'lik anlamlı bir artış yarattığını ortaya koymuştur (85). Günümüzde yapılan çalışmalar, VO_{2maks} 'ı geliştirebilmek için uygulanan antrenman şiddetinin önemli bir parametre olduğunu

ve antrenman programı içerdiği iş yükü bakımından dengelense dahi yüksek şiddetli antrenman yöntemlerinin orta ve düşük şiddetli antrenmanlara kıyasla daha etkili olduğunu göstermektedir (86). Güncel çalışmalar incelendiğinde, yüksek şiddetli antrenman metodlarına maruz kalan çocuklarda VO_{2maks} 'ın anlamlı derecede yükseldiğine dair kanıtlara sıkça rastlanmaktadır (87-90). Örneğin Lambrick vd. (89), 6 hafta süren yüksek şiddetli ve oyun temelli bir yaklaşımın sağlıkla ilişkili antropometrik ve fizyolojik sonuçlarını araştırmışlardır. Yaşları 8-10 arasında değişen 32 erkek ve 23 kızdan oluşan toplam 55 kişilik bir katılımcı grubu üzerinde yapılan araştırmada, yüksek şiddetli interval antrenman metoduyla çocuk için bir oyun programı hazırlanmıştır. Bu program haftada 2 defa, her seans 1 saat sürecek ve çocukların 40 dakika aktif olacakları şekilde uygulanmıştır. Araştırma sonunda elde edilen bulgular egzersiz müdahalesine maruz kalan çocukların VO_{2maks} değerlerinin istatistiksel olarak anlamlı düzeyde arttığını göstermiştir. Yapılan diğer kapsamlı bir çalışmada Alves vd. (91), ergenlik öncesi çağıdaki çocuklarda 8 hafta süren ve farklı biçimlerde kombine halde uygulanan kuvvet ve aerobik antrenman sonrası patlayıcı kuvvet ve VO_{2maks} üzerindeki etkilerini incelemiştir. Yaşları 10 ve 11,5 arasında değişmekte olan 168 çocukla yürütülen bu çalışmada çocuklar, birisi kontrol diğer 3'ü sadece kuvvet antrenmanı ya da kuvvet antrenmanı ve aerobik antrenman yöntemlerinin aynı seans içerisinde veya birbirlerinden ayrı zamanlarda uygulayan 4 gruba ayrılmıştır. Uygulanacak aerobik antrenman yöntemi için 20 metre mekik koşusu egzersizi tercih edilmiştir. Mekik koşusu (20 metre) egzersiz uygulamalarında katılımcıların bir ön-test ile belirlenen maksimum aerobik koşu hacimlerinin % 75'inde egzersiz uygulamalarını gerçekleştirmeleri hedeflenmiştir. Dahası, 8 hafta boyunca antrenman yanıtlarına bağlı gelişmeler söz konusu olabileceği için, 4. haftadan sonra katılımcıların egzersiz hacim ve şiddetlerini yeniden belirlemek amacıyla maksimal bir egzersiz testi daha gerçekleştirilmiştir. Ayrıca katılımcıların VO_{2maks} değerleri, aerobik egzersiz uygulaması için bahsedilen ve spor bilimlerinde standart olan, 20 metre mekik koşu test sonuçlarından yola çıkılarak bir tahmin yöntemiyle hesaplanmıştır. Araştırma sonunda elde edilen bulgular ön-test, son-test yöntemi ile değerlendirildiğinde katılımcıların VO_{2maks} özellikleri bakımından sadece aerobik egzersiz yöntemi uygulanan 2 deneysel grupta anlamlı gelişmeler sağladığını göstermiştir. Detaylı incelendiğinde, istatistiksel anlamlılığın ötesinde kuvvet ve

aerobik egzersiz antrenman yöntemlerinin ayrı ayrı uygulandığı grup için VO_{2maks} özelliğinde en büyük değişimin gözlemlendiği not edilmelidir. Bu doğrultuda, her iki antrenman yöntemini kombine bir biçimde uygulayan grup için elde edilen ortalama relatif VO_{2maks} verileri ön-test için 44,4 ve son test için 46,1 olarak tespit edilmiş ve bu durum % 3,8'lik bir artışa işaret ederken, antrenman uygulamalarını birbirinden ayrı şekilde uygulayan grubun ortalama değerleri 41,1'den 44,2'ye çıkarak % 7,3'lük bir artış olduğunu göstermiştir. Bu durum hem spesifik bir biçimde yapılan antrenmanların önemine işaret ederken hem de VO_{2maks} 'a yakın şiddetlerde yapılan antrenmanların çocuklarda bu özelliği geliştirmede etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

2.2. Anaerobik Güç

Anaerobik sözcüğünün kelime anlamına bakıldığında karşımıza şu ifadeler çıkmaktadır: “Oksijensiz yerde yaşayabilen, yetişebilen” (92). Metabolizma ile ilişkilendirildiğinde ise anaerobik terimi, ATP'yi yeniden sentezleyen ve çeşitli son ürünler veren ancak son substrat olarak oksijen kullanımını içermeyen metabolik süreçleri ifade eder (93). ATP'nin yapısında 3 fosfat bulunur. İkinci ve üçüncü fosfat grupları arasındaki bağda kolayca salınabilen enerjinin kas kasılması, sinir uyarılarının yayılması ve iyon taşınması gibi süreçlerde kullanılabilmesi için açığa çıkması süreci hidroliz yoluyla gerçekleşir (94). Bahsedilen kimyasal bağlar, su molekülünün eklenmesi sonucu kırıldığı için hidroliz olarak adlandırılır. Bu reaksiyon sonucu ADP, inorganik fosfat, hidrojen iyonu ve enerji açığa çıkar. ATP'nin hidrolize olması kimyasal olarak Formül 2.1. ile aşağıdaki şekilde gösterilir (95):



ATP, kendisine bağlı süreçlerin çok fazla ve su molekülünün varlığında düşük stabiliteye sahip olması nedeniyle hücre içinde kolay bir şekilde depolanamaz (96). Dolayısıyla, enerji metabolizması anlamında var olan farklı süreçler ATP'nin hidroliz yoluyla parçalanması bakımından değil sentezlenme biçimi ekseninde birbirinden ayrılır. Aerobik güç için ATP'nin sentezlenmesi süreci önceki bölümlerde aktarıldığı şekilde oksidatif fosforilasyon olarak adlandırılırken, anaerobik güçte bu durum

metabolik yolların oksijen molekülünün hemen kullanılmadan ATP üretme yeteneği olarak tanımlanır ve substrat fosforilasyonu olarak adlandırılır (95).

2.2.1. Anaerobik Enerji Metabolizması ve Etkileyen Faktörler

ATP'nin ADP'ye dönüşmesiyle birlikte kaybettiği fosfat grubunun yerine koyularak tekrar ATP'ye dönüşmesi olayı anaerobik olarak incelendiğinde, bu durumun 2 farklı şekilde gerçekleştiği görülmektedir. Anaerobik ATP üretimi, fosfokreatinden sağlanan fosfatın ADP'ye çok yüksek aktiviteye sahip tek bir metabolik reaksiyonda katılması (fosfojen sistem) ve substrat fosforilasyonunun ATP ürettiği ve laktatın son ürün olduğu glikolitik yoldaki (glikolitik sistem) iki noktada gerçekleşir (95). Fosfojen sistemi, fosfokreatinde bulunan fosfat grubunun kreatin kinaz enziminin yarattığı reaksiyon sayesinde, oksijenin varlığına bağlı kalmaksızın ATP'nin yeniden üretilmesini sağlar (97). Neredeyse anında maksimum katalizleme hızına sahip fosfokreatin hidrolizi sebebiyle fosfojen sisteminin önemi, ATP'yi son derece hızlı bir şekilde yenileyebilmesinde yatmakla birlikte, enerji üretme kapasitesi vücutta bulunan sınırlı fosfokreatin konantrasyonuna bağlıdır ve çok yüksek şiddetli bir hareket bu depoları 10 saniye içerisinde tüketebilir (97). Glikolitik sistemde enerjinin açığa çıkmasını sağlayan süreçler ise glikoliz olarak adlandırılır ve glikozun bir dizi enzimatik reaksiyonlar sonucu kısmen iki pirüvat molekülüne dönüştürülmesi işlemidir (96). Glikoliz, 6 karbonlu glikoz molekülünü iki adet 3 karbonlu pirüvat molekülüne parçalayan 10 adımdan oluşan anaerobik bir işlemidir ve başlangıçta 2 ATP molekülü harcanmasına rağmen süreç tamamlandığında 4 ATP üretilmesine neden olduğu için net olarak 2 ATP molekülü kazanımı sağlar (98). Glikolizden elde edilen net ATP kazancı substrat olarak glikoz yerine glikojen kullanıldığında ise 3 ATP'dir (99). Anaerobik glikolitik sistemin kapasitesi glikoz ya da glikojen substratının miktarına bağlı olarak değil artan asidite ile sınırlandırılır çünkü pirüvata dönüşen glikoz molekülü mitokondride parçalanmaya devam ederek sitrik asit döngüsünde asetil koenzim A'ya dönüşür veya sitoplazmada son ürün olarak laktatı oluşturur (95, 100). Bir hücrenin enerji sağlama şekli, enerji talebine ve substrat mevcudiyetine bağlı olarak belirlenir ve bu durum anaerobik enerji metabolizması bakımından değerlendirildiğinde, fosfojen sistemi için gerekli substrat olan fosfokreatinin tükenmesi halinde, glikolitik sistemin ATP üretmek için itici güç

olmasını beraberinde getirmektedir (100). Glikolitik sistem içinde 'hız sınırlayıcı' olarak kabul edilen ve dışarıdan düzenlenen birkaç reaksiyon vardır (101). Bunlar glikojen fosforilaz, fosfofruktokinaz ve pirüvat dehidrogenaz enzimlerini içerir ve ADP veya adenozin monofosfatın birikimi, bu üç enzimin aktifleşmesini sağlar (101). Çok yüksek enerji ihtiyacı olan hareketlerde fosfojen sistemin katkısı daha önce aktarıldığı şekilde yaklaşık 10 saniye olarak düşünülebilirken, glikolitik sistem için bu süre 2 dakika civarındadır (95). Anaerobik metabolizma, kısa sürede çok yüksek enerji taleplerine cevap üretilebilirken sınırlı bir kapasiteye sahip olmasına karşın, önceki bölümlerde aktarılan aerobik güç kavramına ilişkin metabolik süreçler daha düşük bir hızda ATP üretilmesini sağlarken sınırsız bir kapasiteye sahiptir (101). Kısa süren aktiviteler çoğunlukla anaerobik enerji transfer sistemine ihtiyaç duyarken, uzun süreli aktivitelerin yüksek oranda aerobik enerji transfer sistemini kullandığı söylenmektedir (102). Bu sebeple, anaerobik metabolizma ile enerji sağlanmasını içeren süreçlerin değerlendirilmesinde kısa süren ve maksimal efor içeren yüksek şiddetli test yöntemleri kullanılmaktadır (102, 103). Anaerobik enerji metabolizmasının değerlendirilmesinde kullanılan test prosedürlerinde kısa süreli yüksek efor içeren hareketlerde kas çalışması sırasında enerji aerobik olarak üretilmez ve sonuçlar mekanik güç kavramıyla iyi bir şekilde temsil edildiği için bu yetenek anaerobik güç olarak adlandırılır (104).

2.2.2. Anaerobik Güç ve Sağlık

Anaerobik güç ile ilgili yapılan çalışmalar, anaerobik metabolik süreçlerin yoğunlukla aktif olduğu ve anaerobik egzersiz metodları olarak görülebilecek hızlı kasılan kas liflerini içeren sprint, yüksek şiddetli interval antrenman, güç kaldırışı, vb. yöntemleri içerir (105). Anaerobik egzersiz türlerinin ne gibi sonuçlar ortaya çıkarttığını inceleyen araştırmalar kardiyovasküler sistem, vücut kompozisyonu, insülin duyarlılığı, lipid profili, vb. bileşenler üzerinde sağlık yönünden olumlu etkileri olabileceğini ortaya koymaktadır (106-108). Örneğin Hazell vd. (106) tarafından yapılan bir çalışmada, sprint interval antrenman yönteminin koşu hareketi sırasında uygulandığı bir müdahale çalışmasında araştırmacılar, kadın katılımcılar üzerindeki etkileri incelemişlerdir. Araştırmada sprint interval antrenman yöntemi olarak 30 saniye boyunca maksimum efor sarfederek koşu ve 4 dakikalık bir toparlanma süresi

içeren toplam 4 defa tekrar edilen bir antrenman programı haftada 3 gün uygulanmıştır. Araştırmada uygulanan bu antrenman yöntemi toplam 6 hafta boyunca sürdürülmüş, ve bu süreç içerisinde antrenman hacmi doğrusal olarak arttırılmıştır (1-2. Hafta: 4 tekrar, 3-4. Hafta: 5 tekrar, 5-6. Hafta: 6 tekrar). Anaerobik antrenman metodu olarak uygulanan sprint interval antrenman uygulamasının ortalama vücut ağırlığı, yağ kütlesi, vücut yağ yüzdesi ve bel çevresini düşürürken, yağsız vücut ağırlığını anlamlı bir biçimde arttırdığı rapor edilmiştir. Dahası, bu antrenman yönteminin bir diğer olumlu etkisi VO_{2maks} için belirgin şekilde ortaya çıkmıştır. Ancak yüksek yoğunluklu lipoproteinler (HDL) bakımından belki olumsuz olarak değerlendirilebilecek bir düşüş gözlenmesine sebep olmuştur. Yine de araştırmacılar bu düşüşün hem ihmal edilebilir düzeyde olduğuna hem de kilo verme esnasında kadınlarda HDL bakımından nispeten önemsiz düşüşler olabileceğini gösteren çalışmalar olduğunu tartışmışlardır. Yapılan başka bir araştırma, anaerobik egzersiz olarak tanımlanabilecek kısa süreli yüksek şiddetli interval antrenmanın obezite durumunda plazma lipitlerinde anlamlı bir düşüşe neden olarak daha iyi bir kardiyometabolik profil oluşmasına katkı sağlayabileceğini açıkça ortaya koymaktadır (109). Ouerghi vd. (109) yaşları 17-20 arasında değişmekte olan toplam 18 erkek katılımcı üzerinde çalışmış ve 9'u obez katılımcılardan oluşan deney grubu, 9'u ise normal vücut ağırlığına sahip katılımcılardan oluşan kontrol grubu olmak üzere toplam 2 gruba ayrılmışlardır. Her iki grubun uygulayacağı antrenman programı haftada 3 defa toplam 8 hafta sürecek şekilde dizayn edilmiştir ve şiddeti maksimal aerobik hızın % 100-110'una denk gelecek şekilde 30 saniye süren koşular ve aktif dinlenme bölümlerini içermektedir. Antrenmanda kademeli artış ilkesi gereği antrenman yükü, 3. haftada tekrar sayısının arttırılmasıyla birlikte hacim artışı şeklinde ve 5. haftadan sonra ise 2 haftada bir maksimal aerobik hızın % 5 arttırılmasıyla şiddet artışı olarak ayarlanmıştır. Antrenman uygulaması süreçleri tamamlandıktan sonra yeniden yapılan ölçümler, toplam plazma kolesterolü, LDL kolesterolü ve trigliseritler bakımından obez bireyler için istatistiksel olarak anlamlı düşüşler olduğuna işaret etmekle birlikte bu değişimlerin yüksek etki büyüklüklerine sahip olduğunu da göstermiştir.

2.2.3. Anaerobik Güç ve Sportif Performans

Voleybol, ragbi, hentbol, basketbol ve futbol gibi spor aktiviteleri, değişen patlayıcı hareket kalıplarından, farklı yoğunluklarda koşulardan, tekmeleme, mücadele, dönme, sıçrama ve topu savunma baskısına karşı kontrol etmek için sürekli kuvvetli kasılmalardan oluşur (110). Benzer şekilde kısa dinlenme aralıklarına sahip yüksek şiddetli aktiviteler içeren bir başka spor dalı olarak taekwondo branşı da örnek gösterilebilir ve bu gibi hareket çeşitleri çoğunlukla anaerobik metabolik süreçlere dayanır (111). Halter gibi bir spor yalnızca birkaç saniyelik yüksek kuvvet patlamaları ve ardından birkaç dakikalık dinlenme süreleri içerdiği için, ATP üretimini sağlamak amacıyla yanıt veren ilk metabolik yolun fosfojen sistem ve daha sonra glikolitik sistem gibi anaerobik süreçler olduğu söylenir (112). Bunun yanı sıra sprint koşusu gibi kısa süren maksimal bir efor da büyük ölçüde anaerobik metabolizmaya dayanır (113). Ancak taekwondo branşında başarının belirleyicisi olduğu gibi birçok spor, hem aerobik hem de anaerobik enerji sistemlerinin bir arada çalıştığı ancak süre ve şiddete bağlı olarak enerji sağlanan metabolik süreçlerin oransal olarak değiştiği bir takım karmaşık mekanizmaya sahiptir (110, 111, 113). Örneğin Girard vd. (114) yapmış oldukları derleme çalışmasında bu duruma ilişkin olarak 6 saniye süren tek bir sprint için gerekli enerjinin % 6'sının depo ATP'den, % 46'sının fosfojen sistemden, % 40'ının glikolitik sistemden ve % 8'inin aerobik sistemden geldiğini kaydetmişlerdir. Aynı çalışma, benzer bir sprint hareketi tekrarlı olarak gerçekleştirildiğinde ise, yapılan son sprint hareketine ilişkin olarak depo ATP'nin % 2, fosfojen sistemin % 49, glikolitik sistemin % 9 ve aerobik sistemin % 40 katkı sağladığını ortaya koymuştur (114). Anaerobik güç ve fiziksel performans arasındaki ilişkiyi ortaya koymayı amaçlayan çalışmalar, değerlendirilen çeşitli fiziksel performans parametreleri (örn: sprint performansı, kas kuvveti, sıçrama yüksekliği, vb.) ve fiziksel performans sonrası ortaya çıkması beklenen metabolik yan ürünler (örn: laktat) ile anaerobik güç ölçümü için kullanılan yöntemlerden (örn: WAnT, maksimal anaerobik hız testi) elde edilen sonuçlar arasında, aktarılan teorik arka plana uygun anlamlı ilişkiler olduğunu göstermektedir (115-117). Örneğin, Alemdaroğlu (117) yapmış olduğu çalışmasında anaerobik güç ölçümü için WAnT yöntemini kullanmış ve izokinetik bacak kuvvetine ek olarak dikey sıçrama, sprint, yön değiştirme ve dayanıklılık performansları gibi diğer performans bileşenleri ile arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Bu amaçla, yaşları

ortalama 25,1 olan 12 erkek birinci lig basketbol oyuncusuyla incelenmek istenen özelliklere ilişkin testler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, anaerobik güç testinden elde edilen zirve ve ortalama güç çıktılarının quadriceps kas grubunun farklı açısal hızlarda ortaya koyabildiği en yüksek kuvvet üretme yeteneğiyle ilişkisi olduğunu göstermektedir. Yapılan bu çalışma, WAnT ile elde edilen zirve güç değerlerinin sıçrama performansını değerlendirmek için kullanılan aktif sıçrama ve squat sıçrama testlerinde ulaşılan yükseklikle ilişkili olduğu gibi, 30 metre sprint performansı testinin ilk 10 metresindeki performansın da önemli bir belirleyicisi olduğuna işaret etmektedir. Benzer bir çalışmada ise Dardouri vd. (116), anaerobik güç özelliğini koşu hareketi sırasında hız kavramı ile ifade edilmesine olanak sağlayan maksimal anaerobik hız testinden yararlanarak yürüttükleri bir çalışmada, maksimal anaerobik hız testi için 30 metre süren bir maksimal sprint koşusu gerçekleştirilmiş ve 10-30 metreler arasında geçen süre, fotosel yardımıyla ölçülerek maksimal anaerobik hız kavramının somut olarak ifade edilmesine olanak sağlamıştır. Çeşitli sıçrama ve dayanıklılık özelliğini yansıtan testlere ek olarak, anaerobik metabolik süreçlerin yoğunlukla aktif rol oynadığı düşünülen tekrarlı sprint becerisi de bu çalışmada incelenmiştir. Bunun için, 10 tekrardan oluşan ve efor sarfedilen kısımlar haricinde 30 saniye süren aktif dinlenme bölümleri içeren 30 metre sprint olarak gerçekleştirilen mekik koşusu (gidiş 15m, dönüş 15m) uygulanmış ve bu testten elde edilen en iyi süre, toplam süre, vb. değişkenler kaydedilmiştir. Yapılan istatistiksel analizler, anaerobik gücü ifade eden maksimal anaerobik hız değişkeni ile tekrarlı sprint testinden elde edilen en iyi ve toplam süreler arasında anlamlı bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Tekrarlı sprint testinin ardından toplanan kan laktat örnekleri de çarpıcı bir sonuca işaret etmektedir. Elde edilen veriler üzerinde yapılan analizler, tekrarlı sprint sırasında gerçekleştirilen en iyi ve toplam süreler ile test sonrası ölçülen kan laktat değerleri arasında negatif yönlü anlamlı bir ilişki açığa çıkarmıştır. En iyi süre ve toplam süre azaldıkça (performans arttıkça) kan laktat değerleri artmakta ve en iyi süre ve toplam süre arttıkça (performans azaldıkça) kan laktat değerleri düşmektedir. Araştırmacılar laktat konsantrasyonu değerlerini, tekrarlı sprint testi sırasında anaerobik glikolizin uyarılması olarak açıklamış ve bu durum, tekrarlanan sprintler sırasında anaerobik metabolizmanın önemli bir katkı sağladığını doğrulamaktadır şeklinde tartışmışlardır. Stöggl ve Björklund (115) tarafından 2017 yılında yayınlanan bir çalışmada konuya

deneysel bir şekilde yaklaşılmıştır. İyi antrenmanlı 33 erkek ve 3 kadından oluşan dayanıklılık sporcularına 9 hafta boyunca farklı antrenman yöntemleri uygulanmış ve ortaya çıkan sonuçlar aktarılmıştır. Ön-test, son-test yöntemiyle uygulanan antrenman yaklaşımının yarattığı etkilerin araştırıldığı değişkenler nöromüsküler durum, anaerobik bileşenler, akut kalp atım hızı (KAH) toparlanması ve kan laktatı değerleri olarak özetlenebilir. Oluşturulan 3 grubun maruz bırakıldığı antrenman çeşitleri şu şekilde ayrılmıştır: düşük hacim yüksek şiddetli interval antrenman grubu, karışık antrenman grubu (hem yüksek şiddetli düşük hacim hem de düşük şiddetli yüksek hacim içeren antrenman uygulamaları mevcut) ve yüksek hacim düşük şiddetli antrenman uygulayan kontrol grubu. Bulgular, araştırmada anaerobik güç özelliğinin belirlenmesi için seçilen test yönteminden elde edilen değerlerin ve bu test sonucu zirve laktat ölçümlerinin sadece yüksek şiddetli interval antrenman yöntemini uygulayan grup için istatistiksel olarak anlamlı ve olumlu biçimde değiştiğini göstermiştir. Sonuçlar, sadece yüksek şiddetli interval antrenmanın anaerobik güçte neden olduğu % 6,4'lük artışla birlikte, anaerobik süreçlerin egzersiz şiddeti ve hacmiyle arasındaki direkt ilişkiyi deneysel bir yöntem ile ortaya koymaktadır.

2.2.4. Anaerobik Güç Ölçüm Yöntemleri

Anaerobik güç değerlendirmesi için kullanılan çeşitli yöntemler, bu kavramın barındırdığı metabolik süreçlerin daha önce aktarılan teorik arka planına bağlı belirli şartlar altında direkt ya da indirekt olarak elde edilen veriler doğrultusunda türetilmektedir. Metabolik süreçlerin direkt olarak incelenmesine yönelik olarak, memeli canlılardan toplanan kanda gerçekleştirilen biyokimyasal analizler ya da kas biyopsisi yöntemleriyle elde edilen kas lifleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalar kastaki enzim aktiviteleri, gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar, PH değerleri, organik ve inorganik fosfat bileşenlerinin konsantrasyonları, laktat değerleri ve kastaki hidrojen iyonu konsantrasyonuna ilişkin bilgi sağlamaktadır (118-121). Gerçekleşen metabolik süreçlerin indirekt olarak incelenmesinde ise, insan iskelet kaslarının fosfat bileşenleri yönünden içeriğini ve fosfokreatin, inorganik fosfat ya da hidrojen iyonu gibi bileşiklere yönelik öngöründe bulunabilecek nükleer manyetik rezonans ve manyetik rezonans spektroskopisi gibi yöntemler kullanılmaktadır (95, 122). Ek olarak, indirekt kalorimetri kullanılarak ekspirasyon havasındaki oksijen ve

karbondioksit miktarını ölçen yöntemler de “O₂ açığı” gibi kavramlarla anaerobik enerji üretimine ilişkin indirekt olarak bilgi sağladığı düşünülen yaklaşımlardır (123, 124). Bu doğrultuda yapılan çalışmalar, anaerobik metabolik süreçlerin hareket için gerekli enerjinin farklı şartlarda nasıl sağlandığının anlaşılmasına yardımcı olur. Kas biyopsisi yöntemi kullanan çalışmalarda, yüksek şiddetli kısa süren bir aktivitenin farklı zamanlarında toplanan ya da farklı egzersiz şiddetleri sırasında alınan doku örnekleri üzerinden çeşitli enzim aktiviteleri ve farklı molekül ya da bileşenlerin konsantrasyonları incelenmiştir (125, 126). Bu çalışmalardan birinde Parolin vd. (125), izokinetik bir bisiklet ergometresinde 4 dakika dinlenme aralığıyla toplam 3 defa 30 saniye süren maksimal bir efor sırasında fosfokreatin konsantrasyonunu, glikojen fosforilaz, pirüvat dehidrogenaz enzimleri ve bunların allosterik düzenleyicileri gibi değişkenlerin zamana bağlı değişimini takip etmişlerdir. Çalışmada hem dinlenik durumda, hem de 1. ve 3. test tekrarlarının 6., 15. ve 30. saniyesinde katılımcılardan kas biyopsileri alınmıştır. Elde edilen bulgular fosfokreatin konsantrasyonunun ilk test tekrarı başlamadan önce ortalama 88,2 mmol.kg⁻¹ ve 30 saniye süren maksimal efor sonrasında ise ortalama 7,6 mmol.kg⁻¹ olduğunu göstermiştir. Daha detaylı incelendiğinde, yapılan 1. testin ilk 6 saniyesi içerisinde glikojen fosforilaz aktivitesi % 12’den % 47’ye çıkmış ve ATP sentezleme sürecine fosfojen, glikolitik ve oksidatif sistemlerin katkısının sırasıyla % 48,2, % 42,7 ve % 9,1 olduğu da görülmüştür. Howlett vd. (126) tarafından yapılan bir başka çalışmada, farklı egzersiz şiddetlerinde kasta meydana gelen değişimler yine kas biyopsisi yöntemiyle incelenmiştir. Elde edilen bulgular ise kas kasılması ve hücrenin enerji durumuyla ilgili metabolik sinyallerin egzersiz yoğunluğuna duyarlı olduğunu kanıtlar niteliktedir. Yapılan benzer çalışmalar, egzersiz sırasında anaerobik süreçlerin değerlendirilmesi için geliştirilen yöntemlerin teorik altyapısını oluşturmuştur. Anaerobik gücü değerlendirmek için geliştirilen test yöntemlerinin kısa süreli ve maksimal efor sarfedilecek şekilde uygulanması şaşırtıcı değildir. Yapılan ilk çalışmalar, günümüzde halen olduğu gibi ya da değişikliklere uğrayarak bazılarının kullanımı halen devam eden tek eklemlili kuvvet-hız testleri, sıçrama testleri ve sürtünme dirençli ya da izokinetik bisiklet ergometresinde uygulanan yöntemleri içerir (127). ATP sentezi için anaerobik yollardan katkı sağlayan 2 farklı metabolik süreç ve bu süreçler arasındaki ince farklara değinirken verdiğimiz bazı bilgiler geçmişte de

araştırmacılar tarafından bilinmektedir. Örneğin, 1980'li yıllarda yapılan farklı çalışmalar fosfojen sisteme ek olarak glikolitik sistemin de 10 saniyeden kısa süren aktivitelerde de rol oynadığını ortaya koymuştur (128, 129). Fosfojen ve glikolitik sistemlerin enerji ihtiyacına karşılık neredeyse aynı anda aktif olması, sadece ergometrik testler ile bu bileşenlerin birbirinden ayrı bir biçimde değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır (127). Önerilen mekanik güç çıktısına dayalı test yöntemleri çoğunlukla anaerobik metabolik süreçlerin genel bir ifadesi olarak değerlendirilmektedir. Sonraki çalışmalar, aktif sıçrama ve ardışık 30 adet sıçrama hareketi içeren ya da bisiklet ergometresinde 30 saniye süren WAnT ve anaerobik sprint koşusu testi gibi anaerobik güç değerlendirmesi yöntemlerini yaygın olarak kullanmışlardır (130, 131). Günümüzde ise, kimi araştırmacılar tarafından diğer bütün anaerobik güç testlerinden daha yaygın kullanıldığı ve çoğunlukla altın standart olarak kabul edildiği ifade edilen WAnT (130, 132), yüksek etki faktörlü bilimsel dergilerde yayınlanan güncel çalışmalarda kullanılmaktadır (133, 134). Yine de uygulanacağı popülasyonun özelliklerine göre geliştirilen çeşitli yöntemler oluğu gibi, günümüzde araştırma konusu olmaya devam ettiği de not edilmelidir (135).

2.2.5. Çocuklarda Anaerobik Güç

Çocuklarda anaerobik güç inceleneceği zaman göz önünde bulundurulması gereken bazı faktörler vardır çünkü enerji sağlanması açısından var olan farklı süreçler ve bu noktada meydana gelen metabolik, enzimatik ve hormonal aktiviteler gelişim devam ettiği sürece değişiklik göstermektedir. Bu nedenle yaş kavramını kronolojik ve biyolojik olacak şekilde birbirinden ayrı değerlendirmekte fayda vardır. Biyolojik yaş, kronolojik yaş ile kısmen ilişkili olan bireysel fizyolojik performans durumu olarak tanımlanırken kronolojik yaş ise, kişinin kaç yıldır yaşadığını ifade etmektedir (136). Aynı kronolojik yaştaki insanlar arasında yaşlanma oranında önemli ölçüde değişkenlik söz konusu olduğu için biyolojik yaş kavramı, bir bireyin gerçek fizyolojik durumunu kronolojik yaştan daha iyi temsil etmek için ortaya atılmıştır (137). Biyolojik yaş hesaplaması için kullanılan çeşitli yöntemler (örn: Klemmer ve Doubal metodu, temel bileşen analizi ve çoklu doğrusal regresyon (137)) ve ZBUH gibi yaklaşımlar biyolojik olgunlaşmanın değerlendirmesi için kullanılmaktadır (138). Kişinin kasıklarındaki kıllanma durumu ve iskelet yaşı olarak el-dirsek kemiklerindeki

olgunlaşma durumu da biyolojik olgunlaşma durumunun bir yansıması olarak görülmektedir (139, 140). Buna ek olarak, ergenliğin başlaması ve vücut gelişimi gibi konularda rol oynayan cinsiyet hormonları androjenlerin, cinsel kılınma ya da kemik gelişiminde anahtar olduğu da bilinmektedir (141, 142). Örneğin, estradiol hormonu kemik mineralizasyonu ile ilişkiliyken, testosteron hormonu kemik büyüklüğü parametreleriyle bağlantılıdır (143). Geçmişten günümüze kadar yapılan çalışmalar glikolize katkı sağlayan enzim aktivitelerinin androjen hormonlarıyla ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır (144-146). Çocuklarda enzim aktiviteleri kas biyopsisi yöntemiyle direkt olarak incelendiğinde laktat dehidrogenaz, kreatin kinaz ve adenilat kinaz gibi enzimlerin yetişkinlere kıyasla anlamlı düzeyde düşük olduğu gözlenmektedir (147). Dolayısıyla, biyolojik olgunlaşma durumu anaerobik güç özelliğini doğrudan etkileyen bir olgudur. Çocuk ve anaerobik güç üzerine yapılan çalışmalar, kronolojik yaş kavramına ek olarak biyolojik yaşı da değerlendirmelidir. Yapılan çalışmalar, enerjinin anaerobik yollardan sağlandığı yüksek şiddetli antrenman yöntemlerinin çocuklarda sağlık (148, 149) ve sporsal performans (150) üzerine etkilerini araştırmaktadır. Anaerobik güç kavramını oluşturan metabolik süreçlerin sporda gösterilen başarıya katkısını (151) inceleyen farklı araştırma yaklaşımlarını görmekte mümkündür. Yakın zamanda yapılan bir meta-analiz çalışmasında Song ve Lan (148) sprint interval ve yüksek şiddetli interval antrenman yöntemlerinin çocuklarda kardiyometabolik sağlığa etkilerini değerlendirmişlerdir. Araştırma kriterlerine uygun bulunan 31 makale, sağlık göstergeleri olarak belirlenen açlık glukoz ve insülin seviyesi, insülin direnci, trigliserit, toplam kolesterol, düşük yoğunluklu lipoprotein, yüksek yoğunluklu lipoprotein, sistolik ve diyastolik kan basıncı yönünden incelenmiştir. Ele alınan çalışmaların sonuçları yüksek şiddetli interval antrenman yöntemine yapılan alt-grup analizlerinde sprint interval antrenman yöntemi ayrı olarak değerlendirildiği zaman şu sonuçları ortaya çıkmıştır: sprint interval antrenman yöntemi obezitesi olanlarda, çocuklarda, adolesan ve ergenlerde toplam kolesterol, trigliserit ve düşük yoğunluklu lipoprotein kolesterolünü azaltırken, aynı zamanda yüksek yoğunluklu lipoproteini artırmaktadır. Buna karşılık, yüksek şiddetli interval antrenman yönteminin sadece trigliseriti düşürdüğü ve toplam kolesterolün ise azalma eğiliminde olduğu ifade edilmiştir. Kan basıncı ve glisemik göstergeler bakımından incelenen diğer değişkenlerde de benzer bir durum olması sebebiyle araştırmacılar,

yüksek şiddetli interval antrenman yönteminin bir çeşidi olan, belirli mesafe ve dinlenme aralıklarıyla sadece maksimal efor içeren sprint interval yaklaşımının daha etkili olabileceğini tartışmışlardır. Yapılan başka bir meta-analiz çalışması çocuk ve adolesanlarda yüksek şiddetli interval antrenman yönteminin diğer metodlara (düşük-orta şiddetli egzersiz) kıyasla açlık glukoz seviyesini iyileştirmede daha başarılı olduğunu göstermekle birlikte nöromusküler ve anaerobik performansı da arttırdığına işaret etmektedir (150). Dünya Sağlık Örgütü'nün çocuk ve adolesan çağındaki (5-17 yaş) bireyler için fiziksel aktiviteye dair önerileri de, haftada her gün en az 60 dakika orta-şiddetli seviyede aerobik aktiviteler ve haftada en az 3 gün kasları ve kemikleri güçlendiren yüksek şiddetli aktiviteler yapmayı içermektedir (152). Anaerobik güç özelliğinin sporda gösterilen başarıya katkısı, Alves vd. (153) tarafından yapılan çalışmada genç atletizm sporcularının sprint performansına etki eden değişkenler incelenirken ele alınmıştır. Yaşları 13-15 arasında değişen 214 atletizm sporcusunun katılım gösterdiği bu çalışmada biyolojik olgunlaşma değerlendirmesi, antropometri, dikey sıçrama, 60 metre sprint koşusu ve anaerobik sprint koşusu testi ölçümleri yapılmıştır. Her iki cinsiyet için de anaerobik sprint koşusu testi ile ölçülen anaerobik güç özelliğinin, incelenen değişkenler arasında sprint performansına en fazla katkı sağlayan değişken olduğunu göstermiştir. Anaerobik gücün sprint performansına katkısı kadınlara kıyasla erkeklerde daha fazladır. Anaerobik güç ile ilişkili olduğu düşünülen biyolojik olgunlaşma durumunun, hem kadın hem erkek çocuk atletizm sporcularında sprint performansı, dikey sıçrama yüksekliği ve anaerobik sprint koşusu testi ile istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki içerisinde olduğu da aktarılmıştır. Başka bir çalışmada Maciejewski vd. (154), ulusal seviyede yarışmacı adolesan kürek sporcularının 1500 metre kürek performanslarıyla WAnT performansı arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Araştırmada 14 adolesan kürekçi, anaerobik performansı değerlendirmek için 30 saniye süren Modifiye WAnT uygulamış ve 1500 metre kürek performansı ile çeşitli antropometrik ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen bulgular, 1500 metre kürek performansının vücut ağırlığı, kas kütlesi ve WAnT performansı ile istatistiksel olarak anlamlı ve yüksek düzeyde bir ilişkisi olduğunu göstermiştir. Detaylı incelendiğinde araştırma bulguları arasında istatistiksel olarak anlamlı bulunan ilişki katsayılarından en yüksek olanların 1500 metre kürek performansı ile kas kütlesi ($r^2 = 0,83$) ve WAnT ($r^2 = 0,83$) arasında elde edilen açıklayıcılık katsayıları olduğu

görülmüştür. Bu durum 1500 metre kürek performansındaki değişimin hem kas kütlesi hem de WAnT performansı tarafından % 83 oranında açıklandığını ortaya koymaktadır. Bulgular, WAnT performansı sırasında enerjinin ağırlıklı olarak sağlandığı fosfojen ve glikolitik sistemlerin substrat olarak kullandığı moleküllerle bağlantısını göstermekte olabilir. Çünkü, iskelet kaslarındaki fosfokreatin depoları fosfojen sistemin ve glikojen depoları ise glikolitik sistemin başarısının en önemli belirleyicileridir (155, 156).

2.3. Biyoelektrik İmpedans Yöntemi ve Prensipleri

BIA total vücut suyunu temel alan vücudun elektrik iletkenliğine ve Ohm kanuna bağlı olarak ortaya çıkan direnç varsayımına dayanmaktadır (157). Vücutta su içeren dokular (örneğin, kas kütlesi), içerisinde çözünmüş elektrolitler bulundurdıkları için elektrik akımına karşı iyi iletken, buna karşılık yağ doku ve kemiklerin elektrolit içeriği düşük olduğu için nispeten zayıf iletken özelliği gösterirler (158, 159). BIA, vücuttan bir elektrik akımı geçtiğinde, iki elektrot arasındaki voltaj düşüşünün (direncin), vücudun o bölgesindeki sıvı hacmiyle bağlantılı olduğu önermesine dayanır. Elektrik akımın voltajındaki düşme “impedans” değeri olarak kaydedilir. Impedans veya biyoimpedans (Z, Ω), dokunun uygulanan alternatif elektrik akımına gösterdiği dirençtir ve iletkenlikle ters orantılıdır (157). Biyoimpedans doku yapısına ve aynı zamanda uygulanan akımın frekansına göre değişmektedir. Biyoimpedans hücre içi ve hücre dışı sıvılardan kaynaklanan direnç (rezistans) (R, Ω) ile hücre zarının kapasitansı ile ilgili olan reaktans (X_c, Ω) arasındaki vektör ilişkisinden türetilen karmaşık bir parametredir (157, 158). Elektrolitten zengin sıvılar elektrik akımı için yağ ve kemik dokusundaki minerallere göre daha az direnç oluştururlar. Bu ayrım BIA ile vücut kompozisyonunun değerlendirilmesinin temelini oluşturur. BIA vücut kompozisyonu değerlendirmesi için güvenli, invaziv olmayan, düşük maliyetli ve portatif bir yöntemdir (160, 161). Çoğunlukla bahsedilen süreçte elde edilen direnç (R) ve reaktans (X_c) gibi ham veriler, istendik bazı değerlendirmeler yapmak için geliştirilen denklem ve modellerde kullanılır. Vücut kompozisyonunu tahmin yoluyla değerlendirmek amacıyla kullanıldığında bu teknoloji temelde R ve X_c değerlerini boy, kilo ve yaş gibi değişkenleri de hesaba katarak, farklı popülasyonlar üzerinde yapılan çalışmalar sonucu elde edilen regresyon denklemlerini kullanarak

tahmin eder. İnsanlarda FA değerlendirmesi için kullanılan BIA, vücuttan zayıf bir elektrik akımı geçtiğinde yağ ve yağsız dokuların farklı impedansına dayanmaktadır ve bugüne kadar çeşitli teknolojiler tasarlanmış ve ticarileştirilmiştir (162).

2.3.1. Faz Açısı

İnsan vücudunun kapasitif özellikleri X_c ve elektrik akımının maruz kaldığı direnç R ile gösterilirken, FA'yı oluşturan bileşen X_c ile R arasındaki oranın açısıl dönüşümünü ifade etmektedir (163). BIA'dan elde edilen ham verilerin kullanımı, hastalarda beslenme durumunun değerlendirilmesi ve izlenmesinde popülerlik kazanmıştır (164). Ham veriler kullanılarak elde edilen veriler BIA benzeri ölçüm yöntemlerinin çoğunlukla odaklandığı vücut kompozisyonu gibi değişkenlerde kullanılan tahmin metodlarından (denklem ve modeller) arınmış olduğu için önyargısız ve geçerli sonuçlar sağlama potansiyeline sahiptir. FA, impedans vektörünün R vektörüne göre oluşturduğu açıdır ve derecelere dönüştürülmüş X_c 'nin R 'ye oranının ark tanjantı olarak hesaplanır ve klinik olarak en çok kanıtlanmış BIA parametresidir (164, 165). Vücut kompozisyonu analizi için denklemler veya modeller olmadan dokuların saf elektriksel özelliklerinin kullanılmasının avantajı, birçok klinik durumda olası olmayan bir durum olan sabit doku hidrasyonunun ana varsayımının gerekli olmamasından kaynaklanır (164). Sonuçlar regresyon denkleminin seçimi, kriter yönteminin doğruluğu veya referans popülasyonunun seçim kriterleri tarafından etkilenecek bir eğilim içinde de değildir (164).

2.3.2. Faz Açısının Fizyolojik Anlamı ve Önemi

BIA ile belirlenen FA'nın, dokunun elektriksel özelliklerindeki değişiklikleri tespit ettiği ve HIV, karaciğer sirozu, kronik obstrüktif akciğer hastalığı, akciğer kanseri gibi çeşitli kronik durumlarda ve diyaliz alan hastalarda prognostik bir gösterge olduğu bulunmuştur (166). Bu teknik, R ve X_c ölçümüne olanak sağlayan, elektrotlara veya ciltle temas eden iletken yüzeylere bağlanan kablolar aracılığıyla uygulanan ağrısız, düşük genlikli bir elektrik akımının geçirilmesinden oluşur (167). X_c hücre zarlarından, R ise hücre dışı ve hücre içi sıvıdan kaynaklanır ve impedans (Z), bu ikisinin kombinasyonunu tanımlamak için kullanılan terimdir (158). İnsan vücudundan alternatif akım geçtiğinde, sağlıklı hücre zarları elektrik enerjisini

depolayan kapasitörler gibi görev yapar ve bunun sonucunda akımın gecikmesine neden olur (12). Akımın hücre zarına ve doku ara yüzlerine nüfuz etmesindeki yavaşlama, akımda FA olarak ifade edilen bir gecikmeye neden olur (168). FA kavramının daha önce bahsedilen çeşitli kronik hastalık durumlarından etkilenmesinin yanı sıra günümüzde yapılan bazı araştırmalar kas dokuları ile FA arasındaki ilişkiyi de anlamlandırmaya çalışmaktadır. Örneğin, Akamatsu vd. (12) yaptıkları çalışmada sarkopeni görülen ve görülmeyen katılımcıların FA değerleri arasında istatistiksel olarak önemli farklar olduğunu ortaya koyarken, genç erkek/kadın ve yaşlı erkek/kadın bireylerde sarkopeni durumunu tahmin etmede FA'nın başarılı bir araç olduğunu göstermişlerdir. Hücrenin plazma zarı, bir lipit çift tabakasından ve birleşmiş proteinlerden oluşur ve bunların bir topluluk olarak etkileşimleri, bilginin alınmasını, hatırlanmasını, işlenmesini ve iletilmesini sağlar (169). Lipit çift tabakası ise, hücre içi ortamın ve homeostatik ve özel işlevler için gerekli çeşitli organellerin bölümlendirilmesinde ve organizasyonunda önemli bir rol oynar (170). Hücrenin en önemli bileşenlerinden biri olarak görülen bu yapı, biyofiziksel işlevi enerji ve metabolizma kapasitesi veya sinyal iletimi açısından yorumlanabilen çift tabakalı lipit zarıdır (163). Örneğin, sinir hücrelerinin dış zarını oluşturan lipit çift tabakasının sızdıran bir kapasitor gibi hareket ettiği daha önce yapılan bir çalışmada aktarılmıştır (171). Böylece X_c değeri hücre zarı bütünlüğüne göre değişmekteyken R ise, hücrenin hidrasyon durumunu ifade eden bir değer olarak görülmektedir (163).

2.3.3. Faz Açısının Referans Değerleri

Klinik ortamlarda prognostik bir araç olarak biyoelektrik impedans ile ölçülen FA'nın kullanımı önerilmekle birlikte yayınlanmış referans veri tabanları tutarsız ve eksiktir (164). FA referans değerlerinin olmayışı klinik ve epidemiyolojik durumlarda kullanımını sınırlamıştır (172). FA referans değerleri, kişiden elde edilen değerlerin popülasyon ortalamasıyla karşılaştırılarak değerlendirilebilmesi amacıyla önemlidir. Kavramsal olarak FA, karışık viskoelastik özelliklere sahip herhangi bir malzemede olduğu gibi R ile negatif, X_c ile pozitif bir ilişki içerisindedir ve bir dizi biyolojik faktöre göre insan vücudunda 1 ile 12 arasında değişebilir (163). 2000'li yıllardan önce FA üzerine yapılan çalışmalara rastlamak mümkün olsa da popülasyona özgü referans değerlerin ne olduğunu tespit etmek için yürütülen herhangi bir çalışma

araştırmacılar tarafından bulunamamıştır. Yaş, cinsiyet ve vücut kütle indeksi gibi değişkenlere göre referans değerleri ortaya koymak amacıyla ilk girişimlerin 2000’li yılların başında yapılan bazı çalışmalardan geldiğinden söz edilebilir (164, 172). Barbosa-Silva vd. (172), 18-94 yaş arasındaki 1,967 sağlıklı yetişkin katılımcıyla yaptıkları çalışmada yaş ve cinsiyet değişkenlerine göre FA için referans değerler ortaya koymayı amaçlamışlardır. FA ölçümleri için standart 50 kHz frekans ve 800µA akım veren bir BIA kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, FA’nın yaş ve cinsiyet özelliklerinden anlamlı derecede etkilendiğini ve erkeklerde kadınlara göre daha yüksek olduğunu gösterirken, yaş ile istatistiksel olarak anlamlı negatif bir korelasyon gözlenmiştir. Bu değişkenlere göre kategorize edilen FA değerleri belirtilen popülasyona özgü sağlıklı bireylerde gözlenmesi beklenen referans değerler olarak sunulmuştur. Benzer dönemde yapılan başka bir çalışma, FA değerlerine ilişkin referans değerler elde etmek amacıyla yaş ve cinsiyet değişkenlerine ek olarak vücut kütle indeksini de değerlendirmiş ve önceki çalışmadan farklı olarak çocuk ve adolesan popülasyonlarını da kapsayacak şekilde araştırmayı genişletmişlerdir (164). Bunun için retrospektif bir biçimde 15,605 çocuk ve 214,732 yetişkinin FA verileri diğer değişkenlerle birlikte analiz edilmiştir. Bu sayede araştırmacılar hem çocuk hem de yetişkinler için yaş, cinsiyet ve vücut kütle indeksine bağlı bazı popülasyon referans değerleri ortaya koymayı başarmışlardır. Elde edilen referans değerlerin adı geçen önceki çalışmaya kıyasla ciddi bir fark içerdiği de not edilmelidir. Barbosa-Silva vd. (172) tarafından yayınlanan referans değerlerde FA erkekler için neredeyse hiçbir yaş grubu aralığında 7°’nin altına düşmezken, kadınlarda aynı değer 6°’dir. Buna karşın Bosy-Westphal vd. (164) tarafından yapılan çalışmada paylaşılan FA değerleri, her iki cinsiyette vücut kütle indeksine göre incelendiğinde neredeyse hiçbir yaş grubu için diğer araştırmanın bulgularını destekleyecek değerlere ulaşmamaktadır. Yapılan araştırmalarda vücut kütle indeksinin FA değerleri için önemli görülmesinin sebebi, iki değişken arasında bir ilişki olduğuna dair sunulan kanıtlardan kaynaklanmaktadır. Nitekim vücut kütle indeksi ile FA arasındaki ilişkiyi gösteren çok sayıda çalışma bulunmaktadır (173, 174). Bu durumun popülasyonun özelliklerine göre değişiklik gösterebilebileceği not edilmelidir. Örneğin, vücut kütle indeksi ve FA arasında sporcu olmayan popülasyonlarda anlamlı bir ilişkiden söz edilirken, sporcu popülasyonlar gözetildiğinde bu ilişki ortadan kalkmaktadır (175). Yapılan güncel çalışmaları

incelemek, FA referans değerleri için daha isabetli çıkarımlar sağlayabilir. 2020 yılında yayınlanan kapsamlı bir meta-analiz ve sistematik derleme çalışması, popülasyona özgü referans değerler hakkında yeni bilgiler sunmaktadır (176). Mattiello vd. (176) BIA'dan elde edilen FA üzerine yaptıkları bu çalışmada 250000 katılımcıdan elde ettikleri sonuçlar, erkekler için bebeklikten ergenliğe kadar geçen süreçte FA değerlerinin kademeli olarak arttığını, yetişkinlik çağında benzer bir noktada sabitlendiğini ve yaşlanmayla beraber zaman geçtikçe bir düşüş eğiliminde olduğunu göstermiştir (0-2 yaş: $\bar{x} = 3,6$; 3-5 yaş: $\bar{x} = 5,6$; 6-12 yaş: $\bar{x} = 6,0$; 13-15 yaş: $\bar{x} = 6,4$; 16-18 yaş: $\bar{x} = 7,3$; 19-28 yaş: $\bar{x} = 6,9$; 29-38 yaş: $\bar{x} = 7,2$; 39-48 yaş: $\bar{x} = 7,0$; 49-58 yaş: $\bar{x} = 6,5$; 59-69 yaş: $\bar{x} = 6,5$; 70-80 yaş: $\bar{x} = 5,6$; >80 yaş: $\bar{x} = 5,3$).). Kadınlarda da FA değerlerinin benzer bir eğilim içindedir (0-2 yaş: $\bar{x} = 3,1$; 3-5 yaş: $\bar{x} = 5,4$; 6-12 yaş: $\bar{x} = 5,9$; 13-15 yaş: $\bar{x} = 6,3$; 16-18 yaş: $\bar{x} = 6,4$; 19-28 yaş: $\bar{x} = 6,1$; 29-38 yaş: $\bar{x} = 6,2$; 39-48 yaş: $\bar{x} = 6,3$; 49-58 yaş: $\bar{x} = 5,9$; 59-69 yaş: $\bar{x} = 5,6$; 70-80 yaş: $\bar{x} = 5,1$; >80 yaş: $\bar{x} = 5,4$).

2.3.4. Faz Açısının Ölçülmesi

BIA aracılığı ile FA ölçülmesi için amaca yönelik kullanılan farklı yöntemler vardır ancak hepsi için ortak olan özellik elektrik akımının vücuda verilmesiyle birlikte R ve Xc değerlerinin ölçülebilmesi için istenilen vücut parçalarına kaynak ve toprak elektrotların yerleştirilmesini içermektedir. Bahsedilen yöntemler elden-ele, ayakta-ayağa ve elden-ayağa impedans olacak şekilde özetlenebilir. Elden-ele teknolojisi, üst vücut impedansını ölçerken aksine, ayakta-ayağa teknolojisi alt vücut impedansını ölçer ve buna karşılık, elden-ayağa olacak şekilde doğrudan segmental teknoloji tüm vücut impedansını ölçmek için kullanılmaktadır (177). Tüm vücut BIA ölçümü, vücuttan zayıf fakat sabit bir alternatif akımın (800 μ A) geçmesini sağlayacak şekilde sağ el bileğine ve sağ ayak bileğine bir çift elektrot takılarak gerçekleştirilir (160). Bu ölçüm için literatürde çoğunlukla 50 kHz frekans kullanılmasına karşın farklı frekans uygulamalarının ve etkilerinin araştırma konusu olmaya devam ettiği not edilmelidir. BIA ile FA ölçümü yapılırken kullanılması muhtemel farklı frekansların etkilerine ilişkin olarak literatürde şu bilgiler yer almaktadır (178): 1) impedans analizinde tek bir faz açısı yoktur ve ölçümün tüm frekanslarında bir faz açısı vardır, 2) yaygın olarak 50 kHz frekans kullanılıyor olması yapılan ölçümlerin bu frekansta olduğu

varsayımını beraberinde getirmez ve kullanılan frekans araştırmacılar tarafından açıklanmalıdır, 3) maksimum faz açısının görüleceği maksimum reaktans noktasının bir tanımı olan karakteristik frekans hücre kütlesini ya da ya da hücre zarı bütünlüğüne ilişkin bilgi sağlanmaya çalışılıyorken kişiye özgü şekilde kullanmak gerekli olabilir, 4) ancak pratikte karakteristik frekans kavramını kullanmak yerine yaygın olarak kullanılan 50 kHz frekans uygundur. FA'nın doğrudan ölçülmesi için kullanılan bu 50 kHz düzeyinde tek bir frekans içeren yaklaşım ve bir dizi frekans kullanılarak her frekansta toplanan verileri en iyi modeli oluşturmak için kullanan diğer yöntem birbirinden farklı sonuçlar vermektedir ve birbiri yerine kullanılmamalıdır (168). Yine de her iki yaklaşım için öngörülen temel prensipler aynıdır. Vücuda uygulanan alternatif akım hücre dışı ve içi sıvılardaki su ve elektrolitlere bağlı olarak zayıflar (bu R 'yi ifade eder) ve akımı depolayan ve serbest bırakan kapasitörler gibi davranan hücre zarları tarafından geciktirilir (bu X_c 'yi ifade eder) (168). BIA ölçüm yöntemleri arasında elektrotların hangi vücut bölümlerine yerleştirileceği de değerlendirilmesi gereken bir başka yöntemsel farklılık olarak karşımıza çıkmaktadır. Elektrotların yerleştirilme yerlerine göre adlandırılan farklı yöntemler elden-ele, ayaktan-ayağa ve elden-ayağa olacak şekilde sınıflandırılabilir (179, 180). BIA uygulamaları için elden-ele ve ayaktan-ayağa ölçüm yapan cihazlar segmental impedans analizörleri olarak tanımlanmakta olup, elden-ele impedans ölçümleri üst ekstremité ve ayaktan-ayağa impedans ölçümleri ise alt ekstremité bölümlerinin impedansla ilişkisi hakkında bilgi edinmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (179). Elden-ayağa BIA analizleri ise tüm vücut bileşenlerinin durumunu yansıtmaktadır ve segmental impedans analizine kıyasla vücut kompozisyonu belirlenmesi için uygulanan hidro-dansitometri yöntemiyle daha yüksek bir korelasyon göstermektedir (180). İnsan vücudunda alt ve üst ekstremité bölümlerinin birbirinden ayrı değerlendirilmesini gerektirmeyen çalışmalarda elden-ayağa tüm vücut impedans analizi yöntemlerinin kullanılması gerektiği söylenebilir.

2.3.5. Faz Açısı ve Sağlık

FA vücutta bulunan hücre zarlarının elektriksel bütünlüğünü gösterdiğinden ve hastalık, iltihaplanma, yetersiz beslenme ve işlevsel engellerin FA'yı doğrudan etkileyen bozulmuş elektriksel doku özelliklerine yol açabileceği iyi bilindiği için kanser, böbrek ve kalp hastalıkları, HIV olan kişiler, amiyotrofik lateral skleroz ve benzer birçok klinik durumda mortalite için bir prognostik belirteç olarak rolü araştırılmıştır (181). Sağlıklı insanlarda görülen daha yüksek FA değerleri iskelet kası ve vücut hücre kütlesini oluşturan büyük miktarda sağlam hücre zarlarının varlığıyla tutarlılık göstermektedir (165). Yine de FA'nın ilişkili olduğu sağlıkla bağlantılı parametreler başka çalışmalarda incelendiğinde ortaya çıkan bulgular birbirinden farklılık gösterebilmektedir. Örneğin Visser vd. (182) kardiyak cerrahi hastaları üzerinde yapmış oldukları çalışmada, düşük FA değerlerinin yoğun bakım ünitesi ve hastanede kalış sürelerinin uzaması ve yetersiz beslenme gibi durumlarla ilişkili olduğunu ortaya koyarken, ölüm riskinin bir belirleyicisi olduğu varsayımını kanıtlayan bir bulgu elde edememişlerdir. Bu gibi tutarsızlıkların ölçüm yönteminin dayandığı mekanizmalar çerçevesinde, hastalık durumuna bağlı olarak vücut sıvı dengesindeki bozulmalar ya da farklı çalışmalardaki örneklem grubunun özelliklerinden kaynaklanabileceği not edilmiştir (182). Bu sebeple FA için elde edilen referans değerler ya da spesifik bir özelliğin değerlendirilmesinde yardımcı olacağı düşünülen kesim noktası değerleri (cut-off values) yanıltıcı olabilmektedir. Düşük FA değerlerinin sağlık açısından olumsuz sonuçların bir öngörücüsü olduğu kanıtlanmış olsa da, şimdiye kadar bildirilen kesim noktası değerlerindeki değişkenliğin yaygınlığı oldukça fazladır (183). Kesim noktası değerlerindeki mevcut değişkenlik, FA'nın isabetli klinik tanımlar için kullanılmasını engelleyici bir unsur olarak görülmektedir (184). Yine de yapılan çalışmalar FA ile insan sağlığı arasında derin bir ilişkinin varlığına işaret etmektedir (185-187) ve bu sebeple araştırma konusu olmaya devam etmektedir. Örnek olarak akut dekompanse kalp yetmezliği hastalarında hastaneye kayıt sırasında ölçülen FA değerlerinin mortalite için prognostik bir belirleyici olarak etkinliğini araştıran bir çalışma incelenebilir. Alves vd. (185) tarafından 2016 yılında sadece yetişkin bireyler üzerinde yapılan bu çalışma, % 63'ü erkek, % 37'si kadın olmak üzere toplam 71 hastadan oluşan bir katılımcı grubu ile yürütülmüştür. Katılımcılara ilişkin mortalite durum bilgisi hastanede kalış sürelerinin bitiminden

ortalama olarak 24 ay sonrasında belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, hastaneye kayıt sırasında ölçülen ortalama FA değerinden düşük FA değerine sahip olmanın yüksek mortaliteyle ilişkisini ortaya koymaktadır. Yaşamaya devam eden katılımcılar, mortalite için bilinen risk faktörleri yönünden ölen katılımcılarla kıyaslandığında, diğer değişkenlerden bağımsız olarak 4,8°'den daha düşük bir FA mortalite ile daha yüksek bir ilişki içerisindedir. Benzer şekilde, FA'nın kanser hastalarının hayatta kalma durumlarıyla ilişkisini inceleyen bir meta-analiz ve sistematik derleme çalışması da, FA'nın mortalite için prognostik bir araç olduğuna yönelik bilgiler sunmaktadır (188). Benzer araştırma konularının çocuklar üzerinde incelendiği güncel çalışmalar da literatürde mevcuttur (189, 190). Zamberlan vd. (10) yaşları 2 ay-18 yıl arasında değişen ve hastaneye kayıt sebebi sepsis olan 247 çocuk katılımcıyı dahil ettikleri bir çalışmada katılımcıların FA değerleri, pediatrik yoğun bakım ünitesindeki kalış süreleri ve mortalite açısından incelenmiş ve bu değişkenler arasındaki ilişki anlaşılmaya çalışılmıştır. Araştırmacılar elde ettikleri verileri değerlendirdiklerinde, FA değeri 2,8°'den yüksek olan çocukların, 2,8° ve daha düşük değerlere sahip olanlara kıyasla hayatta kalma ihtimallerinin daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. Düşük FA değerine sahip çocukların pediatrik yoğun bakım ünitesinde kalış sürelerinin uzadığı da bu çalışmadan elde edilen bulgular arasındadır. Xiong vd. (191) tarafından yapılan benzer bir çalışmanın çıktıları da daha önce aktarılan bilgileri destekler niteliktedir. Yaşları 1-18 arasında değişen ve gözlemsel prospektif bir araştırma deseni ile araştırmaya dahil edilen 231 çocuktan elde edilen bulgular, 90 gün hayatta kalan çocukların kalmayanlara kıyasla FA değerlerinin istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek olduğuna işaret etmektedir. Çocukların mekanik ventilasyonda kalma süresi ile FA değerleri arasındaki ilişki yaş değişkeni sabit tutularak yapılan kısmi korelasyon analizi sonrası bu iki değişken arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu göstermeye devam etmiştir. Sonuç olarak araştırmanın çıktıları FA'nın, kritik derecede hasta çocuklarda 90 günlük mortalitenin bağımsız bir öngörücüsü olduğunu ve düşük FA değerlerinin mekanik ventilasyon süresinin uzamasıyla ilişkili olduğunu göstermiştir. Bu çalışma yetişkinlerde olduğu gibi çocuklarda da FA'nın sağlık ile ilişkili bir parametre olduğu varsayımını desteklemektedir. 2024 yılında yayınlanan bir sistematik derleme çalışması, FA'nın kritik hastalıklara sahip çocuklarda klinik sonuçları tahmin etme

potansiyeline işaret etmektedir (189). Araştırmacılar BIA’da kullanılan ekipmanlar ve FA için kesim noktası değerleri belirlenirken kullanılan küçük örneklem büyüklüklerine, farklı klinik koşullara ve metodolojik değişkenliklere dikkat çekerek daha isabetli sonuçlar için standart FA protokolleriyle yapılacak daha büyük çalışmaların gerekliliğini gözler önüne sermiştir (189).

2.3.6. Faz Açısı ve Sportif Performans

Literatürde FA ile fiziksel uygunluk bileşeni olarak görülen çeşitli değişkenler arasındaki ilişkiyi analiz etmeyi amaçlayan farklı çalışmalar bulunmaktadır (192). Bu çalışmalarda kas kuvveti, vücut kompozisyonu ve aerobik/anaerobik güç gibi fiziksel özellikler farklı yaş grupları, hasta ya da sağlıklı kişiler ve sporcu popülasyonlarını içerebilecek şekilde, farklı araştırma yöntemleriyle incelenmiştir (24, 193-195). Yakın zamanda yapılan bir sistematik derleme çalışmasına göre, araştırma kapsamında incelenen çoğu çalışma FA ile kas kuvveti ve aerobik uygunluk bileşenleri arasında çeşitli sağlık durumları ve yaş grupları gözetildiğinde bile direkt bir ilişkinin varlığına işaret etmektedir (13). Ancak kas kuvveti ile FA arasında gözlenen istatistiksel olarak anlamlı ilişkilerin altında yatan mekanizmalar tam olarak belirlenmemiştir (13). FA için ölçülen temel parametrelerden biri olan R’nin, hücre içi ve dışındaki sıvıların bir yansıması olduğu bilinmekle birlikte (158, 168), kuvvet/sıçrama yüksekliği gibi özelliklere ilişkin performans göstergelerinin ana belirleyicisinin hücreler arasındaki sıvı miktarı olduğunu gösteren çalışmalarda vardır (196). Dolayısıyla kas kuvveti ve FA arasında gözlenen anlamlı ilişkinin sebebi, bu değişkenlere etki eden ortak bir bileşen olan hücreler arasındaki sıvı miktarı ile açıklanabilir. Diğer yandan bu ilişkinin nedenini açıklamayı amaçlayan bir başka yaklaşımda ise ana etkenin FA’nın diğer temel parametresi olan Xc değeri olabileceği düşünülmektedir. Buna göre daha yüksek FA değerleri, daha iyi bir hücre bütünlüğüyle ilişkilidir ve varsayımsal olarak daha yüksek bir kuvvet üretme kapasitesine dönüşecek olan daha yüksek bir Xc ile temsil edilmekte olabilir (197). Hem proteomik alanında yapılan çalışmalar hem de modern bilişim analizleri, FA’nın vücut hücre kütleini temsil eden bir parametre olduğu görüşünü destekler niteliktedir (198). İskelet kasları ise vücut hücre kütleinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır (163, 199). Dolayısıyla FA ile kas kuvveti arasındaki anlamlı ilişkiyi açıklamak için önerilen bir diğer varsayım, vücuttan alternatif akım

geçerken hücre zararlarının kapasitör işlevi görerek oluşturduğu gecikme olarak ifade edilen X_c değerinin vücut hücre kütlesiyle bağlantılı olması ve bu sayede iskelet kaslarının fonksiyonunu yansıtmakta olabileceği şeklindedir. FA'nın fiziksel aktiviteyle ilişkisini daha iyi anlamayı amaçlayan çalışmalarda amatör ve profesyonel sporcular arasındaki fark, farklı spor branşlarında değişim gösterip göstermediği ve performansla ilişkili olabileceği düşünülen bazı genetik faktörlerle etkileşimi gibi konulara ve daha fazlasına yer verilmiştir (200-203). Örneğin Veita vd. (201), 26 farklı spor branşında uzmanlaşmış olan 620 erkek, 323 kadın toplam 943 Küba'lı sporcu ile yapmış olduğu çalışmada ortalama en yüksek FA değerlerine sahip spor branşlarının erkeklerde halter ve triatlon olduğunu gösterirken, kadınlarda artistik jimnastik ve yine halter branşında ortalama en yüksek FA değerlerinin tespit edildiğini ortaya koymuştur. Diğer yandan Giorgi vd. (200) aralarında 232 amatör, 59 elit-geç, 155 profesyonel yol bisikletçisi olan 525 erkek katılımcıdan oluşan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmanın çıktılarından bazıları, FA ile belli bir spor branşındaki elitlik seviyesi arasında bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda basitçe bir ifadeyle FA, profesyonel seviyede olan sporcularda amatör ve elit olanlardan istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksektir.

2.3.7. Faz Açısı ve Kas Kuvveti

Kasla ilgili özelliklerin (kuvvet, güç, kalite, vb.) FA ile ilişkisinin incelendiği çalışmalar bir çok farklı biçimde gerçekleştirilmiştir. Buna örnek olarak, yaşlı kadın ya da erkek popülasyonlarının sağlıklı ya da çeşitli hastalık durumlarında incelendiği çalışmalar gösterilebilir (204-206). Yapılan güncel çalışmalar sağlıklı yaşlı popülasyonlarda, FA ile kas kalitesi ve kas büyüklüğü arasında anlamlı bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur (205, 206). Örneğin, Nunes vd. (206) 66 yaşlı kadın katılımcı ile yürütmüş oldukları araştırmada 12 hafta süren bir direnç egzersizi programının etkilerini incelemişlerdir. Yapılan değerlendirmeler, direnç antrenmanı uygulamaları sonrası hem spesifik direnç antrenmanı hareketlerinde üretilen kuvvet hem de toplam kuvvet yönünden, FA değerlerinde, iskelet kası kütlesinde ve kas kalitesi indeksinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif değişimlere işaret etmiştir. Bu bulgular genel bir çerçeve olarak kas kalitesi ve FA arasında var olan ilişkiyi temsil etmektedir. Kas kalitesi indeksindeki direnç egzersizi etkenli relatif değişimler

arasında anlamlı bir ilişki ($r = 0,62$) olduğu ve direnç egzersizi uygulaması sayesinde kas kalitesi indeksinde meydana gelen değişimlerin FA'daki artışla bağlantılı olduğu görülmüştür. Benzer bulgular 2022 yılında Arieta vd. (205) tarafından yaşlı erkek katılımcılarla gerçekleştirilen araştırmada da söz konusudur ve kas kalitesi ile FA arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki gözlenmiştir. Ayrıca direkt olarak kasın özelliklerini geliştirmeye yönelik bir antrenman metodu olan direnç egzersizlerinin yaşlı popülasyonlar üzerinde FA'yı geliştirdiğini gösteren kanıtlar da vardır (207). Dahası, FA ve kasın özellikleri arasında nasıl bir bağlantı olduğunu yetişkinler üzerinde inceleyen çalışmalar da literatürde mevcuttur (208-210). Bu çalışmalardan birinde Ribiero vd. (210), 28 erkek 31 kadın sağlıklı yetişkin katılımcıdan oluşan araştırma grubuyla hipertrofi amacıyla gerçekleştirilen direnç antrenmanının etkileri ve FA ile ilişkisini incelemişlerdir. Bulgular, uygulanan antrenman yönteminin hem kadın hem de erkek katılımcılarda FA, toplam vücut suyu ve hücreler arası sıvı miktarını anlamlı derecede artırdığını göstermektedir. Bu ilişki farklı bir perspektiften, kasın özelliklerini doğrudan etkileyen bir hastalık olan sarkopeni durumunda da gözlenmektedir (209). Yaşları 22-76 arasında değişmekte olan erkek katılımcılarla yürütülen bir çalışmanın bulguları, sarkopeni hastalarında sarkopeni olmayanlara kıyasla el kavrama kuvveti, iskelet kası kütlesi, Xc ve FA değerlerinin anlamlı derecede düşük R'nin ise anlamlı derecede yüksek olduğuna işaret etmektedir (209). Bu bulgular yetişkin ve yaşlı katılımcılarda kasın özelliklerinin FA ile ilişkili olduğu yönünde kanıt niteliği taşımaktadır. Yine de bazı çalışmalarda aksi yönde sonuçların raporlandığını not etmek gerekmektedir. Örneğin, Sato vd. (208) 19 sağlıklı yetişkin erkek katılımcı ile gerçekleştirdikleri çalışmada 50 kHz akım ile ölçülen ve bu araştırma kapsamında değerlendirilmekte olan standart bir FA ölçümünden elde edilen sonuçların kas kuvveti, kas yoğunluğu ya da kas kalınlığı gibi çeşitli özellikler ile arasında herhangi bir ilişki gözlemlenmediğini raporlamışlardır. FA değerlendirmesinde kullandıkları bir başka yöntem (Cole-Cole Modeli) ise, araştırmada değerlendirilen kasa ait özelliklerin bazılarıyla ilişkili bulunmuştur. Yetişkinlerle ilgili yapılan çalışmalar da yaşlılarda olduğu gibi FA ile kasın özellikleri arasında çoğunlukla anlamlı bir ilişki olduğu yönünde sonuçlar ortaya koymaktadır. Son yıllarda yapılan güncel araştırmalar genç yetişkin bireylerin el kavrama kuvveti, durarak sıçrama, squat sıçrama ve aktif sıçrama gibi kas kuvvetini yansıtan özelliklerin

ön planda olduğu hareket performanslarıyla FA ölçümlerinden elde edilen değerler arasında bir bağlantı olduğuna dair güçlü kanıtlar sunmaya devam etmektedir (211). FA ve kasın özellikleri arasındaki ilişkinin çocukluk döneminde inceleyen çalışmalarda mevcuttur. Sacco vd. (212) tarafından gerçekleştirilen araştırmanın sonuçları incelenmeye muhtaçtır. Genç yetişkin bireyler ve adölesan çocuklardan oluşan kadın ve erkeklerde yapılan araştırmanın sonuçları, el kavrama kuvveti testi ile FA arasında güçlü bir ilişkiyi ortaya koymuştur. Yapılan başka bir çalışmada çocuk, yetişkin ve yaşlı bireyler birlikte değerlendirildiğinde, FA ile kas performansı arasındaki ilişkinin özellikle çocuklarda daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır (213). Yetişkin ve yaşlı katılımcılarda ise, hücreler arası su miktarının FA'ya kıyasla kas performansını tahmin etmede daha önemli bir parametre olduğu öne sürülmüştür. Bu durumu konu alan araştırmalar insan vücudundaki iskelet kaslarının çeşitli özellikleri (örn: hipertrofi, atrofi, kuvvet, kalite, vb.) ile FA arasında çoğu etkenden (örn: yaş, cinsiyet, vb.) bağımsız olarak derin bir bağlantı olduğuna işaret etmektedir. Ancak yapılan çalışmaların çoğunlukla yaşlı popülasyonlar üzerinde ve yoğun olarak spesifik hastalık koşullarında araştırıldığına dikkat çekmek gerekmektedir. Bu sebeple, farklı popülasyonlarda ve çeşitli hastalık durumlarından bağımsız olarak, çocuklarda yapılacak daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğundan söz etmek mümkündür.

2.3.8. Faz Açısı ve Aerobik Güç

FA'nın aerobik güç ile ilişkisini araştıran çalışmalar çocuk, yetişkin ve yaşlı olarak sınıflandırılabilen farklı yaştaki insan popülasyonları üzerinde incelendiğinde, FA ile aerobik güç arasında istatistiksel olarak anlamlı ve direkt bir ilişkinin gözlemlendiği sıkça raporlanmıştır (9, 14, 23, 214). Sağlık alanında yapılan çalışmalarda kardiyorespiratuar uygunluk ya da aerobik uygunluk gibi literatürde farklı tanımlar atfedilebilen bu ölçümlerin ana çıktısı, sportif performans değerlendirmesinde olduğu gibi yine VO_{2maks} ile açıklanmaktadır (215). Kardiyorespiratuar uygunluk ise kalp, kan damarları, akciğerler ve iskelet kaslarının iş yapabilme konusundaki fonksiyonel kapasitelerini yansıtmaktadır (215). Daha önce aktarılan vücut hücre kütlesi ise O_2 tüketimi, CO_2 üretimi ve enerji harcamasında rol oynayan metabolik olarak aktif hücre kütlesi olarak tanımlanmaktadır (216). İskelet kaslarının vücut hücre kütlesinin büyük bir bölümünü oluşturduğu bilinmektedir. FA

ile kas kuvveti arasındaki ilişkiyi açıklamak için önerilen mekanizmalar VO_{2maks} kavramı için düşünüldüğünde, bu sürece dahil olan bileşenlerin iskelet kaslarına ek olarak insan vücudunu oluşturan diğer aktif dokuları da içerdiği dikkate alınmalıdır. VO_{2maks} ölçülmesi için iskelet kaslarının yanı sıra harekete katkı sağlayan diğer dokular ve bu dokuları oluşturan hücrelerin kütleleri FA tarafından açıklanabilir. FA ile hem aerobik hem de anaerobik süreçler üzerine yapılan çalışmalarda gözlemlenen ilişkilerin nedeni bu olabilir (13). Nitekim yapılan çalışmalar aerobik gücün yanı sıra anaerobik gücün de FA ile istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkiye sahip olduğuna işaret etmektedir (193, 217, 218). Her iki sürece katkı sağlayan ana bileşen vücut hücre kütlesinin büyük bölümünü oluşturan iskelet kasları olduğu için, kas kuvveti ve FA arasındaki ilişkiyi açıklamayı amaçlayan mekanizmaların bu özellikler içinde rol oynadığından bahsetmek mümkündür. Aerobik ve anaerobik süreçlerin yalnızca iskelet kaslarıyla sınırlı kalmadığı ve vücut hücre kütlesini oluşturan diğer aktif dokuları da içerdiğinden bahsedilebilir. Hem aerobik (9, 14, 219) hem de anaerobik gücün (220-222) FA ile ilişkisini gösteren çalışmalar vardır. 2021 yılında yayınlanan bir araştırma, FA ve aerobik güç arasındaki ilişkiyi sağlıklı yaşlı bir popülasyonda ortaya koymayı amaçlamıştır (14). Adı geçen çalışmada “Aerobik Kapasite” olarak nitelendirilen özellik VO_{2maks} ile ilişkilendirildiği için aerobik güç olarak tanımlanabilir. Bu doğrultuda aerobik güç değerlendirmesi, bir yürüyüş testi ile yapılmıştır. Bu testin yaşlılarda VO_{2maks} ile yüksek bir korelasyona ($r = 0,827$) sahip olduğu araştırmacılar tarafından not edilmiştir. Araştırmanın çıktıları FA ile aerobik güç arasında hem elden-ayağa impedans yöntemiyle ölçülen tüm vücut FA değerleri hem de alt ya da üst vücut bölümlerine spesifik elde edilen FA değerlerinin farklı frekanslarında (5kHz, 50kHz ve 250kHz) çoğunlukla istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu göstermektedir. Literatürde çoğunlukla 50 kHz frekans kullanılarak ölçülen standart bir FA değerlendirmesinden elde edilen değerler ile aerobik güç arasındaki ilişki incelendiğinde, aerobik gücün FA’daki değişimin % 13,3’ünden sorumlu olduğu görülmektedir ($r = 0,365$, $r^2 = 0,133$, $p = < 0,001$). Yaşlılarda FA ile çeşitli fiziksel performans göstergeleri arasında gözlenen ilişki, FA’nın vücut hücre kütlesi ve kas hücre kütlesinin dolaylı bir göstergesi olduğu yönündeki bilgilerle açıklanmaya çalışılmıştır. Ayrıca bu sonuçların hücrelerin sağlık durumundan kaynaklanıyor olabileceği de tartışılmıştır. Benzer olguların yetişkinliğe ulaşmadan

önce nasıl değişebileceği FA ile fiziksel performans arasındaki bağlantının açıklanması gereken başka bir yönüdür. Çocukların FA değerleri, dayanıklılık performansının ölçülmesini içeren çeşitli yaklaşımlarla birlikte araştırmalara konu olmaktadır. Örneğin Langer vd. (194), ortalama yaşları $12,8 \pm 1,3$ yıl olan 203 kız ve 220 erkek çocuktan oluşan bir popülasyon ile VO_{2zirve} ile tarif edilen kardiyorespiratuar uygunluk durumu ve FA arasındaki ilişki incelenmiştir. Bulgular, elden ayağa impedans yöntemiyle ve 50 kHz frekans kullanılarak belirlenen FA değerleri ile VO_{2zirve} ölçümü için tahmin yöntemi olarak kullanılan kademeli artan efor testi sonuçlarının anlamlı bir ilişkiye sahip olduğunu göstermiştir. Bu ilişki sadece erkek çocuklarında ortaya çıkmıştır ve kız çocuklarında gözlenmemiştir. Araştırmacılar, erkek çocuklarda VO_{2zirve} özelliğinin FA üzerinde % 17 oranında bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Erkek çocuklarında FA ve VO_{2zirve} değerleri arasında gözlenen ilişki, ölçülen her iki değişkenin de sağlıklı ilişkili bileşenler olmasına dikkat çekerek açıklanmaya çalışılmıştır. Benzer bulgular ortaya koyan başka bir çalışma 2024 yılında literatüre girmiştir (219). Bu çalışmanın sonuçları da, aerobik güç özelliği olarak değerlendirilmesi mümkün değişkenlerin (VO_{2zirve} , kardiyorespiratuar uygunluk, vb.) sadece erkek çocuklarında FA ile ilişkili olduğunu öne sürmektedir. Bu doğrultuda yaşları 11-16 arasında değişen 152 adolesan çocuğun çeşitli fiziksel performans özellikleri değerlendirilmiştir. VO_{2zirve} ölçümü için tahmin yöntemi olan bir saha testi kullanan araştırmacılar önceki çalışmayla tutarlılık gösterecek şekilde elden-ayağa FA ölçümünü literatürde en sık kullanılan frekans (50 kHz) ile ölçmüşlerdir. Kız çocuklarında VO_{2zirve} ile FA arasında herhangi bir ilişki gözlenmezken, erkek çocuklarında mutlak VO_{2zirve} değerini yansıtan testin toplam süresi ve bu sürelerin daha sonra vücut ağırlığına, boy uzunluğuna ve yağsız vücut kütlelerine göre normalize edilmesiyle elde edilen allometrik değerleri FA ile istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler göstermiştir. Benzer araştırma yöntemleri kullanan ve bulguları birbiriyle tutarlılık gösteren bu 2 önemli çalışmada da, VO_{2zirve} ile FA arasındaki ilişkinin sadece erkek çocuklarında görülmesine kavramsal ya da kanıta dayalı bir neden-sonuç ilişkisi ortaya koyulamamıştır (194, 219). Diğer yandan, kız çocuklarında da FA ile VO_{2zirve} arasında anlamlı bir ilişki olduğunu gösteren bir çalışmayı ele almak bu anlamda önemli bilgiler sağlayabilir. Langer vd. (9) yaptıkları araştırmanın sonucunda önceki çalışmalardan farklı olarak erkek çocuklarında olduğu

gibi kız çocuklarında da FA ile $VO_{2\text{zirve}}$ arasında anlamlı bir ilişki olduğunu öne sürmüştür. Ancak bu çalışmanın en büyük sınırlılıklarından birisi katılımcı grubundan kaynaklanmaktadır. Araştırmada değerlendirilen sadece 11 kız çocuğu olması ortaya koyulan sonuçların genellenebilirliğini sorgulamaya açık hale getirmektedir. Dahası, şimdiye kadar aerobik güç ve FA hakkında aktarılan çalışmaların ortak bir sınırlılığından söz etmekte mümkündür. Bu anlamda çoğu çalışmanın, aerobik güç değerlendirmesini $VO_{2\text{zirve}}$ ya da $VO_{2\text{maks}}$ gibi kavramları nispeten iyi tahmin ettiği düşünülen bazı indirekt tahmin yöntemi yaklaşımlarıyla belirlenmeye çalıştığı dikkate alınması gereken bir unsurdur. Bilimsel araştırmaların ortaya koyduğu kanıtlar çoğunlukla bahsedilen bu iki özellik arasında diğer birçok etkenden bağımsız bir ilişki olduğunu önermektedir. Ancak aksini gösteren çalışmalar da dikkate alınmalıdır. Örneğin Ayala-Guzmán vd. (223) yaşları 15-18 arasında değişen adölesan boksörlerle yapmış olduğu çalışmanın sonucunda FA'nın hız, çeviklik, çabukluk, kardiyovasküler uygunluk ya da alt ekstremitte gücünün bir göstergesi olmadığını raporlamışlardır. Doğrusal regresyon modelleri vücut kompozisyonuna göre ayarlandıktan sonra FA'nın relatif maksimal gücün bir öngörücüsü olarak kaldığı ve üst ekstremitte kuvveti üzerinde anlamlı bir etkisi olduğuna dikkat çekilmiştir. Son olarak, yapılan geniş çaplı bir araştırmanın sonuçları daha kesin çıkarımlar için gereklidir. Genton vd. (24) tarafından yapılan bir çalışmada koşu performansı ile FA arasındaki ilişki incelenmiştir. Toplam 2264 katılımcının (1025 kadın, 1239 erkek) verileri analize dahil edilmiştir. Bulgular FA'nın kadınlarda ve erkeklerde koşu hızıyla anlamlı derecede ilişkili olduğuna dair güçlü kanıtlar sunmuştur. Dolayısıyla yapılan araştırmalar, çoğunlukla aerobik güç özelliği ile FA arasında dolaylı ya da direkt olarak bir bağlantı olduğuna dair sonuçlar ortaya koymaktadır. Ancak bilimsel araştırmalarda kullanılan yöntem, ekipman ve katılımcı grubunun özellikleri gibi birçok değişken sonuçlara etkiyebileceği için çalışmalar arası tutarsızlıkların nedeni olabilir. Bu konuda zaman içinde gelişen, değişen ve güncellenen literatür sıklıkla aerobik güç ve FA özellikleri arasındaki bağlantıyı gözler önüne sermektedir. Yine de bu durumun nedenine ilişkin teorik arka planı konusundaki eksiklikler açıkça görülmektedir.

2.3.9. Faz Açısı ve Anaerobik Güç

FA ile Anaerobik Güç arasında bir etkileşim olup olmadığını ve varsa bu ilişkiyi anlamlandırmayı amaçlayan bazı çalışmalar literatürde mevcuttur (220-222). Bu çalışmalar yaşlı (220), yetişkin (221) ve yetişkin sporcu (222) popülasyonları gibi farklı özelliklere sahip katılımcı gruplarını içerecek şekilde yürütülmüştür. Anaerobik güç kavramı genellikle sürat, yüksek efor ve kısa süren hareketler ile ilişkilendirildiği için yaşlıların fiziksel kapasiteleri göz önünde bulundurulduğunda anaerobik güç özelliği bakımından yürütülen çalışmalara sık rastlanmaması doğal karşılanabilecek bir durumdur. Yaşlı popülasyonların fiziksel aktivite bakımından değerlendirilmesini içeren çalışmalarda kullanılan protokoller süre ve şiddet yönünden incelendiğinde, anaerobik güç özelliğinin yoğun olarak aktif olduğu bilinen kısa süreli yüksek efor gerektiren aktiviteler için bazı çıkarımlar yapılabilir. Bu doğrultuda FA ve fiziksel fonksiyonel kapasite ölçümleri için kullanılan bazı testlerde gösterilen başarı arasındaki ilişkiyi yaşlılar üzerinde inceleyen bir çalışma incelenebilir. Oliveira vd. (220) 46 kadın yaşlı katılımcıdan oluşan araştırma grubunu vücut kütle indeksi değişkenine göre sınıflandırarak 4 farklı gruba ayırmıştır. Araştırmacılar elden-ayağa impedans yöntemiyle hem çoklu frekans analizi yapmışlar hem de sabit bir 50 kHz frekans kullanarak ölçümler gerçekleştirmişlerdir. Aynı zamanda fiziksel performansı değerlendirmek amacıyla çeşitli yöntemler kullanmışlardır. Kullanılan test yöntemlerinden bazıları 6 dakika süren yürüyüş testi gibi uzun süren bir efor sarfetmeyi ya da denge becerisini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Diğer testler 30 saniyede en yüksek sayıda spesifik bir hareketi gerçekleştirmek (sandalyeye oturup kalkmak ya da bir direnç altında kol bükme ve açma hareketlerini gerçekleştirmek) için uygulanmıştır. Ek olarak aralarında 2,44m mesafe bulunan iki sandalyenin birinden kalkıp diğerine ne kadar hızlı bir şekilde oturabildiği gibi daha kısa süren ve çeviklik gerektiren bir test yaklaşımından da yararlanılmıştır. Kısa süren ve hareketi en yüksek sayıda ya da en kısa sürede gerçekleştirmek için yüksek efor ve sürat gereken bu testlerde enerjinin ağırlıklı olarak anaerobik metabolik yollardan sağlandığı isabetli bir çıkarım olacaktır. Elde edilen bulgular anaerobik güç ve FA arasındaki ilişkinin anlaşılması için bu çerçevede incelenmelidir. Yapılan regresyon analizleri fiziksel performans göstergelerine ilişkin çıktılar ile FA'nın etkileşimi hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. FA bütün performans testleriyle anlamlı bir

ilişki içerisinde. Ancak FA'daki değişim üzerinde en yüksek etkiye sahip performans çıktıları kısa süren ve diğer test yöntemlerine göre daha yüksek şiddet gerektiren yaklaşımlardan elde edilmiştir. Bir sandalyeden kalkıp kısa bir mesafe sonra diğer sandalyeye en kısa sürede oturmayı içeren test sonuçları FA'daki değişimin % 29,6'sını açıklamaktadır. Otuz saniyede en yüksek tekrar sayısına ulaşmayı amaçlayan kol bükme-açma hareketi ve otur-kalk hareketleri sırasıyla FA'daki değişimin % 24,3 ve % 14,8'inden sorumludur. Dayanıklılık, denge ve elde edilen bütün testlerin değerlendirildiği farklı incelemeler FA ile anlamlı bir ilişkiye sahip olduklarını gösterebilir. Açıklayıcılık katsayıları bu değişkenlerin etkisinin FA üzerinde yalnızca % 9,9 olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sebeple yaşlılarda anaerobik güç özelliğinin FA'yı diğer fiziksel performans bileşenlerinden daha çok etkilediği söylenir. FA ve anaerobik güç özelliği arasında bir ilişki olduğu fiziksel olarak aktif erkek katılımcılarla yürütülen çalışmalarda da görülmektedir. Örneğin Fukuoka vd. (221) yaşları 18-45 arasında değişen 44 erkekten oluşan bir araştırma grubu ile FA'nın güç ve kas kuvveti arasındaki ilişkisini araştırmışlardır. Elden-ayağa impedans yöntemiyle tüm vücut FA değerlendirmesini 50 kHz standart bir frekans kullanarak ölçen araştırmacılar, kas kuvveti değerlendirmesinde popüler direnç egzersizi hareketlerinden olan squat ve bench-press hareketlerinde 1 tekrar maksimal kaldırış uygulamasını kullanmışlardır. Kas gücünü ölçmek için ise WAnT ve aktif sıçrama protokollerinden yararlanılmıştır. Araştırmacılar hem katılımcıları FA özellikleri bakımından 1/3'lük dilimlere göre sınıflandırarak fiziksel performans açısından farkları incelemiş hem de elde edilen tüm verileri kapsayacak şekilde yağsız yumuşak doku kütlesi ve yağsız yumuşak doku kütlesine ek olarak vücut yağ yüzdesinin de sabit değişken olarak belirlendiği 2 farklı regresyon modeli oluşturmak için kullanmışlardır. Elde edilen veriler istatistiksel olarak incelendiğinde anaerobik güç özelliğinin bir yansıması olan WAnT ve aktif sıçrama hareketleri için FA değerleri bakımından ilk 1/3'lük dilimde yer alan katılımcılar ile son 1/3'lük dilimde yer alan katılımcıların performansları arasında anlamlı bir fark olduğuna işaret etmiştir. Yani FA'sı yüksek olan katılımcıların aktif sıçrama ve WAnT çıktıları daha yüksektir. Oluşturulan her iki regresyon modeli de FA ile aktif sıçrama ve WAnT arasındaki ilişkinin, yağsız yumuşak doku kütlesi veya yağsız yumuşak doku kütlesine ek olarak vücut yağ yüzdesine göre kontrol edildiğinde bile anlamlılığını korumaya devam ettiğini

göstermektedir. Bu durum yetişkinlerde FA ile anaerobik güç özelliği arasındaki ilişkinin varlığını desteklemektedir. Yetişkin sporcular üzerinde yürütülen başka bir çalışmada da anaerobik güç ile FA arasında anlamlı bir ilişki raporlanmıştır (222). Bu araştırmada hem tüm vücut hem de alt ekstremité bölgesine ilişkin FA değerleri elde edilmiş ve gerçekleştirilen kuvvet ve güç testlerinden elde edilen bulgular çerçevesinde incelenmiştir. Sonuçlar, yetişkin erkek ve kadın sporcuların hem tüm vücut hem de alt ekstremité FA değerlerinin yaş, cinsiyet, boy uzunluğu, spor türü, apendiküler yağsız yumuşak doku ve yağsız yumuşak doku miktarlarına göre çeşitli regresyon modelleri oluşturmak için kullanılmıştır. Bu modellerin çoğunda FA ile anaerobik güç özelliğinin baskın rol oynadığı aktif sıçrama hareketi ve kas kuvvetini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan el kavrama kuvveti testinde gösterilen performanslar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki görülmektedir. Elde edilen bulgular segmental FA değerlerinin bölgesel güç ve kuvvet özelliklerini tahmin etmede tüm vücut FA'sından daha başarılı olmadığını da göstermekte ve hatta tüm vücut FA'sının alt ekstremité güç değerlerini öngörmekte daha başarılı olduğuna dair kanıtlar sunmaktadır. Benzer bir konuyu çocuklar üzerinde araştıran sınırlı sayıda çalışma olmasına karşın anaerobik güç özelliğini değerlendirmek için kullanılan yaklaşımların FA ile birlikte incelendiği bazı makaleler dikkat çekmektedir (219, 223). Bu çalışmalardan birinde Ferreira vd. (219) yaşları 11-16 arasında değişmekte olan 152 çocuktan (84 kadın ve 68 erkek) oluşan sağlıklı bir katılımcı grubu oluşturmuşlardır. Araştırmada anaerobik güç bileşenlerini yansıttığı kabul edilebilecek olan 20 metre sprint koşusu, sağlık topu fırlatma (topun ağırlığı: 2 kg) ve çeviklik değerlendirmesi için uygulanan 4 metre mekik koşusu testlerine yer verilmiştir. Standart bir FA ölçümünü 50 kHz frekans ve elden-ayağa impedans yöntemiyle belirleyen araştırmacılar elde ettikleri verileri ZBUH değişkenini sabit tutarak kısmi korelasyon analizinde kullanmışlardır. Bulgular, erkek çocuklarında çeviklik (4m mekik koşusu), sprint (20m sprint koşusu) ve güç (sağlık topu fırlatma) gibi anaerobik güç özelliklerinin ZBUH değişkenine göre kontrol edildikten sonra bile FA ile arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu göstermiştir. Kız çocuklarında sağlık topu fırlatma testi ile ölçülen kassal güç özelliği için benzer sonuçlar ortaya çıkmış olmasına rağmen, sprint ve çeviklik gibi fiziksel performans göstergelerinin ZBUH'ye göre kontrol edildikten sonra FA ile istatistiksel bir ilişki içerisinde

olmadığını ortaya koymaktadır. FA ve anaerobik güç arasındaki ilişkiyi adolesan boksörler üzerinde inceleyen başka bir çalışma ise farklı sonuçlar ortaya koymaktadır (223). Bu araştırmanın bulguları FA ile hız, çeviklik, alt ekstremité güç çıktıları ve çabukluk gibi anaerobik güç değişkenleri arasında herhangi bir etkileşim gözlenmediğini raporlamıştır (223). Yine de güncel literatür insanlarda ölçülen FA değerleri ile anaerobik güç arasında bir ilişki olduğuna dair güçlü kanıtlar sunmaya devam etmektedir. Örneğin Campa vd. (224), sporcularda FA için referans değerler elde etmek amacıyla yürüttükleri çalışmada farklı spor branşlarında uzmanlaşmış kişilerin FA değerlerini incelemişlerdir. Bu araştırmanın bulguları FA değeri en düşük olan sporcuların VO_{2maks} ile ilişkilendirilen ve dayanıklılık gerektiren spor dallarında gözlemlendiğini ortaya koymuştur. Bu durum FA ile fiziksel performans arasındaki ilişkinin güç ve sürat gerektiren ve dolayısıyla enerjinin anaerobik yollardan sağlandığı süreçlerle daha yüksek bir etkileşim içinde olduğunu gösteren bir başka örnektir. Bu doğrultuda, önemli bir sağlık göstergesi olduğu bilinen ve günümüzde fiziksel performansla ilişkili olduğuna dair birçok kanıt bulunan FA gibi bir özelliğin çocuk popülasyonlar üzerinde nadiren incelenmesi şaşırtıcıdır. FA ile fiziksel performans arasında var olduğu önerilen ilişkinin dayandığı mekanizmalar ve spor yapan çocuklarda nasıl rol oynadığı merak konusu olmaya devam etmektedir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Araştırma Grubu

Çalışmanın araştırma grubunu oluşturmak için yapılan G*Power analizinde, korelasyon $\rho H1 = 0.5$, $\alpha = 0.05$ ve Güç $(1-\beta) = 0.80$ için örneklem boyutu = 29 olarak belirlenmiştir. Araştırma grubu yüzme sporuyla lisanslı bir şekilde müsabık olarak uğraşan 9-12 yaş erkek bireylerden oluşturulmuştur. Toplamda 33 kişi çalışma kapsamında laboratuvara gelmiş ve bunlardan 2'si obezite ve kronik astım gibi sağlık sorunlarından bahsetmeleri üzerine araştırmanın dışında tutulmuşlardır. Otuz-bir katılımcıdan 2'si ilk ziyaretlerinde testleri başarıyla tamamlamış ancak ikinci ve son ziyaretlerinde gerçekleştirilmesi planlanan $VO_{2\text{zirve}}$ testini uygulayabilmek için takılması gereken silikon yüz maskesini klostrofobik kaygılar sebebiyle takmayı reddetmiş ya da takılsa bile duydukları rahatsızlık sebebiyle testi erken sonlandırdıkları için $VO_{2\text{zirve}}$ verileri toplanamamıştır. Bir kişi ise bütün testleri tamamlamış ancak $VO_{2\text{zirve}}$ değerinin geçerli sayılması için gerekli kriterleri sağlayamamıştır. Bu nedenle $VO_{2\text{zirve}}$ için $n = 28$ katılımcının verisi kullanılmıştır. WAnT verileri $n = 31$ katılımcıdan elde edilmiştir. Katılımcıların dahil olma kriterleri; 9-12 yaşlarında olmak, en az bir yıldır haftada ≥ 3 antrenman yapıyor olmak, vasi/kendi tarafından gönüllü olarak katılıyor olmaktır. Dışlanma kriterleri; bilinen kronik/akut bir sağlık sorunu olmak, ortopedik rahatsızlığı olmak, daha önce alt ekstremitelere yaralanması (kas, tendon, kemik) yaşamış olmaktır.

Veri toplama sürecine Sağlık Bilimleri Araştırma Etik Kurul izninin (Karar Sayısı: 2024/06-37) alınmasını takiben başlanmıştır. Araştırma süreci, Helsinki Bildirgesi'ne uygun olarak yürütülmüş ve tamamlanmıştır.

3.2. Veri Toplama Araçları

3.2.1. Stadiyometre

Boy uzunluğunu belirlemek için duvara monte stadiyometre (Holtain Ltd, Crosswell, UK) kullanılmıştır.

3.2.2. Oturma Boyu Tablası

Oturma boyunun belirlenmesi için bir oturma boyu tablası (Holtain Ltd, Crosswell UK) kullanılmıştır.

3.2.3. Elektronik Baskül

Vücut ağırlığını belirlemek için elektronik baskül (Tanita TBF401A, USA) kullanılmıştır.

3.2.4. Biyoelektrik İmpedans Analizörü

FA'yı belirlemek için impedans parametrelerinin ölçümünde (Biodynamics Model 310e) elden ayağa biyoelektrik impedans analizörü kullanılmıştır.

3.2.5. Elektronik Bisiklet Ergometresi

Aerobik gücün belirlenmesinde elektromanyetik bisiklet ergometresi (COSMED E 200, Italy) kullanılmıştır.

3.2.6. Mekanik Bisiklet Ergometresi

Anaerobik gücün belirlenmesinde mekanik bisiklet ergometresi (Monark Peak Bike, 894E, Sweden) kullanılmıştır.

3.2.7. Gaz Analizörü

Oksijen tüketimi ve karbondioksit üretimi analizi için bir otomatik gaz analizörü (Quark CPET, Cosmed Cardio-Pulmonary Exercise Testing, Italy) kullanılmıştır.

3.2.8. Kalp Atım Hızı Monitörü

Testler sırasında kalp atım hızını ölçmek için (Garmin, ABD) kullanılmıştır.

3.2.9. Refraktometre

Katılımcıların idrar yoğunluğunu belirlemek için bir el refraktometresi (ATAGO, URCNE d:1,000-1,050, Japonya) kullanılmıştır.

3.3. Verilerin Toplanması

Araştırma grubu belirlendikten sonra öncelikle katılımcılara onam formları imzalatılarak bir örneği kendilerine verilmiştir. Araştırmanın verileri, gönüllü katılım sağlayan bireylerden Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Performans Laboratuvarı'nda yüz yüze olarak toplanmıştır. Katılımcılar, laboratuvara ilk geldiklerinde antropometrik ölçümler (boy uzunluğu, vücut ağırlığı, oturma boyu uzunluğu), elden ayağa biyoelektrik impedans analizi ile vücut kompozisyonu ve FA değerlendirmesi yapılmıştır. Bu ölçümlerin ardından 30 saniyelik WAnT anaerobik performans çıktılarının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirmişlerdir. Katılımcılara 2. ziyaretlerinde sadece $VO_{2\text{zirve}}$ testi uygulanmıştır. Bütün ziyaretler 1 hafta (± 2 gün) aralıkla günün aynı saatinde (09:30 – 12:30) gerçekleştirilmiştir. Katılımcılardan testten önceki gün yüksek şiddette egzersiz yapmamaları, kafein ve kafeinli besin tüketmemeleri, yeterince sıvı almaları ve besin tüketiminden en az 2 saat sonra gelmeleri, normal beslenme ve gündelik alışkanlıklarına devam etmeleri istenmiştir. Testler oda sıcaklığında (20-22 °C), gürültüden uzak bir ortamda gerçekleştirilmiştir.

3.3.1. Antropometrik Ölçümler

Vücut Ağırlığı

Standart spor kıyafeti içerisinde (şort, atlet) ayakkabısız olarak bir elektronik tartıda $\pm 0,1$ kg hata ile belirlenmiştir. Ölçülen değerden 0,5 kg giysi darı olarak düşülmüştür.

Boy Uzunluğu

Duvara monte stadiyometrede ölçülmüştür. Bunun için katılımcı çıplak ayakla her iki topuğu bir arada ve kollar serbest olacak şekilde kalça ve kürek kemikleri stadiyometrenin dikey arkılığına temas edecek konumda yaslanmıştır. Baş Frankfurt yatay düzlemindeyken, derin bir inspirasyonu takiben boy uzunluğu 0,1 cm hata ile ölçülmüştür.

Oturma Boyu Uzunluğu

Katılımcı oturma boyu tablasına oturduktan sonra, sırt ve kalçaları stadyometrenin arkalığına değecek şekilde, dizleri düz ve ileri dönük, ayakları ayak desteği üzerinde, kolları ve elleri yanlarında ve başı Frankfurt yatay düzlemindeyken derin bir inspirasyonu takiben 0,1 cm hata ile ölçülmüştür (225). Bacak uzunluğu, boy uzunluğundan oturma boyu çıkarılarak belirlenmiştir.

Vücut Kütle İndeksi

Katılımcının kilogram (kg) cinsinden vücut ağırlığının, metre (m) cinsinden boy uzunluğunun karesine (m²) bölünmesiyle, Eşitlik 3.1.'de görüldüğu gibi hesaplanmıştır (226).

$$VKİ = \text{vücut ağırlığı} / \text{boy uzunluğu}^2 \quad (3.1)$$

Biyolojik Olgunlaşma Düzeyi

ZBUH öncesi zaman olarak tanımlanan olgunluk düzeyi, Mirwald ve arkadaşlarının (2002) erkek çocuklar için geliştirdiği orijinal denklem kullanılarak belirlenmiştir (227). Orijinal denklemde ağırlık/boy oranı 100 ile çarpılarak düzeltilmiştir (228) ve Eşitlik 3.2.'de sunulduğu gibi kullanılmıştır.

(3.2.)

$$\begin{aligned} ZBUH (\text{yıl}) = & -9,236 + (0,0002708 * (\text{bacak boyu} * \text{oturma} \\ & \text{boyu})) + (-0,001663 * (\text{yaş} * \text{bacak boyu})) + (0,007216 * \\ & (\text{yaş} * \text{oturma boyu})) + (0,02292 * (\text{ağırlık/boy oranı} * 100)) \end{aligned}$$

Bu formül cinsiyete uygun olarak kullanıldığında, kişinin ZBUH'ye ulaşacağı zamana uzaklığını, bu gelişim döneminin öncesinde ya da sonrasında olduğunu tahmin etmede kullanılmaktadır.

3.3.2. Faz Açısı

FA ölçümleri suni deri kaplı bir masaj masası üzerinde elden ayağa BIA yöntemi ile belirlenmiştir. Bu ölçümün yapılması için kullanılan yöntem önceki çalışmalarda

önerildiği gibi uygulanmıştır (229, 230). Katılımcı masaya sırt üstü yattıktan sonra, avuç içi yere bakacak şekilde kolları vücudundan yaklaşık 30° ayrılmış ve bacakları yaklaşık 45° açık bir şekilde pozisyonlandırılmıştır (231). 50 kHz frekansın, FA ölçümünün hücresel ve doku sağlığı açısından yararlı bir indeks olduğu birçok çalışmada kanıtlanmıştır (178). Bu nedenle FA, 50 kHz tek frekans ve 800µA akım veren ikisi toprak ikisi kaynak (ölçüm) olmak üzere 4 elektrotlu (Ag/AgCl) tetrapolar analizörde (Biodynamics Model 310e) ölçülmüştür (232). Kol ve ayak arasındaki biyoelektrik impedansı ölçmek için kaynak elektrotlar, ikinci metatarsalın distal ucunda ayağın ön yüzeyine ve üçüncü metakarpalın distal ucunda elin arka yüzeyine yerleştirilmiştir. Alıcı elektrotlar, el bileğinin arka yüzeyinde radius ve ulna çıkıntıları arasına ve ayak bileğinin ön yüzeyinde tibia ile fibula malleolli arasına yerleştirilmiştir. R ve Xc değerleri cihazın yazıcısından otomatik çıktı şeklinde kayıt edilmiştir. Elektrotların temas edeceği yerler yerleştirilmeden hemen önce alkol ile temizlenmiştir. Ölçümler, bütün katılımcılar için vücudun sağ tarafından yapılmıştır. Katılımcıların BIA ölçümünden en az 60 dakika önce muhtemel dehidrasyonu engellemek için oturarak dinlenme esnasında 250-300 ml su tüketmeleri sağlanmış, mesanelerini boşalttıktan sonra bir refraktometre ile idrar dansitesi belirlenmiştir. İdrar dansitesi $\leq 1030\text{g/cm}^3$ ise BIA ölçümü gerçekleştirilmiş, değilse ertelenmiştir (233). Biyoelektrik impedans ile elde edilen R ve Xc değerlerinden aşağıdaki Eşitlik 3.3. kullanılarak FA hesaplanmıştır (234).

$$\text{faz açısı} = \text{atan}(Xc/Rz) \times 180/\pi \quad (3.3.)$$

3.3.3. Aerobik Güç

Aerobik gücü değerlendirmek için kademeli artan bir egzersiz testinde $VO_{2\text{zirve}}$ ölçülmüştür. Bunun için elektromanyetik bisiklet ergometresi kullanılmıştır. Oksijen tüketimi (VO_2) ve karbondioksit üretimi (VCO_2) değerleri, her nefeste ölçüm yapan gaz analizörü ile ölçülmüştür. Gaz analizörü, her ölçümden önce üretici firmanın yönergesine uygun olarak atmosferik hava (% 20,93 O_2 , % 0.04 CO_2) ve içerisinde konsantrasyonu bilinen gaz karışımı (% 15.70 O_2 , % 4.0 CO_2 , N_2 Balans) kullanılarak, akımmetrenin türbini ise 3 litrelik sertifikalı şırınga (Cosmed, İtalya) kullanılarak kalibre edilmiştir. KAH, gaz analiz cihazıyla senkronize edilmiş bir monitör ile 1 saniye aralıklarla kaydedilmiştir. Bisiklet ergometresinde Barker vd. (78) tarafından

yapılan çalışmaya uygun olacak şekilde, 75 devir/dakika pedal hızında 3 dakika 10 Watt dirence karşı bir ısınmanın ardından, direnç her dakika 10 Watt artacak şekilde tükenmeye kadar kademeli artan bir test gerçekleştirilmiştir. Katılımcılardan test boyunca dakikada 75 pedal çevirme hızında kalmaları istenmiştir. Pedal hızı art arda beş saniye boyunca dakikada 60 pedal çevirme hızı ve altına düşmesi tükenme kriteri olarak kabul edilmiş ve test sonlandırılmıştır. Isınma esnasında kullanılacak olan ekipmanların (yüz maskesi, KAH monitörü, sele yüksekliği, vb.) kullanım uygunluğu hem katılımcı hem de araştırmacılar tarafından kontrol edilmiştir (56).

VO₂zirve'nin Değerlendirilmesi

Katılımcıların VO₂maks değerlerini teyit etmek için doğrulama testi uygulanmaya çalışılmıştır. Bunun için test bitiminden 10 dk sonra katılımcıdan, testin sonlandığı egzersiz şiddetinin % 105'inde 3 dakika boyunca gerçek test hızında (75 devir/dakika) supramaksimal egzersiz yapmaları istenmiştir. Elde edilen en yüksek VO₂ verileri, VO₂zirve testinde elde edilene eşit ya da daha düşük olması durumunda VO₂maks'a ulaşıldığı anlamına gelmektedir (77, 78). Ancak doğrulama testinin her test sonrası uygulanmasına engel durumlarla karşılaşmıştır. Katılımcılardan bazıları kademeli artan VO₂maks testi sonrası doğrulama testi uygulamasını istememiş, bazıları ise kabul etmiş ancak önceki testin yorgunluğu sebebiyle testi tamamlayamamış ya da doğrulama test protokolü için belirlenen pedal çevirme hızında devam edememiştir. Bu sebeple testin geçerliliğini belirlemek için plato kriteri dikkate alınmıştır. VO₂'de plato görülmesi VO₂maks'ın birincil kriteri olarak kabul edilmiştir. Plato kriteri literatürde yaygın olarak kullanılan 3 farklı yöntem ile değerlendirilmiştir: 1) Testin son dakikası ve sondan bir önceki dakikasındaki ortalama relatif VO₂ değerleri arasındaki farkın $\leq 2 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ olması (76), 2) Testin son dakikası ve sondan bir önceki dakikasındaki ortalama mutlak oksijen tüketimi değerleri arasındaki farkın $\leq 125 \text{ ml.dk}^{-1}$ olması (77), 3) testin ilk 4 dakikasında ve son 3 dakikasında elde edilen VO₂ değerleri dışarıda bırakıldıktan sonra kalan bölümüne ilişkin VO₂ – zaman grafiğine en küçük kareler yöntemi kullanılarak bir regresyon eğrisi çizilerek ortaya çıkan doğru testin son dakikasına kadar uzatılmış (extrapolated line) ve testin son dakikasında regresyon eğrisi denkleminin tahmin ettiği VO₂ değerleri ile gözlenen değerler arasındaki farkların (artıklar) tahmin değerlerine oranının $\leq -\% 5$ olması (78,

235). Plato kriterinin yanında egzersiz sonlandığında solunum değişim oranının (SDO) ≥ 1.00 , yaşa göre tahmin edilen maksimal KAH'nın (220-yaş) $\geq \% 90$ ve $AZD \geq 17$ (77, 236) gibi fizyolojik kriterler de kullanılmıştır. Plato kriterini yerine getirmeyen katılımcılardan SDO, KAH ve AZD kriterlerinden en az 2 tanesini yerine getirmiş olması VO_{2zirve} 'nin teyidi olarak kullanılmıştır. Daha önceki çalışmalarda olduğu gibi, VO_{2zirve} değeri test süresi boyunca herhangi 15 saniyelik sürede ulaşılan ortalama en yüksek değer olarak kaydedilirken (237), KAH ve SDO parametreleri için en yüksek 10 saniyelik ortalamalar değerlendirilmiştir (238). AZD ise testten önce katılımcılara açıklanmış ve testin hemen ardından kendi beyanı doğrultusunda kayıt edilmiştir. VO_{2zirve} testini tamamlayan toplam 29 katılımcıdan 19'u plato kriterini, 9'u ise SDO, KAH ve AZD kriterlerinden en az 2'sini yerine getirdiği için teyit edilmiştir. Bir katılımcı VO_{2zirve} kriterlerini sağlamadığı için aerobik güç için yapılacak istatistiksel analizlerden çıkarılmıştır. Bütün katılımcılar VO_{2maks} 'ın birincil kriteri olan plato kriterlerinden en az birini gerçekleştirmeyi başaramadığı için oksijen tüketimi değerlerine ilişkin bulgular bu araştırmada VO_{2zirve} olarak tanımlanmıştır.

3.3.4. Anaerobik Güç (WAnT)

Anaerobik güç, WAnT ile belirlenmiştir. Test bilgisayar bağlantılı bir mekanik bisiklet ergometresinde gerçekleştirilmiştir. Test prosedürü daha önce adolesan bireyler üzerinde yapılan çalışmalara uygun şekilde gerçekleştirilmiştir (29, 239-241). Test başlamadan önce bütün katılımcılara özgü olacak şekilde sele yüksekliği, diz açıklığının en fazla olduğu pozisyonda hafif bükülü kalacak şekilde ayarlanmıştır. Pedal çevirme esnasında ayakların kaymaması için ayaklar klipsle pedala sabitlenmiştir. Isınma protokolü, 30 saniyede 1 defa 2-3 saniyelik yüksek hızda pedal çevirmeler içeren düşük yükte (40 – 60 W) 60 devir/dakika pedal hızında 3 dakikalık bir seanstan oluşmaktadır. Katılımcılar ısınma sonrasında bisiklet üzerinde 1 dakika dinlendikten sonra boş yükte maksimum hızda pedal çevirmeleri istenmiş ve 5 saniye sonra test yüküne (0.075 kp/kg vücut ağırlığı) karşı 30 saniye boyunca maksimum eforla pedal hızını korumaları istenmiştir (242, 243). Katılımcılar test esnasında en yüksek performanslarını göstermeleri için sözel olarak motive edilmişlerdir. Güç çıktıları, bilgisayar yazılımı aracılığı ile 5 saniyelik aralıklarla hesaplanan mutlak (W) ve vücut ağırlığı başına üretilen relatif ($W.kg^{-1}$) cinsinden kaydedilmiştir. En yüksek

5 saniyelik güç çıkışı zirve güç, 30 sn ortalama güç çıktısı ortalama güç olarak değerlendirilmiştir. Yorgunluk indeksi (Yİ), aşağıdaki Eşitlik 3.4. kullanılarak hesaplanmıştır:

$$Yİ = [(Zirve güç - Minimum güç) / Zirve güç] \times 100 \quad (3.4.)$$

3.4. İstatistiksel Analiz

Tanımlayıcı istatistikler ortalama, standart sapma, en küçük ve en büyük değer olarak gösterilmiştir. Verilerin normal dağılıma uyumu, her değişken için Shapiro-Wilk testi ve Histogram yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Hem aerobik güç hem de anaerobik güç testinden elde edilen tüm değişkenler için normal dağılımdan sapma önemsizdir ($p > 0,05$). Bütün bağımsız (faz açısı) ve bağımlı (aerobik ve anaerobik güç çıktıları) değişkenler arasındaki ilişkiler Pearson'un r Katsayısı ile belirlenmiştir. Korelasyon katsayıları $r = < 0,10$: ihmal edilebilir, $r = 0,10 - 0,39$: zayıf, $r = 0,40 - 0,69$: orta, $r = 0,70 - 0,89$: kuvvetli ve $r = 0,90 - 1,00$: çok kuvvetli olarak yorumlanmıştır (244). FA ve aerobik ve anaerobik güç çıktıları arasındaki doğrusal ilişki ayrıca biyolojik olgunlaşma düzeyine göre de değerlendirilmiştir. Bunun için ZBUH karıştırıcı değişken olarak kontrol edilerek kısmi korelasyon analizi yapılmıştır. Tüm istatistiksel işlemler SPSS programında (Ver. 23) yapılmış ve $p = 0,05$ anlamlılık düzeyi kullanılmıştır.

4. BULGULAR

Bu araştırma, fiziksel olarak aktif sağlıklı çocuklardan ($n = 31$) oluşan bir popülasyon üzerinde FA ile aerobik ve anaerobik güç arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Anaerobik güç çıktılarını belirlemek için WAnT ($n = 31$), aerobik güç için kardiyopulmoner egzersiz testinde $VO_{2\text{zirve}}$ ($n = 28$) ve biyoelektrik impedans metodu kullanılarak FA belirlenmiştir.

4.1. Katılımcıların Fiziksel Özellikleri

Katılımcıların fiziksel özellikleri (yaş, vücut ağırlığı, boy, vücut kütle indeksi ve vücut yağ yüzdesi) Tablo 4.1’de sunulmuştur.

Tablo 4.1. Katılımcıların fiziksel özelliklerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler.

	$\bar{x}$	SS	Minimum	Maksimum
Yaş (yıl):	10,23	0,88	9	12
Vücut Ağırlığı (kg):	40,41	9,89	24,20	71,50
Boy Uzunluğu (cm):	145,48	6,85	129,70	156,50
VKİ (kg/m²):	18,93	3,61	13,94	30,07
VYY (%):	21,25	5,98	10,50	34,00
SDO:	1,07	0,06	0,96	1,19
KAH:	191,54	6,88	178,5	203
AZD:	18,32	0,94	17	20
Oturma Boyu Uzunluğu (cm):	76,32	3,95	70,3	84
Bacak Uzunluğu (cm):	69,17	3,76	58,3	75,3

VA: Vücut Ağırlığı. VKİ: Vücut Kütle İndeksi. VYY: Vücut Yağ Yüzdesi SDO: Solunum Değişim Oranı. KAH: Kalp Atım Hızı. AZD: Algılanan Zorluk Derecesi. $\bar{x}$: Ortalama. SS: Standart Sapma.

Katılımcıların kronolojik yaşları 9-12 yıl arasında ve ortalama $10,23 \pm 0,88$ yıldır. VA en düşük 24,20 kg ve en yüksek 71,50 kg ve ortalama $40,41 \pm 9,89$ kg olarak hesaplanmıştır. Boy uzunluğu 129,70-156,50 cm arasında ve ortalama 145,48 $\pm 6,85$ cm ölçülmüştür. VKİ ve VYY’nin ranjı sırasıyla 13,94 – 30,07 kg/m² ve % 10,5 – 34,0, ortalamaları VKİ için $18,93 \pm 3,61$ kg/m² ve VYY için % $21,25 \pm 5,98$ ’dir.

4.2. Katılımcıların Biyolojik Olgunlaşma ve Faz Açısı Özelliklerine İlişkin Bulgular

Katılımcıların biyolojik olgunlaşma düzeyleri ve FA değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler ve iki değişken arasındaki Pearson Korelasyon Analizi sonuçları Tablo 4.2’de sunulmuştur.

Tablo 4.2. Katılımcıların biyolojik olgunlaşma düzeyleri ve faz açısı değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler ve Pearson korelasyon analizi.

	$\bar{x}$	SS	Minimum	Maksimum	Pearson Korelasyon Analizi		
					r	p	GA (%95)
ZBUH (yıl):	-2,70	0,77	-3,92	-1,13	0,358	0,048	0,004-0,632
FA (°):	6,27	0,73	4,84	8,35			

FA: Faz Açısı. ZBUH: Zirve Boy Uzama Hızı. $\bar{x}$: Ortalama. SS: Standart Sapma. GA: Güven Aralığı.

Katılımcıların biyolojik olgunlaşma düzeylerinin ranjı (-3,92 yıl) - (-1,13 yıl) ortalaması $-2,70 \pm 0,77$ yıldır. FA en küçük 4,84, en büyük 8,35’tir. Katılımcıların ortalama FA $6,27 \pm 0,73$ olarak ölçülmüştür.

Biyolojik olgunlaşma düzeyi ve FA arasında istatistiksel olarak anlamlı ancak zayıf bir ilişki bulunmuştur ($r= 0,358$; $p<0,05$, %95 GA= 0,004-0,632). Bu bulgular, FA ve ZBUH arasında toplam değişimin % 13’ünü açıklayan bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır ($r^2= 0,13$).

4.3. Aerobik Güç Testinde Ölçülen $VO_{2\text{zirve}}$ Değerleri

Katılımcıların mutlak $VO_{2\text{zirve}}$ değeri 1341,20-2545,91 ml.dk⁻¹ arasında ve ortalama $1853,04 \pm 319,02$ ml.dk⁻¹ olarak ölçülmüştür. Relatif $VO_{2\text{zirve}}$ değeri en düşük 31,31 ml.kg⁻¹.dk⁻¹, en yüksek 62,03 ml.kg⁻¹.dk⁻¹ ve ortalama $46,85 \pm 7,13$ ml.kg⁻¹.dk⁻¹ olarak tespit edilmiştir.

Tablo 4.3. Aerobik güç Testinde ölçülen $VO_{2\text{zirve}}$ değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler.

	$\bar{x}$	SS	Minimum	Maksimum
Mutlak $VO_{2\text{zirve}}$ (ml.dk⁻¹)	1853,04	319,02	1341,20	2545,91
Relatif $VO_{2\text{zirve}}$ (ml.kg⁻¹.dk⁻¹)	46,85	7,13	31,31	62,03

$\bar{x}$: Ortalama. SS: Standart Sapma. $VO_{2\text{zirve}}$: Mutlak zirve oksijen tüketimi. Relatif $VO_{2\text{zirve}}$: Relatif zirve oksijen tüketimi

4.4. Aerobik Güç, Faz Açısı ve Biyolojik Olgunlaşma Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi

Aerobik güç ile FA arasındaki ilişkiler Tablo 4.5'te sunulmuştur. Mutlak $VO_{2\text{zirve}}$ ile FA arasında istatistiksel olarak anlamlı ve zayıf bir ilişki olduğu tespit edilmiştir ($r = 0,383$, $p = 0,045$, %95GA = 0,012 – 0,662). Bu bulgular, FA değişkenindeki toplam değişimin % 14,7'sünün mutlak $VO_{2\text{zirve}}$ değişkeni tarafından açıklandığını ortaya koymaktadır ($r^2 = 0,147$). Buna karşılık relatif $VO_{2\text{zirve}}$ ile FA arasındaki ilişki ($r = 0,094$, $p = 0,632$, %95GA = -0,289-0,451) istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Araştırmada katılımcılardan elde edilen mutlak ve relatif $VO_{2\text{zirve}}$ değerleri ile ZBUH değişkeni arasındaki ilişki incelendiğinde elde edilen istatistikler Tablo 4.5'te paylaşılmıştır. Mutlak $VO_{2\text{zirve}}$ ile ZBUH arasında istatistiksel olarak anlamlı ve kuvvetli ($r = 0,886$, $p = < 0,001$, %95GA = 0,766 – 0,946) bir ilişki saptanmıştır. Mutlak $VO_{2\text{zirve}}$ üzerinde ZBUH değişkeninin açıklayıcılık katsayısı % 74,5'tir. Buna karşılık relatif $VO_{2\text{zirve}}$ ile ZBUH arasındaki istatistiksel ilişki ($r = -0,119$, $p = 0,545$, %95GA = -0,471 – 0,266) anlamlı değildir.

ZBUH kontrol olarak kullanılarak yapılan kısmi korelasyon analizinde mutlak $VO_{2\text{zirve}}$ ile FA arasındaki anlamlı ilişki ($r = 0,383$) ortadan kalkmıştır ($r_k = 0,136$, $p = 0,500$). Bu bulgu 9-12 yaş çocuklarda mutlak $VO_{2\text{zirve}}$ 'nin biyolojik olgunlaşma düzeyi ile ilgili olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.4. VO_{2zirve} testinde ölçülen aerobik güç çıktıları ve faz açısı arasındaki ilişkilere ait Pearson korelasyon analizi ve biyolojik olgunlaşmanın kontrol değişkeni olarak belirlendiği kısmi korelasyon analizi sonuçları.

		FA	
	r	p	GA (%95)
Mutlak VO_{2zirve} (ml.dk⁻¹)	0,383	0,045	0,012-0,662
Relatif VO_{2zirve} (ml.kg⁻¹.dk⁻¹)	0,094	0,632	-0,289-0,451
ZBUH			
Mutlak VO_{2zirve} (ml.dk⁻¹)	0,886	<0,001	0,766-0,946
Relatif VO_{2zirve} (ml.kg⁻¹.dk⁻¹)	-0,119	0,545	-0,471-0,266
Kısmi Korelasyon Analizi			
		FA	
	r_k	p	
Mutlak VO_{2zirve} (ml.dk⁻¹)	0,136	0,500	

FA: Faz Açısı. ZBUH: Zirve Boy Uzama Hızı GA: Güven Aralığı. Mutlak VO_{2zirve}: Mutlak zirve oksijen tüketimi. Relatif VO_{2zirve}: Relatif zirve oksijen tüketimi.

4.5. WAnT Test Çıktıları

Katılımcıların WAnT çıktıları Tablo 4.3'te gösterilmiştir. MZG ve MOG sırasıyla en küçük 152,35 ve 129,82 W, en büyük 384,09 ve 301,53 W olarak kaydedilmiştir. MZG için ortalama $244,15 \pm 60,02$ W, MOG için $197,99 \pm 45,53$ W olduğu görülmüştür.

Katılımcıların güç çıktıları relatif olarak değerlendirildiğinde RZG için en küçük ve en büyük değerler $4,08 - 9,32$ W.kg⁻¹, ROG için ise $3,11 - 7,71$ W.kg⁻¹ olarak ölçülmüştür. RZG ortalama $6,12 \pm 1,09$ W.kg⁻¹ ve ROG çıktılarının ortalama $4,98 \pm 0,86$ W.kg⁻¹ olduğu tespit edilmiştir.

Güç kaybının bir göstergesi olan Yİ değerlendirildiğinde en düşük güç kaybı % 19,66 ve en büyük güç kaybı % 61,08 olarak belirlenmiştir. Katılımcılar tarafından üretilen en yüksek güç çıktısı, ortalama $35,08 \pm 8,27$ kadar düşmüştür.

Tablo 4.5. WAnT'ta ölçülen güç çıktılarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler.

	$\bar{x}$	SS	Minimum	Maksimum
MZG (W)	244,15	60,02	152,35	384,09
RZG (W.kg⁻¹)	6,12	1,09	4,08	9,32
MOG (W)	197,99	45,53	129,82	301,53
ROG (W.kg⁻¹)	4,98	0,86	3,11	7,71
Yİ (%)	35,08	8,27	19,66	61,08

$\bar{x}$: Ortalama. SS: Standart Sapma. MZG: Mutlak Zirve Güç. RZG: Relatif Zirve Güç. MOG: Mutlak Ortalama Güç. ROG: Relatif Ortalama Güç. Yİ: Yorgunluk İndeksi

4.6. WAnT Test Çıktıları, Faz Açısı ve Biyolojik Olgunlaşma Arasındaki İlişkiler

WAnT çıktıları ve FA arasındaki Pearson korelasyon analizi sonuçları Tablo 4.4'te aktarılmıştır. MZG ve MOG değerleri ile FA arasında istatistiksel açıdan anlamlı ve orta düzeyde ilişkiler olduğu görülmüştür (sırasıyla: $r = 0,484$, $p = 0,006$, %95 GA: 0,156 – 0,716; $r = 0,546$, $p = 0,001$, %95 GA: 0,238 – 0,754). Bu ilişkiler MZG'deki değişimin % 23,4'ünün ($r^2 = 0,234$), MOG'daki değişimin ise % 29,8'inin ($r^2 = 0,298$) FA tarafından açıklandığını göstermektedir. Benzer şekilde RZG ve ROG değerleri ile FA arasında da orta düzeyde ve istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler saptanmıştır (sırasıyla $r = 0,499$, $p = 0,004$, %95 GA: 0,176 – 0,725 ve $r = 0,550$, $p = 0,001$, %95 GA: 0,243 – 0,757). Açıklayıcılık katsayıları FA'nın RZG'deki değişimin %24,9'undan ($r^2 = 0,249$), ROG'daki değişimin % 30,3'ünden ($r^2 = 0,303$) sorumlu olduğunu göstermiştir. Buna karşılık, Yİ ve FA arasındaki ilişki anlamlı bulunmamıştır ($r = -0,046$, $p = 0,805$, %95 GA: -0,394- 0,313).

Biyolojik olgunlaşmanın bir göstergesi olan ZBUH ve WAnT'ta elde edilen güç çıktıları arasındaki ilişkiler Tablo 4.4'te paylaşılmıştır. Buna göre, MZG ve MOG ile ZBUH arasında istatistiksel olarak kuvvetli ilişkiler saptanmıştır (sırasıyla $r = 0,800$, $p = <0,001$, %95 GA: 0,622-0,899 ve $r = 0,796$, $p = <0,001$, %95 GA: 0,615-0,897). ZBUH'nin MZG üzerindeki açıklayıcılık katsayısı % 64, MOG üzerindeki

açıklayıcılık katsayısı ise % 63,4'tür. Buna karşılık güç çıktılarının relatif değerleri ve ZBUH arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak anlamlı değildir (RZG için $r = 0,147$, $p = 0,431$, %95 GA: -0,219- 0,477; ROG için $r = 0,070$, $p = 0,708$, %95 GA: -0,292 – 0,414). Ek olarak, Yİ ile ZBUH arasında da istatistiksel olarak anlamlı ilişki saptanmamıştır ($r = 0,245$, $p = 0,183$, %95 GA: -0,120 – 0,551).

ZBUH kontrol olarak kullanılarak yapılan kısmi korelasyon analizinde MZG ile FA arasındaki anlamlı ilişki ($r = 0,484$, $p = 0,006$) ortadan kalkmıştır ($r_k = 0,352$, $p = 0,056$). Buna karşılık MOG ile FA arasındaki anlamlı ilişki ($r = 0,546$, $p = 0,001$) kısmi korelasyon analizi yapıldığında da istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($r_k = 0,462$, $p = 0,010$). Bu bulgular 9-12 yaş çocuklarda MZG'nin biyolojik olgunlaşma düzeyi, uzun süreli anaerobik gücün göstergesi olan MOG çıktısının ise FA (kas kalitesi) ile ilgili olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.6. WAnT'ta ölçülen güç çıktıları ve faz açısı arasındaki ilişkilere ait Pearson korelasyon analizi ve biyolojik olgunlaşmanın kontrol değişkeni olarak belirlendiği kısmi korelasyon analizi sonuçları.

Pearson Korelasyon Analizi			
	FA		
	r	p	GA (%95)
MZG (W)	0,484	0,006	0,156-0,716
RZG (W.kg ⁻¹)	0,499	0,004	0,176-0,725
MOG (W)	0,546	0,001	0,238-0,754
ROG (W.kg ⁻¹)	0,550	0,001	0,243-0,757
Yİ (%)	-0,046	0,805	-0,394-0,313
ZBUH			
MZG (W)	0,800	<0,001	0,622-0,899
RZG (W.kg ⁻¹)	0,147	0,431	-0,219-0,477
MOG (W)	0,796	<0,001	0,615-0,897
ROG (W.kg ⁻¹)	0,070	0,708	-0,292-0,414
Yİ (%)	0,245	0,183	-0,120-0,551
Kısmi Korelasyon Analizi			
	FA		
	r _k	p	
MZG (W)	0,352	0,056	
MOG (W)	0,462	0,010	

FA: Faz Açısı. ZBUH: Zirve Boy Uzama Hızı GA: Güven Aralığı. Katsayısı. MZG: Mutlak Zirve Güç. RZG: Relatif Zirve Güç. MOG: Mutlak Ortalama Güç. ROG: Relatif Ortalama Güç. Yİ: Yorgunluk İndeksi

5. TARTIŞMA

Bu çalışmanın amacı, fiziksel olarak aktif sağlıklı çocuklarda FA ile aerobik ve anaerobik güç arasındaki ilişkiyi incelemektir. Bu çalışmanın bulguları, fiziksel olarak aktif çocuklarda FA ve mutlak VO_{2zirve} ($L \cdot dk^{-1}$), mutlak ve relatif anaerobik güç çıktıları arasında anlamlı ilişki olduğunu göstermiştir. Buna karşılık VO_{2zirve} vücut ağırlığına göre düzeltildiğinde (relatif VO_{2zirve}) anlamlı ilişki ortadan kalkmıştır. Ek olarak anaerobik güç çıktısı olan Yİ'de FA ile ilişkili değildir. Bu bulgular 1 (mutlak VO_{2zirve}), 2 ve 3 numaralı hipotezlerimizi desteklerken, 4 numaralı hipotezimizi desteklememiştir. Bununla beraber, kısmi korelasyon analizi, FA ve VO_{2zirve} arasındaki ilişkide biyolojik olgunlaşmanın bir karıştırıcı değişken olduğunu göstermiştir. Bu bilgiler özetle, FA ile anaerobik güç arasında biyolojik olgunlaşma durumundan bağımsız olarak birden fazla değişken için istatistiksel olarak anlamlı ve etki büyüklüğü yüksek ilişkilere işaret ederken, VO_{2zirve} anlamında gözlenen anlamlı ilişkinin karıştırıcı değişkenler sebebiyle yanıltıcı olabileceğini göstermiştir. Yapılan bu araştırma, fiziksel olarak aktif sağlıklı çocuklarda FA ile çeşitli fiziksel performans parametrelerini inceleyen çalışmalar arasında VO_{2zirve} değerlendirmesini laboratuvar ortamında direkt bir ölçüm yöntemiyle gerçekleştiren ilk çalışma olması yönünden önemlidir.

5.1. Faz Açısı İçin Normatif Değerler

İnsan vücudunun elektriksel özellikleri kullanımı hem klinik çalışmalarda hem de egzersiz ve spor bilimlerinde giderek artmaktadır. Doğrudan ölçülen bir biyoelektrik impedans analizi değişkeni olan FA, vücut hücre kütlelerinin yanı sıra hücre dışı/hücre içi su oranı ve hücresel bütünlük ve işlevleri ile ilgilidir (25). Hastalık, enflamasyon, işlev bozukluğu, yetersiz beslenme ve sağlıksız yaşam tarzı gibi birçok faktör vücut dokularının elektriksel özelliklerinin bozulmasına neden olduğu için (245, 246) FA'nın değeri, hücrelerin işlevi ve hücre zarının bütünlüğü hakkında önemli bilgi kaynağı olarak kullanılmaktadır (247). FA, kas kuvveti ve kas hücre bütünlüğü ve işleviyle de yakın ilişki içerisindedir (186, 248). FA değerleri yaş (164, 249), cinsiyet (164, 224), ırk (250), vücut kompozisyonu (250), vücut kütle indeksi (164, 176, 249), fiziksel aktivite düzeyi (245) ve spor dalı (224) gibi faktörlerden etkilenmektedir. Bu nedenle FA değerleri için popülasyona özgü referans değerlere ihtiyaç vardır.

Ülkemizde klinik ve bilimsel çalışmalar için FA'nın elde edilen değerlerini yorumlamak için kullanılabilecek referans değerler mevcut olmamakla beraber, hastane ortamında 20-65 yaş arası kadınlarda yapılan bir çalışmada FA 5.9° ölçülmüştür (251). Ek olarak yetişkin kadınlarda menstrual döngünün ve sirkadien ritmin faz açısı üzerine etkisinin incelendiği bir diğer çalışmada da faz açısı $5.7-6.5^{\circ}$ arasında olduğu rapor edilmiştir (252). Bildiğimiz kadarıyla ülkemizde bu çalışmanın araştırma grubunu oluşturan yaş grubunda FA değerleri ile ilgili literatür bilgisi bulunmamaktadır. Bu çalışmada her ne kadar sınırlı boyuttaki bir örneklemden elde edilmişse de 9-12 yaş fiziksel olarak aktif erkek çocuklarda FA değeri ortalama 6.27° bulunmuştur. FA'nın sporcu popülasyonunda daha yüksek olduğu bilinmektedir (203). Yaş ve cinsiyeti dikkate alarak farklı ülkelerde sağlıklı çocuklardan elde edilen referans değerlerle karşılaştırıldığında FA, etnik kökene bağlı olarak önemli ölçüde değişkenlik göstermektedir. İtalyan okul çocuklarında cinsiyet ayrımı yapılmaksızın 9-12 yaş grubunda FA, $5.7-5.8^{\circ}$ arasında ölçülmüştür (253). Benzer şekilde 10-13 yaş erkek sağlıklı Alman çocuklarda 5.6° (164), 10-12 yaş Rus çocuklarda 6.3° (254), Brezilyalı çocuklarda $5.8-6.0^{\circ}$ (255), 10-18 yaş Portekizli sağlıklı erkek çocuklarda 5.8° (256) rapor edilmiştir. Spor geçmişi olan çocuklarda yapılan FA değerleri bu çalışmada elde edilen FA değerlerine benzerdir. Sekiz-onbir yaş yüzme ve cimnastik sporcularında branş ve cinsiyet ayrımı yapılmadan 1 yıl arayla ölçülen FA değerleri 5.7 ve 6.1° (257), yaş ortalaması 12.1 ± 1.6 olan ve ZBUH'ye göre öncesi sırası ve sonrası olarak kategorize edilen elit futbol oyuncularında FA sırasıyla 6.4° , 6.3° ve 6.2° (34), Brezilyalı U13 futbol oyuncularında 6.2° (214) ve yaş ortalaması 13.6 olan U10-U17 kategorisinde İtalyan futbolcularda 6.7° (258) rapor edilmiştir.

5.2. Aerobik Güç İçin Normatif Değerler

Spor bilimlerinde aerobik güç olarak tanımlanan ve VO_{2maks} ya da VO_{2zirve} olarak ifade edilen çıktılar dayanıklılık özelliğinin en önemli göstergelerinden biri olarak kabul edilir. Aerobik güç olarak ölçülen özellik şu bileşenlerden oluşmaktadır; akciğerlerden alınan havadaki oksijenin çoğunlukla hemoglobin proteini tarafından taşınması, kırmızı kan hücrelerinin kalp tarafından damarlar aracılığı ile dokulara gönderilmesi, gönderilen oksijen yönünden zengin kanın fiziksel aktivite sırasında çoğunlukla kas dokuları tarafından kullanılması. Bahsedilen süreçler aerobik güç için

pulmoner, kardiyovasküler ve iskelet kası sistemlerinin işlevini yansıtır (36). İyi bir dayanıklılık performansı yüksek bir aerobik güç çıktısı gerektirdiği için (66) daha yüksek VO_{2zirve} değerleri daha iyi dayanıklılık performansı çıktılarıyla ilişkilendirilmektedir (71). Aerobik güç egzersiz tipi (56, 91), yaş (83, 259), antrenman etkisi (36, 85), cinsiyet (83, 260) ve sağlık durumu (60, 63) gibi faktörlerle ilişki içerisinde. Ayrıca aerobik güç relatif oksijen tüketimi değerleri olarak insanlarda $20 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ 'nın altından, $80 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ 'nın üzerindeki değerlere kadar değişmektedir (65). Bu nedenle aerobik güç için referans değerler elde etmek amacıyla yürütülen çok sayıda çalışma vardır (261, 262). Örneğin, Hollandalı/Flaman popülasyona özgü referans değerler 10-14 yaş erkekler için ortalama $49,65 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ ve 10-14 yaş kızlar için ortalama $42,00 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ olarak bulunmuştur (263). Hindistanlı bir popülasyonda ise yaş ortalaması 20,34 olan bir katılımcı grubu üzerinde yürütülen bir araştırmanın bulguları kadınlar için ortalama maksimal oksijen tüketimi değerlerini $35,71 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ belirlerken, erkeklerde $45,30 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ olarak gözlemlemişlerdir (264). Aynı çalışmada kadınlar ve erkeklerin aerobik güç değerleri kötü, normal, iyi ve mükemmel olarak kategorize edildikten sonra VO_{2maks} değerleri sırasıyla ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$): Kadın: 33,0-36,4: 36,5-42,4: 42,5-46,4 / Erkek: 23,60-28,9: 29,0-32,9: 33,0-36,9: 37,0-41,0 olarak belirlenmiştir. Çalışmalardan elde edilen ortalama oksijen tüketimi verileri ise ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$) Kanadalı yetişkin (20-29 yaş) kadınlarda 40,90 ve erkeklerde 49,89 (265), İngiliz yetişkin (25-29 yaş) erkeklerde 39,71 ve kadınlarda 35,37 (266), İranlı 20-60 yaş kadınlarda ise 20-29 yaşlarında ortalama 32,61, 30-39 yaşlarında ortalama 28,12, 40-49 yaşlarında ortalama 23,70 ve 50-60 yaş arasında ortalama 19,60 (259) olarak ölçülmüştür. Sağlıklı çocuklardan elde edilen VO_{2maks} verileri ise bu çalışmada elde edilen değerleri açıklamakta yardımcı olabilir. Bulgularımız, Türkiye'de yaşayan 9-12 yaşındaki fiziksel olarak aktif erkek çocukların ortalama VO_{2zirve} değerinin $46,85 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ olduğunu göstermiştir. İsveçli obez kız çocukları için VO_{2maks} ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$) değerleri 8-11 yaşında ortalama 31,6 ve 12-13 yaşında 28,4 olarak ölçülürken, erkeklerde 8-11 yaşında 30,7 ve 12-13 yaşında 28,0 olarak raporlanmıştır (267). Endonezyalı 15-18 yaş arasındaki çocuklarda gerçekleştirilen bir çalışmada ise antrenmanlı çocukların relatif VO_{2maks} değerleri ortalama 37,48 ve antrenmansız çocuklarınsa 28,85 olarak ölçülmüştür (268). Sağlıklı Türk çocuklara özgü VO_{2zirve} referans değerleri belirlemek amacıyla gerçekleştirilen

bir çalışma elde ettiğimiz değerleri kıyaslayabilmek açısından önemlidir. Gürsel vd. (260) ortalama relatif $VO_{2\text{zirve}}$ değerlerini 5-8 yaş arasındaki erkek çocuklarda 35,23 ve kızlarda 36,68 $\text{ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$, 7-8 yaş erkek çocuklarda 38,06 ve kızlarda 37,37 $\text{ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$, 9-10 yaş erkek çocuklarda 43,82 ve kızlarda 38,96 $\text{ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$, 11-12 yaş erkek çocuklarda 46,29 ve kızlarda 41,41 $\text{ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ ve son olarak 13 yaşındaki erkek çocuklar için 47,95 ve kız çocuklarında 40,47 $\text{ml.kg}^{-1}.\text{dk}^{-1}$ olarak raporlamışlardır. Adı geçen çalışmada aktarılan bilgiler, yaptığımız çalışmadan elde ettiğimiz $VO_{2\text{zirve}}$ değerlerini iyi bir şekilde yansıtmaktadır.

5.3. Anaerobik Güç İçin Normatif Değerler

Anaerobik gücü oluşturan glikolitik ve fosfojen sistemler özellikle kısa süren (102) ve yoğun efor içeren hareketlerde baskın rol oynadığı için (103), hızlı kasılan kas liflerini içeren sprint, yüksek şiddetli interval antrenman, güç-kaldırışı, vb. yöntemler anaerobik güç ile ilişkilendirilir (105). Voleybol, ragbi, hentbol ve basketbol gibi spor aktiviteleri sürekli kuvvetli kasılmalarla oluşur (110) ve bu sebeple kısa dinlenme aralıklarına sahip yüksek şiddetli aktivitelerin başarısı anaerobik metabolik süreçlere dayanır (111). Bu durum spor ortamları için anaerobik güç değerlendirmesi ve geliştirilmesine yönelik yaklaşımların önemine işaret etmektedir. WAnT gibi anaerobik güç değerlendirmesinde altın standart olarak görülen bir teste (130, 132) ilişkin referans değerler bu sebeple incelenmelidir. Önerilen mekanik güç çıktısına dayalı test yöntemleri çoğunlukla anaerobik metabolik süreçlerin genel bir ifadesi olarak değerlendirilmektedir çünkü fosfojen ve glikolitik sistemler enerji ihtiyacına karşılık neredeyse aynı anda aktif olur ve yalnızca ergometrik testler ile birbirinden ayrı değerlendirilmesi zorlaşır (127). Yapılan araştırmalarda çeşitli popülasyonlarda WAnT uygulandığında elde edilen ortalama güç çıktıları (29, 117, 154) ve bu yöntem için referans değerler elde edilmesine yönelik yapılan çalışmalar incelenebilir (269-271). Buna göre yaş ortalaması 25,1 olan erkek profesyonel basketbol oyuncularında mutlak zirve ve ortalama güç sırasıyla 702,81 W ve 955,31 W (117), Brezilyalı erkek silahlı kuvvetler mensuplarında mutlak ve relatif zirve güç 778,40 W ve 11,34 W.kg^{-1} , mutlak ve relatif ortalama güç 629,28 W ve 9,16 W.kg^{-1} (130), yaş ortalaması 25,1 olan profesyonel erkek futbolcularda mutlak ve relatif zirve güç 896,8 W ve 11,92 W.kg^{-1} (134), ortalama yaşı 14,84 olan down

sendromlu çocuklarda mutlak zirve ve ortalama güç sırasıyla 210,37 W ve 158,72 W (29), 12-16 yaşlarındaki sağlıklı adolesan erkeklerde mutlak ve relatif zirve güç 482,38 W ve 10,75 W.kg⁻¹ (239), Hollandalı sağlıklı çocuk ve adolesanlarda mutlak ve relatif zirve güç erkeklerde 380 W ve 10,3 W.kg⁻¹, kızlarda 336 W ve 9,0 W.kg⁻¹, mutlak ve relatif ortalama güç ise erkeklerde 202 W ve 5,4 W.kg⁻¹, kızlarda 188 W ve 5,0 W.kg⁻¹ olarak ölçülmüştür. Bu konuda referans değerler gösteren çalışmalar Brezilyalı sağlıklı yetişkin erkek ve kadınlarda mutlak zirve güç ortalamasını yaşlara göre sırasıyla şu şekilde belirlenmiştir: Erkek – 20-25 (yaş): 651,6 W; 26-30 (yaş): 628,4 W; 31-35 (yaş): 576,9 W; 36-40 (yaş): 556,5. Kadın – 20-25 (yaş): 509,3 W; 26-30 (yaş): 497,7 W; 31-35 (yaş): 482,7 W; 36-40 (yaş): 430,7 W. Aynı çalışmada relatif zirve güç değerleri erkek ve kadınlarda yaşa göre şu şekilde verilmiştir: Erkek – 20-25 (yaş): 9,4 W.kg⁻¹; 26-30 (yaş): 8,7 W.kg⁻¹; 31-35 (yaş): 7,7 W.kg⁻¹; 36-40 (yaş): 7,1 W.kg⁻¹. Kadın – 20-25 (yaş): 9,0 W.kg⁻¹; 26-30 (yaş): 8,5 W.kg⁻¹; 31-35 (yaş): 7,9 W.kg⁻¹; 36-40 (yaş): 7,2 W.kg⁻¹ (271). Kanadalı sağlıklı erkek ve kadın üniversite öğrencilerinde belirlenen ortalama mutlak ve relatif zirve güç erkeklerde 939 W ve 11,64 W.kg⁻¹, kadınlarda 582 W ve 9,02 W.kg⁻¹ olarak belirlenmiştir (269). Aynı çalışmanın ortaya koyduğu mutlak ve relatif ortalama güç erkeklerde 657 W ve 8,13 W.kg⁻¹, kadınlarda 417 W ve 6,45 W.kg⁻¹ olarak ölçülmüştür (269).

5.4. Faz Açısı ve Aerobik Güç İlişkisi

Her ekspirasyon havasından ölçüm yapan gaz analiz sistemi ile indirekt kalorimetrik yöntemle kademeli artan bir egzersiz testinde ölçülen mutlak VO₂zirve ve 50 kHz frekansta ölçülen tüm vücut FA arasında istatistiksel olarak zayıf ancak anlamlı bir ilişki gözlenirken ($r = 0,383$, $p = 0,045$), relatif VO₂zirve (ml.kg⁻¹.dk⁻¹) ve FA arasında bir ilişki tespit edilmemiştir ($r = 0,094$, $p = 0,632$). Biyolojik olgunlaşma düzeyinin bir göstergesi olan ZBUH ve FA arasında zayıf ancak anlamlı bir ilişki ($r = 0,358$; $p = 0,048$), mutlak VO₂zirve ile kuvvetli bir ilişki ($r = 0,886$, $p = < 0,001$) saptanmış olması ZBUH'un bir karıştırıcı olduğunun göstergesi olarak kabul edilebilir. Bu sebeple karıştırıcı değişken etkisini arındırmak amacıyla gerçekleştirilen kısmi korelasyon analizi, mutlak VO₂zirve ve FA arasında gözlenen istatistiksel olarak anlamlı ilişkinin biyolojik olgunlaşma düzeyinden kaynaklandığına işaret etmektedir. Kısmi korelasyon analizi mutlak VO₂zirve ve FA arasında anlamlı bir ilişki olmadığını

göstermiştir. Bu bulgular, aerobik kapasitenin bir göstergesi olan relatif ya da mutlak VO_{2zirve} 'nin çocuklarda FA ile herhangi bir ilişki içerisinde olmadığını göstermiştir. Çocuklarda VO_{2zirve} ve FA arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalardan elde edilen bulgular bu çalışmada elde edilen bulguları desteklemektedir (223). Ayala-Guzmán vd. (223) adölesan boksörlerde (yaş: 15-18 yıl) yaptıkları çalışmada FA'nın relatif maksimal kuvvet ile ilişkili olduğunu ve VO_{2maks} olarak ifade edilebilen kardiyovasküler uygunlukla (59) arasında gözlenen anlamlı ilişkilerin diğer etkenlerin dahil edildiği doğrusal regresyon modellerinde ortadan kalktığını raporlamışlardır. Ancak araştırmacılar, istatistiksel analizlerde bu çalışmadan farklı olarak vücut kütle indeksini kontrol değişkeni olarak kullanmışlardır. Diğer çalışmaların aksine (173, 174) bulgularda verilmemiş olmakla beraber bu çalışmada vücut kütle indeksi ve FA arasında bir ilişki ($r = 0,093$, $p = 0,618$) saptanmamıştır. Sporcu popülasyonunda yapılan bir çalışmada da vücut kütle indeksi ve FA arasında ilişki olmadığına dair kanıt vardır (175). Kronolojik yaşları birbirine yakın ve aynı sporla uğraşan çocukların vücut kütle indeksleri benzer ancak biyolojik olgunlaşma düzeyleri farklı olabilir. Bu durum, spesifik bir popülasyonda FA'nın neden ZBUH ile daha yakın ilişki içerisinde olduğunu açıklayabilir. Böylece yapılan açıklamalar bu çalışmada neden aerobik ve anaerobik güç arasındaki ilişkiler incelenirken ZBUH'nin karıştırıcı değişken olarak kullanıldığını da ortaya koyar. Literatürde bu araştırmada kullanılan yöntemle uyumlu olarak (50 kHz frekans ve elden-ayağa tüm vücut impedans analizi) VO_{2zirve} ile FA arasındaki ilişkiyi inceleyen sınırlı sayıdaki çalışmada iki değişken arasında anlamlı bir ilişki olduğu rapor edilmiştir (9, 194, 214, 219). Örneğin Langer vd. (194) benzer biçimde ZBUH değişkenini kontrol değişkeni olarak belirledikten sonra yaptıkları istatistiksel analiz sonuçlarına göre FA değerlerinin kız çocuklarında yağsız vücut kütlesi, erkek çocuklarında VO_{2zirve} ile ilişkili olduğunu raporlamışlardır. Bu bulguları destekleyen bir diğer araştırmada da Martins vd. (214), erkek adölesan çocukların FA değerlerinin mekik koşusu testi ile belirledikleri VO_{2maks} ile yüksek bir ilişkiye sahip olduğunu göstermişlerdir. Araştırmacılar bu ilişkiyi FA'nın vücut hücre kütlesinin büyük bir kısmını oluşturduğu bilinen iskelet kaslarını (163, 199) temsil eden bir parametre olduğu görüşüne (198) dayandırmışlardır. Bununla beraber araştırma bulguları dikkatle incelendiğinde, FA ve VO_{2maks} arasındaki ilişkinin, yaş ve cinsiyet gibi bazı değişkenler kontrol edildiğinde ortadan kalktığını saptamışlardır. Ek olarak

diğer değişkenler dışarıda tutulduğunda bile VO_{2maks} 'taki değişimin FA'da yalnızca % 3'lük bir değişimden sorumlu olduğu ve küçük bir etki büyüklüğü gösterdiği raporlanmıştır (tanımlayıcılık katsayısı $R^2 = 0,03$, $p = 0,01$, Cohen's $f^2 = 0,03$). Dolayısıyla araştırmacılar bu çalışmanın bulgularını VO_{2maks} ile FA arasındaki direkt bir ilişkinin varlığına dair bir kanıt olarak gösterse de, yapılan istatistiksel analizler aslında gözlenen zayıf ilişkinin karıştırıcı değişken etkisine bağlı olarak ortaya çıktığına işaret etmektedir. VO_{2zirve} ile FA arasında yalnızca erkek çocuklarında ilişki olduğunu raporlayan önceki çalışmada Langer vd. (194) ZBUH kontrol edildiğinde FA'daki değişimin % 17'sinin relatif VO_{2zirve} tarafından açıklandığını göstermişler ve bu ilişkinin sebebini basitçe her iki özelliğin sağlıkla ilgili parametreler olmasından kaynaklanabileceğini tartışmışlardır. Bu durum çeşitli hastalık koşullarında yürütülen araştırmalar için de geçerli olabilir çünkü hem FA (185-187) hem de VO_{2maks} (60, 61, 63) değişkenlerinin sağlık göstergeleri olduğu bilinmektedir. Bu sebeple katılımcı grubu sağlık problemleri yaşayan bireylerden oluşturulduğunda, sağlık durumunun kötü olması her iki değişkeni de olumsuz etkilerken sağlık durumunun iyi olması tam tersi bir etki yaratacaktır ve bu durum FA ile VO_{2maks} arasında anlamlı bir ilişki görülmesine neden olacaktır. Langer vd. (9) tarafından yürütülen bir diğer çalışma kız ve erkek 73 katılımcı ile planlanmış ancak toplam 23 kişi ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada FA ile VO_{2maks} arasındaki ilişkinin istatistiksel gücü belirlenen katılımcı sayısının çok altında gerçekleşmesi sebebiyle oldukça düşüktür. Dokuz-onbir yaşlarındaki çocuklar üzerine yapılan bu çalışmada cinsiyet faktörü önemli bir etken olduğu için kız ve erkek çocuklar (12 kız ve 11 erkek) birbirinden ayrı değerlendirilmiştir. Araştırmacılar tarafından normal dağılım değerlendirmesi için kullanılan Shapiro-Wilk Testi'nin gücü, küçük boyutlu örneklemelerde zayıftır ve bu test 30'dan küçük örneklem gruplarında isabetli bir değerlendirme yapma özelliğine sahip değildir (272). Dahası çalışmada gözlemlenen anlamlı ilişkilerin erkek ve kız çocukları için yalnızca uygulanan çeşitli allometrik modeller kullanıldığında ortaya çıktığı rapor edilmiştir. Elde ettikleri bulgular ise mutlak VO_{2zirve} değerleri ile FA arasında allometrik modeller kullanılmadığında bir ilişki olmadığını göstermektedir. Bu çerçeveden bakıldığında, klasik anlamda aerobik güç ile FA arasında bir ilişki olmadığını gösteren bir çalışma olması açısından literatüre katkı sağladığı düşünülebilir. Yine de örneklem büyüklüğü sebebiyle bulguların

genellenebilirliğinden bahsetmek mümkün değildir. Son olarak bu konuda Ferreira vd. (219) tarafından yaşları 11-16 arasında değişen (84 kız ve 68 erkek) 152 katılımcıda yapılan bir diğer önemli çalışmada yalnızca erkek çocuklarda $VO_{2\text{zirve}}$ ve çeşitli allometrik modeller kullanılarak elde edilen $VO_{2\text{zirve}}$ değerlerinin FA ile istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki içerisinde olduğunu göstermişlerdir. Ancak FA'ya etki eden faktörlerin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen çoklu doğrusal regresyon analizinin sonuçları, adolesan erkek çocukların $VO_{2\text{zirve}}$ değerlerinin yalnızca % 4,6'sının FA tarafından açıklandığını göstermiştir ($R^2 = 0,046$, $p = 0,011$). Aktarılan bütün çalışmaların ortak ve önemli bir sınırlılığı vardır. Bu durum aerobik gücün $VO_{2\text{maks}}$ ya da $VO_{2\text{zirve}}$ şeklinde ifade edilmesine olanak sağlayan saha testi yaklaşımlarından kaynaklanmaktadır ve bu alanda şimdiye kadar yapılan araştırmalar sadece çeşitli tahmin yöntemlerine yer vermiştir. Nitekim bu ölçümler gerçek bir aerobik güç değerlendirmesini tahmin etmek amacıyla uygulanmaktadır ve elde edilen veriler her zaman bir hata payı barındırmaktadır. Sonuç olarak ölçümlerdeki çok küçük farkların bile istatistiksel olarak önemli etkileri olabileceği açıktır. Dolayısıyla bu araştırmada $VO_{2\text{zirve}}$ ölçümlerinin indirekt kalorimetri yöntemi ile yapılmış olması literatüre önemli bir katkı sağlayacaktır. Araştırma bulguları arasındaki çelişkiler kullanılan yöntemler, araştırma gruplarının fiziksel özellikleri, spor geçmişi gibi faktörlerden kaynaklanıyor olabilir. FA vücut hücre kütlelerini temsil eden bir parametredir (165, 198). İskelet kasları ise vücut hücre kütlelerinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır (163, 199). Bu durum, literatürde uzun yıllardır araştırma konusu olan ve sıklıkla diğer tüm değişkenlerden bağımsız olarak gözlenen FA ve iskelet kası (kalitesi, büyüklüğü, kuvveti, vb.) arasındaki yüksek etki büyüklüklerine sahip anlamlı ilişkilerin temel nedenidir (205-207, 211, 212). Dahası çocuklarda FA ile iskelet kaslarının özellikleri arasında daha güçlü bir ilişki olduğunu gösteren çalışmalar da mevcuttur (213). Diğer yandan aerobik gücü oluşturan birkaç bileşen vardır; oksijenin alınması (pulmoner), taşınması (kardiyovasküler) ve kullanılması (kas) (36). Oksijen kullanımının teorik bir ifadesi olan Fick Denklemi'de, oksijen tüketiminin kardiyak çıktı ve arteriyo-venöz oksijen farkının çarpımı tarafından belirlendiğini öne sürmektedir (50). Dokunun oksijen alımı ve kullanımının kaba bir göstergesi olarak kabul edilen Arterio-venöz oksijen farkı, egzersiz yapan kasın oksidatif fonksiyonunu yansıtır (273) ve aerobik gücün önemli bir bileşenidir. Ancak bahsedilen bu bileşenin $VO_{2\text{zirve}}$ olarak ölçülen

aerobik güce katkısı, kardiyak çıktıya göre çok daha sınırlı bir düzeydedir (274). Dolayısıyla FA ile $VO_{2\text{zirve}}$ arasında gözlenen ilişki düzeyinin 2 dayanağı vardır: 1) iskelet kasları dışında kalan vücut hücre kütlelerinin $VO_{2\text{zirve}}$ 'ye katkısı, 2) iskelet kaslarının $VO_{2\text{zirve}}$ 'ye katkısı. Bu perspektiften bakıldığında FA ile $VO_{2\text{zirve}}$ arasında raporlanan zayıf ya da orta düzeyde ancak istatistiksel olarak anlamlı ilişkilerin nedeni daha net anlaşılabilir. Nitekim bu iki değişken arasındaki ilişki dolaylı yoldan sağlanmaktadır ve kısmen birbirine etkisi bulunmaktadır. Belki de bu sebeple karıştırıcı değişkenler dikkate alındığında çoğunlukla gözlenen anlamlı ilişkiler ortadan kalkmaktadır. Elde ettiğimiz bulgular literatür ışığında değerlendirildiğinde, FA'ya etki eden ana bileşenin iskelet kasları olduğu anlaşılmaktadır. Bu bilgiler anaerobik güç ile FA arasında diğer etkenlerden bağımsız olarak tespit edilen istatistiksel ilişkilerin de teorik altyapısını oluşturmaya yönelik yeni bir kapı aralamaktadır.

5.5. Faz Açısı ve Anaerobik Güç İlişkisi

Bu araştırmada, katılımcıların anaerobik güç özelliklerini değerlendirmek için bilgisayar bağlantılı mekanik bir bisiklet ergometresinde WAnT uygulanmıştır. Anaerobik gücü tanımlamak için zirve güç ve ortalama güç değişkenlerine ilişkin veriler, hem relatif hem de mutlak güç çıktıları olarak aktarılmıştır. WAnT'ta yaygın olarak kullanılan ve daha yüksek zirve güç çıktılarının daha fazla güç kaybı (yorgunluk) ile ilişkilendirildiği Yİ değişkeni de bu araştırmada incelenmiştir (275, 276). Bu çalışmadan elde edilen bulgular çocuklarda anaerobik güç çıktıları ve FA arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu göstermiştir (Tablo 4.4.). Ancak ZBUH değişkeninin etkidiği mutlak güç çıktıları üzerinde uygulanan kısmi korelasyon analizi sonuçları MZG ile FA arasında gözlenen ilişkinin ortadan kalktığını ($r_k = 0,352$ $p = 0,056$), MOG için ise FA ile aralarında ZBUH'den bağımsız olarak orta düzeyde bir ilişki olduğunu göstermiştir ($r_k = 0,462$, $p = 0,010$). Benzer şekilde relatif anaerobik güç çıktıları ile FA arasında da orta düzeyde anlamlı ilişkiler olduğu (RZG: $r = 0,499$, $p = 0,004$; ROG: $r = 0,550$, $p = 0,001$) tespit edilmiştir. Buna karşılık Yİ ile FA arasında bir ilişki gözlenmemiştir ($r = -0,046$, $p = 0,805$). Bu çalışmanın bulguları Yİ ile FA arasında anlamlı ilişki olduğuna dair hipotezimizi desteklememekle beraber, kısa süren yüksek şiddetli aktivitelerde gösterilen fiziksel performans çıktılarının FA ile

ilişkili olduğunu gösteren araştırmalar mevcuttur. FA'nın yorgunluk ile ters bir korelasyon gösterebileceğini öneren araştırmalar vardır (221). Örneğin Nabuco vd. (217) tarafından yetişkinlerde yürütülen bir çalışmada regresyon analizinin sonuçları FA ve Yİ arasında istatistiksel olarak anlamlı ve ters bir ilişki olduğuna işaret etmiştir ($\beta = -0.61$; $P = 0.04$). Bu çalışmada elde edilen bulgular Nabuco vd. (217) tarafından açıklanan bulgularla uyumlu değildir. Araştırmacıların anaerobik gücü değerlendirmek için kullandıkları testin bir saha testi olması (Anaerobik Sprint Koşusu Testi (RAST) (277)) bulgular arasındaki farkın nedeni olabilir. RAST 10 saniye aralıklarla gerçekleştirilen 6 adet 35 metrelik maksimal sprint koşusu içermektedir ve WAnT'tan daha uzun süren kesintili bir test protokolüdür. Dahası, hesaplanan Yİ değerlerinin güvenilirliği ile ilgili sorunları gözler önüne seren çok sayıda çalışma vardır ve araştırmalar için herhangi bir Yİ özelliğine dikkatle yaklaşılması konusundaki öneriler de literatürde mevcuttur (132, 278). Bu sebeple Yİ tek başına bir çıkarım için yeterli değildir ve yalnızca bulguları destekleyici bir unsur olarak görülebilir. Sonuç olarak bu çalışmanın bulguları FA ile Yİ arasında anlamlı bir ilişkiden söz etmenin mümkün olmadığını göstermiştir.

Anaerobik gücün mutlak bileşenlerini yansıtan MZG ve MOG çıktılarına uygulanan kısmi korelasyon analizinin sonuçları arasındaki farklılığı yorumlamak için bu bileşenler arasındaki temel farkı anlamak gerekir. MZG 30 saniye süren testin ilk 5 saniyesindeki en yüksek mekanik güç çıktısını yansıtmaktadır. Buna karşın MOG 30 saniyelik test süresi boyunca her 5 saniyelik periyotta elde edilen en yüksek güç çıktılarının ortalamalarını ifade etmektedir. Enerji metabolizmasını oluşturan süreçler ATP'nin hidroliz yoluyla parçalanması bakımından değil yeniden sentezlenme biçimi yönünden ayrışır. Aerobik güç için ATP'nin sentezlenmesi süreci önceki bölümlerde aktarıldığı şekilde oksidatif fosforilasyon olarak adlandırılırken, anaerobik güç için bu durum metabolik yolların oksijen molekülünü kullanmadan ATP'yi üretme yeteneği olarak tanımlanır ve substrat seviyesinde fosforilasyon olarak adlandırılır (95). Anaerobik ATP üretimi, fosfokreatinden sağlanan fosfatın ADP'ye çok yüksek aktiviteye sahip tek bir metabolik reaksiyonda katılması (fosfojen sistem) ve substrat seviyesinde fosforilasyonla ATP'nin üretildiği ve laktatın son ürün olduğu glikolitik yoldaki (glikolitik sistem) iki metabolik yolla gerçekleşir (95). Fosfojen ve glikolitik sistemlerin enerji ihtiyacına karşılık neredeyse aynı anda aktifleşmesi, sadece

ergometrik testler ile bu bileşenlerin birbirinden ayrı bir biçimde değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır (127). Yine de kısa süren yüksek şiddetli test yaklaşımları sırasında doku örnekleri üzerinden çeşitli enzim aktiviteleri ve farklı molekül ya da bileşenlerin konsantrasyonlarını direkt olarak inceleyen çalışmalar zirve güç ve ortalama güç olarak toplanan verilere katkı sağlayan mekanizmaları açıkça ortaya koymaktadır (125, 126). Bisiklet ergometresi kullanılarak 30 saniye süren maksimal efor testinin ilk 6 saniyesinde ATP sentezleme sürecine fosfojen, glikolitik ve oksidatif sistemlerin katkısı sırasıyla % 48,2, % 42,7 ve % 9,1'dir. Yani WAnT'ta elde edilen zirve güç çıktılarına katkı sağlayan anaerobik süreçlerin etkisi yaklaşık olarak % 91'dir (125). Aynı süreçlerin ortalama güç çıktısına katkıları araştırma bulgularında paylaşılan grafikler dikkatli bir şekilde incelendiğinde oransal olarak yaklaşık % 28 (fosfojen), % 34 (glikolitik) ve % 38 (oksidatif) olacak şekilde değişmektedir (125). Böylece ortalama güç çıktısına anaerobik süreçlerin yaklaşık olarak % 62 oranında katkı sağladığı belirlenmiştir. Oksidatif fosforilasyonun etkisi ilk 5 saniyeye kıyasla ciddi bir artış göstererek 30 saniyelik mekanik güç çıktısına % 38 oranında katkı sağlamaktadır. Yapılan kısmi korelasyon analizi sonuçları bu çerçevede incelenmelidir. ZBUH değişkeni mutlak anaerobik güç çıktıları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir çünkü biyolojik olgunlaşma kas-iskelet sisteminin durumunu hormonal ve enzimatik aktivilerdeki değişimler sebebiyle önemli ölçüde etkiler (139-143). Biyolojik olgunlaşmanın mutlak güç çıktıları üzerinde yarattığı etkinin nedeni bu şekilde açıklanabilir. Ancak FA ve MZG ve MOG arasındaki anlamlı ilişkinin neden yalnızca MZG açısından anlamını yitirdiği açıklanması gereken bir durumdur. Bunun sebebi belki de MZG'nin ağırlıklı olarak (% 90,9) substrat fosforilasyonunu temsil etmesi olabilir. FA'yı oluşturan bileşenin, enerji elde etmek veya dönüştürmek için substratları oksitleyebilen ve mitoz bölünme yeteneğine sahip olan vücudun tüm hücrelerini temsil eden vücut hücre kütlesi kavramı (279) olduğu bilinmektedir (198). MZG değişkeni neredeyse tamamen substrat fosforilasyonunun başarısıyla ilişkiliyken, MOG değişkeni ATP'nin sentezlenmesine katkı sunan 3 farklı süreci daha dengeli bir biçimde yansıtmaktadır. Vücut hücre kütlesi, vücuttaki bütün aktif hücreleri kapsayan bir tanım olduğu için substrat fosforilasyonuyla sınırlı kalan MZG ve FA arasındaki ilişki kısmi korelasyon analizi sonrası ortadan kalkarken MOG değişkeni vücut hücre kütlesini oluşturan daha fazla dokuyu temsil etmesi sebebiyle

biyolojik olgunlaşma durumundan bağımsız olarak FA ile anlamlı bir ilişki içerisinde olabilir. Mekanik güç çıktıları relatif olarak ifade edildiğinde ise FA ile diğer bütün değişkenlerden bağımsız olarak anlamlı bir ilişki gözlenmektedir. ROG ve RZG ele alındığında FA ile en yüksek korelasyon gösteren değişkenin mutlak güç çıktılarına benzer şekilde ROG olduğu tespit edilmiştir. Bu durum FA ile fiziksel performans incelenirken gözlenen ilişkilerin sebebinin egzersize katkı sunan vücut hücre kütlesi miktarı olduğuna işaret etmektedir. Literatür incelendiğinde çoğu çalışmanın araştırma bulgularımızı destekler bir niteliğe sahip olduğu görülmüştür (218-222). Örneğin yaşlılarla yapılan bir çalışmada Oliveira vd. (220) hem anaerobik güç hem de aerobik güç gerektiren performans değerlendirmelerinin FA ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Ancak araştırmanın sonuçları kısa süren ve en yüksek eforu gerektiren test yaklaşımının FA'daki değişimin % 29,6'sını açıkladığını gösterirken, dayanıklılık özelliği yalnızca % 9,9'luk bir ilişki ortaya koymaktadır. Dolayısıyla FA ile fiziksel performans arasındaki ilişki daha çok anaerobik güçle ilişkilidir. Yetişkinlerle yapılan başka bir araştırma, bu konuda var olan sınırlı literatür içerisinde anaerobik güç değerlendirmesini WAnT protokolünü kullanarak gerçekleştiren nadir çalışmalardan biri olması yönünden önemlidir (221). Araştırmada katılımcılar FA değerlerine göre 3 farklı grupta kategorize edildiklerinde WAnT, aktif sıçrama ve kas kuvveti gibi özelliklerin, FA'sı yüksek gruplarda daha iyi olduğunu göstermiştir. Yapılan regresyon analizleri WAnT ve FA arasında anlamlı bir ilişki olduğunu göstermiştir ($r^2 = 0,11$, $p = 0,017$). Regresyon analizine yağsız yumuşak doku kütlesi ve yağ yüzdesi gibi değişkenler de dahil edildiğinde FA'daki değişimin % 63'lük bir kısmını açıklamaktadır. Adı geçen çalışmanın en büyük sınırlılığı WAnT çıktılarından sadece MOG değişkenine yer vermesi olmuştur. WAnT testi bisiklet ergometresinde uygulandığı için yerçekimine karşı yapılan bir iş yoktur ve vücut ağırlığına göre normalize edilmediği takdirde mutlak güç çıktıları vermektedir. Relatif çıktıların değerlendirilmesi, fiziksel performansı daha iyi yansıtması, koşu gibi farklı test prosedürlerinde elde edilen bulgularla kıyaslanabilmesi ve özellikle FA gibi doğası gereği relatif bir özelliği daha iyi yansıtması sebebiyle yapılan çalışmalarda gereklidir. İnsan vücudunun kapasitif özellikleri X_c ve elektrik akımının maruz kaldığı direnç R ile gösterilirken, FA'yı oluşturan bileşen X_c ile R arasındaki oranın açısal dönüşümünü ifade etmektedir (163). X_c hücre zarlarından, R ise hücre dışı ve hücre içi sıvıdan

kaynaklanır (158). Kısaca FA, hücre zarlarının kapasitif etkisinin (hücrelerin bütünlüğü (280)) toplam vücut sıvısına oranının açısıl dönüşümüdür. Bu sebeple FA relatif bir ölçü birimidir ve relatif performans çıktıları ile gözlenen direkt ilişkinin sebebi bu olabilir. Çocuklarla yürütülen güncel ve kapsamlı bir çalışmanın bulguları bu alanda önemli bilgiler sunmaktadır. Ferreira vd. (219) çeşitli fiziksel performans testleri arasında erkek çocuklarında FA ile etki büyüklüğü en yüksek olan özelliğin “sağlık topu fırlatma” olduğunu göstermiştir. Sağlık topu fırlatma hareketi anaerobik güç ile ilişkilendirilen üst vücut bölgesinin gücünü ve patlayıcılığını yansıtmak için literatürde çeşitli şekillerde yaygın olarak kullanılmaktadır (281-283). Aynı çalışmada erkek çocukları için elde edilen bulgulara ek olarak daha dikkat çekici bir sonuç kız çocuklarının verileri işlendikten sonra ortaya çıkmıştır. Buna göre kız çocuklarının sağlık topu fırlatma performansları FA ile istatistiksel olarak anlamlı ve zayıf bir ilişki içerisindedir. Son olarak erkek çocuklarda FA ve anaerobik güç arasındaki ilişkiyi daha net ortaya koymak için Martins vd. (218) tarafından yapılan bir çalışma incelenebilir. Adı geçen çalışmanın önemi, araştırmada kullanılan çok sayıda yüksek şiddetli hız ve güç gerektiren test yöntemine yer verilmiş olmasından kaynaklanmaktadır. Yalnızca erkek çocuk katılımcıların (62 kişi) yer aldığı bu araştırmanın bulguları FA ile 10 ve 30 metre sprint zamanları, durarak uzun atlama ve tekrarlı sprint becerisini ölçen test yaklaşımından elde edilen en iyi süre, ortalama süre ve test sonundaki zirve hız gibi anaerobik güç temelli çeşitli yaklaşımlar arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler olduğunu göstermiştir. Detaylı incelendiğinde FA ile 30 metre sprint zamanı arasındaki ilişkinin ($r = -0,71$, $p = <0,001$), FA ile 10 metre sprint zamanındaki ilişkiden ($r = -0,46$, $p = <0,001$) daha güçlü olduğu tespit edilmiştir. Benzer bir durum en iyi tekrarlı sprint süresi ($r = -0,62$, $p = <0,001$) ve ortalama tekrarlı sprint süresi ($r = -0,72$, $p = <0,001$) değişkenlerinde de geçerlidir ve ortalama tekrarlı sprint becerisi FA ile daha yüksek bir korelasyon göstermektedir. Adı geçen araştırmada uygulanan test yöntemleri yerçekimine karşı bir iş yapılması sebebiyle relatif anaerobik güç çıktılarını temsil etmektedir. Söz konusu ilişkiler ise bu çalışmanın bulguları ile uyumludur. Bu sebeple FA'nın çocuklarda anaerobik güç ile ilişkili olduğu söylenebilir. ATP'nin yeniden sentezinde anaerobik gücü oluşturan fosfojen ve glikolitik sistemlerin kullandığı substratlar çoğunlukla iskelet kaslarında depolanmaktadır. Örneğin fosfojen sistemin substrat olarak kullandığı

fosfokreatinlerin temel yapı taşlarından kreatin moleküllerinin % 95'i vücutta iskelet kaslarında bulunur (284). Benzer şekilde glikolitik sistemin dayandığı glikojen molekülü de insanlarda çoğunlukla iskelet kaslarında depolanır (285). İskelet kası, insan vücudunda en çok bulunan doku olup, toplam vücut kütesinin yaklaşık % 50'sini oluşturur ve metabolik olarak aktif hücre kütesinin (vücut hücre kütesi) en büyük bileşenidir (286, 287). FA ile anaerobik güç arasında gözlenen istatistiksel olarak anlamlı ilişkilerin nedeni bu şekilde açıklanmaktadır. Yine de anaerobik güç özelliğinin baskın olduğu durumlarda vücut hücre kütesinin geri kalan bileşenlerinin (aerobik güç; solunum kasları, organlar, kırmızı kan hücreleri, vb.) aktif rol oynaması gözlenen ilişki katsayılarını artırmaktadır. Bu bilgiler, FA'nın vücut hücre kütesini temsil ettiğini ve anaerobik güç ile direkt bir ilişki içinde olduğunu gösterirken, gerçekleşen yüksek şiddetli aktivitelerin süresi uzadığında daha kuvvetli ilişkilere rastlanabileceğine işaret etmektedir. Literatürde bu bilgilerin aksi yönünde kanıt sunan bir araştırmanın bulguları FA ile hız, çeviklik, alt ekstremite güç çıktıları ve çabukluk gibi anaerobik güç değişkenleri arasında herhangi bir ilişki gözlenmediğini raporlamaktadır (223). Yine de güncel literatür insanlarda ölçülen FA değerleri ile anaerobik güç arasında bir ilişki olduğuna dair güçlü kanıtlar sunmaya devam etmektedir. Örneğin Campa vd. (224) tarafından farklı spor branşlarına özgü referans değerleri elde etmek amacıyla gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları düşük FA değerine sahip sporcuların VO_{2maks} ile ilişkilendirilen dayanıklılık sporlarında gözlendiğini göstermektedir. Dolayısıyla enerjinin anaerobik yollardan sağlandığı güç ve sürat gerektiren spor branşları FA'yı daha olumlu yönde etkilemektedir. İncelenen çalışmalar yaşlı, yetişkin, genç ve çocuk katılımcılar farketmeksizin benzer sonuçlar ortaya koymaktadır ve FA ile fiziksel performans arasındaki ilişkinin kas kuvvetini ve gücünü yansıtan test yöntemlerinde daha yüksek olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak bu çalışmanın bulguları literatür ışığında değerlendirildiğinde, FA ile anaerobik güç arasında diğer değişkenlerden bağımsız bir ilişki olduğunu ve bu ilişkide iskelet kaslarının önemli bir rol oynadığını desteklemektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuç

Fiziksel olarak aktif çocuklarda indirekt kalorimetrik yöntem ile ölçülen aerobik güç ve WAnT'ta mekanik güç çıktıları üzerinden değerlendirilen anaerobik güç ile BIA'da 50 kHz frekans ve elden-ayağa tüm vücut impedans yöntemlerinden elde edilen ham veriler aracılığıyla hesaplanan faz açısı değişkenleri arasındaki ilişkiyi incelemek için yürütülen çalışmadan edinilen sonuçlar listelenmiştir.

1. Katılımcıların yaş, vücut ağırlığı, boy uzunluğu, bacak ve oturma boyu uzunluklarına ilişkin veriler kullanılarak belirlenen biyolojik olgunlaşma durumları ile faz açısı arasında istatistiksel olarak anlamlı, pozitif yönlü ve zayıf bir ilişki tespit edilmiştir ($r = 0,358$; $p = 0,048$). Bu durum biyolojik olgunlaşma durumu açısından akranlarına kıyasla daha ileride olan çocuklarda daha yüksek faz açısı değerleri gözlemlendiğini göstermiştir.
2. WAnT'ta ölçülen mutlak anaerobik güç çıktısı değişkenleri ile faz açısı arasında orta (MZG: $r = 0,484$, $p = 0,006$; MOG: $r = 0,546$, $p = 0,001$) ve biyolojik olgunlaşma durumu arasında kuvvetli (MZG: $r = 0,800$, $p = <0,001$; MOG: $r = 0,796$, $p = <0,001$) pozitif yönlü anlamlı ilişkiler vardır ve mutlak anaerobik güç ile faz açısı arasında gözlenen anlamlı ilişkiler MZG değişkeninde biyolojik olgunlaşma durumunun karıştırıcı değişken etkisi yaratması nedeniyle ortaya çıkmıştır ($r_k = 0,352$, $p = 0,056$). Bu bilgiler anaerobik güç vücut ağırlığına göre normalize edilmeden değerlendirildiğinde faz açısı ile kısmen bir ilişki içerisinde olduğuna işaret etmiştir ve biyolojik olgunlaşma durumuna göre değişmektedir.
3. Relatif anaerobik güç ile faz açısı arasında diğer değişkenlerden bağımsız olarak orta düzeyde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif yönlü ilişkiler saptanmıştır (RZG: $r = 0,147$, $p = 0,431$; ROG: $r = 0,070$, $p = 0,708$). Bunun anlamı, 9-12 yaşlarındaki çocuklarda anaerobik güç relatif olarak incelendiğinde daha iyi bir anaerobik gücün daha yüksek faz açısının öngörücüsü olmasıdır ve biyolojik olgunlaşma durumuna göre değişmemektedir.

4. Faz açısıyla Yİ değişkeni arasında bir ilişki görülmemiştir ($r = 0,245$, $p = 0,183$). Bu sebeple faz açısının, 30 saniye süren ve maksimal efor sarfedilen bir testte üretilen en yüksek mekanik güç çıktısını sürdürme yeteneğinin bir göstergesi olmadığı açıktır.
5. Her ekspirasyon havasında ölçüm yapan otomatik gaz analizörü ile ölçülen aerobik güç özelliği vücut ağırlığından bağımsız olarak değerlendirildiğinde faz açısı ile istatistiksel olarak anlamlı ve zayıf bir ilişki içerisinde (r = 0,383, $p = 0,045$). Mutlak VO_{2zirve} ile biyolojik olgunlaşma durumu arasında pozitif yönlü kuvvetli bir ilişki olması ($r = 0,886$, $p = < 0,001$) nedeniyle ZBUH kontrol edilerek gerçekleştirilen kısmi korelasyon analizi sonuçları ($r_k = 0.136$, $p = 0.500$) aerobik güç ile faz açısı arasında görülen anlamlı ilişkinin biyolojik olgunlaşma durumuna göre değişmekte olduğunu ortaya koymuştur.
6. VO_{2zirve} değerleri vücut ağırlığına göre normalize edilerek incelendiğinde faz açısı ile arasında bir ilişki olmadığını göstermiştir ($r = 0,094$, $p = 0,632$). Bu durum faz açısının VO_{2zirve} 'den etkilenmediği anlamına gelmektedir.

6.2. Öneriler

Fiziksel olarak aktif sağlıklı çocuklarda FA ile aerobik ve anaerobik güç arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmadan hareketle ileride yapılacak araştırmalara ışık tutması için öneriler sunulmuştur.

1. Bu çalışmaya sadece erkek çocuk katılımcılar dahil edilmiştir. Aynı yaş grubundaki kız çocuklarında benzer yöntemler kullanılarak faz açısı ile aerobik ve anaerobik güç arasındaki ilişkiler incelenebilir.
2. Bu araştırmaya yalnızca 9-12 yaşlarındaki çocuklar katılım göstermiştir. Farklı yaş gruplarını da kapsayacak şekilde daha büyük örneklem gruplarında faz açısı ile aerobik ve anaerobik güç arasındaki ilişkiler incelenebilir.
3. Bu çalışmada antrenman etkisi kontrol altında tutulmamıştır ve yüzme sporuyla uğraşan çocuklar fiziksel performansı geliştirme çalışmalarının küçük yaşlardan itibaren yoğun biçimde uygulandığı varsayımına dayanılarak belirlenmiştir. Antrenman etkisini daha iyi görmek ve hem faz açısı hem de aerobik ve anaerobik güç özelliklerinin değişiminin zamana bağlı olarak incelenmesini sağlayacak araştırmalar tasarlanabilir.

4. Bu çalışmada faz açısı değerlendirmesi 50 kHz sabit bir frekans kullanılarak belirlenmiştir. Farklı frekanslarda belirlenen faz açısının aerobik ve anaerobik güç ile ilişkisi incelenebilir.
5. Bu çalışmada elden-ayağa tüm vücut impedans yöntemi kullanılarak faz açısı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elden-ele ve ayaktan-ayağa segmental impedans yöntemleriyle belirlenecek faz açısı değerleri ile aerobik ve anaerobik güç arasındaki ilişkiler incelenebilir.

KAYNAKÇA

1. Lukaski HC, Johnson PE, Bolonchuk WW, Lykken GI. Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body. *The American journal of clinical nutrition*. 1985;41(4):810-7.
2. Yamada Y, Yoshida T, Murakami H, Kawakami R, Gando Y, Ohno H, ve ark. Phase angle obtained via bioelectrical impedance analysis and objectively measured physical activity or exercise habits. *Scientific reports*. 2022;12(1):17274.
3. Orsso CE, Gonzalez MC, Maisch MJ, Haqq AM, Prado CM. Using bioelectrical impedance analysis in children and adolescents: Pressing issues. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2022;76(5):659-65.
4. Di Vincenzo O, Marra M, Di Gregorio A, Pasanisi F, Scalfi L. Bioelectrical impedance analysis (BIA)-derived phase angle in sarcopenia: a systematic review. *Clinical Nutrition*. 2021;40(5):3052-61.
5. Wilhelm-Leen ER, Hall YN, Horwitz RI, Chertow GM. Phase angle, frailty and mortality in older adults. *Journal of general internal medicine*. 2014;29(1):147-54.
6. Girma T, Nielsen A-LH, Kæstel P, Abdissa A, Michaelsen KF, Friis H, ve ark. Biochemical and anthropometric correlates of bio-electrical impedance parameters in severely malnourished children: a cross-sectional study. *Clinical Nutrition*. 2018;37(2):701-5.
7. Więch P, Dąbrowski M, Bazaliński D, Sałacińska I, Korczowski B, Binkowska-Bury M. Bioelectrical impedance phase angle as an indicator of malnutrition in hospitalized children with diagnosed inflammatory bowel diseases—a case control study. *Nutrients*. 2018;10(4):499.
8. Dittmar M, Reber H, Kahaly G. Bioimpedance phase angle indicates catabolism in Type 2 diabetes. *Diabetic Medicine*. 2015;32(9):1177-85.
9. Langer RD, da Costa KG, Bortolotti H, Fernandes GA, de Jesus RS, Gonçalves EM. Phase angle is associated with cardiorespiratory fitness and body composition in children aged between 9 and 11 years. *Physiology & Behavior*. 2020;215:112772.
10. Zamberlan P, Feferbaum R, Doria Filho U, Brunow de Carvalho W, Figueiredo Delgado A. Bioelectrical impedance phase Angle and morbidity and mortality in critically ill children. *Nutrition in Clinical Practice*. 2019;34(1):163-71.
11. Ruiz-Margáin A, Xie JJ, Román-Calleja BM, Pauly M, White MG, Chapa-Ibargüengoitia M, ve ark. Phase angle from bioelectrical impedance for the assessment of sarcopenia in cirrhosis with or without ascites. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*. 2021;19(9):1941-9.e2.
12. Akamatsu Y, Kusakabe T, Arai H, Yamamoto Y, Nakao K, Ikeue K, ve ark. Phase angle from bioelectrical impedance analysis is a useful indicator of muscle quality. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*. 2022;13(1):180-9.
13. Custódio Martins P, de Lima TR, Silva AM, Santos Silva DA. Association of phase angle with muscle strength and aerobic fitness in different populations: A systematic review. *Nutrition*. 2022;93:111489.

14. Yamada Y, Itoi A, Yoshida T, Nakagata T, Yokoyama K, Fujita H, ve ark. Association of bioelectrical phase angle with aerobic capacity, complex gait ability and total fitness score in older adults. *Experimental Gerontology*. 2021;150:111350.
15. Takken T, Bongers BC, Van Brussel M, Haapala EA, Hulzebos EH. Cardiopulmonary exercise testing in pediatrics. *Annals of the American Thoracic Society*. 2017;14(Supplement 1):S123-S8.
16. Lima MR, Amador R, Presume J, Cunha G, Moreno L, Durazzo A, ve ark. Validation of an Aerobic Fitness Questionnaire to estimate VO₂ peak in a cohort of adult cardiac patients - Is it enough? *Revista portuguesa de cardiologia*. 2025;44(4):219-228.
17. Ranković G, Mutavdžić V, Toskić D, Preljević A, Kocić M, Nedin-Ranković G, ve ark. Aerobic capacity as an indicator in different kinds of sports. *Bosnian journal of basic medical sciences*. 2010;10(1):44.
18. Smirmaul BP, Bertucci DR, Teixeira IP. Is the VO₂max that we measure really maximal? *Frontiers in physiology*. 2013;4:203.
19. Stickland MK, Butcher SJ, Marciniuk DD, Bhutani M. Assessing exercise limitation using cardiopulmonary exercise testing. *Pulmonary medicine*. 2012;2012:824091.
20. Goudar S, Forsha D, White DA, Sherman A, Shirali G. Single ventricular strain measures correlate with peak oxygen consumption in children and adolescents with Fontan circulation. *Cardiology in the young*. 2023;33(7):1136-42.
21. Von Scheidt F, Meier S, Krämer J, Apitz A, Siaplaouras J, Bride P, ve ark. Heart rate response during treadmill exercise test in children and adolescents with congenital heart disease. *Frontiers in pediatrics*. 2019;7:65.
22. Da Silva BR, Kirkham AA, Ford KL, Haykowsky MJ, Paterson DI, Joy AA, ve ark. Phase angle is associated with muscle health and cardiorespiratory fitness in older breast cancer survivors. *Clinical Nutrition ESPEN*. 2023;55:208-11.
23. Streb AR, Hansen F, Gabiatti MP, Tozetto WR, Del Duca GF. Phase angle associated with different indicators of health-related physical fitness in adults with obesity. *Physiology & Behavior*. 2020;225:113104.
24. Genton L, Mareschal J, Norman K, Karsgaard VL, Delsoglio M, Pichard C, ve ark. Association of phase angle and running performance. *Clinical Nutrition ESPEN*. 2020;37:65-8.
25. Ballarin G, Valerio G, Alicante P, Di Vincenzo O, Scalfi L. Bioelectrical impedance analysis (BIA)-derived phase angle in children and adolescents: a systematic review. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*. 2022;75(2):120-30.
26. Sandford GN, Laursen PB, Buchheit M. Anaerobic speed/power reserve and sport performance: scientific basis, current applications and future directions. *Sports Medicine*. 2021;51(10):2017-28.
27. De Feo P, Di Loreto C, Lucidi P, Murdolo G, Parlanti N, De Cicco A, et al. Metabolic response to exercise. *Journal of endocrinological investigation*. 2003;26(9):851-4.

28. Castañeda-Babarro A. The Wingate Anaerobic Test, a narrative review of the protocol variables that affect the results obtained. *Applied Sciences*. 2021;11(16):7417.
29. Guerra M, Giné-Garriga M, Fernhall B. Reliability of Wingate testing in adolescents with Down syndrome. *Pediatric Exercise Science*. 2009;21(1):47-54.
30. Bar-Or O. The Wingate anaerobic test an update on methodology, reliability and validity. *Sports medicine*. 1987;4(6):381-94.
31. Cobley S, Abbott S, Dogramaci S, Kable A, Salter J, Hintermann M, et al. Transient relative age effects across annual age groups in national level Australian swimming. *Journal of science and medicine in sport*. 2018;21(8):839-45.
32. Pyne DB, Sharp RL. Physical and energy requirements of competitive swimming events. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*. 2014;24(4):351-9.
33. Aspenes ST, Karlsen T. Exercise-training intervention studies in competitive swimming. *Sports medicine*. 2012;42(6):527-43.
34. Toselli S, Marini E, Maietta Latessa P, Benedetti L, Campa F. Maturity related differences in body composition assessed by classic and specific bioimpedance vector analysis among male elite youth soccer players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(3):729.
35. Mills K, Baker D, Pacey V, Wollin M, Drew MK. What is the most accurate and reliable methodological approach for predicting peak height velocity in adolescents? A systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2017;20(6):572-7.
36. Krahenbuhl GS, Skinner JS, Kohrt WM. Developmental Aspects of Maximal Aerobic Power in Children. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 1985;13(1):503-38.
37. Hargreaves M, Spriet LL. Skeletal muscle energy metabolism during exercise. *Nature metabolism*. 2020;2(9):817-28.
38. Bertram R, Pedersen MG, Luciani DS, Sherman A. A simplified model for mitochondrial ATP production. *Journal of theoretical biology*. 2006;243(4):575-86.
39. Biro GP. Oxygen and ATP: the Energy Economy of the Cell. In: Liu H, Kaye AD, Jahr JS, editors. *Blood Substitutes and Oxygen Biotherapeutics*. Switzerland: Springer Nature; 2022.
40. Dunn J-O, Mythen M, Grocott M. Physiology of oxygen transport. *BJA Education*. 2016;16(10):341-8.
41. Kim HW, Greenburg AG. Hemoglobin-Based Oxygen Carriers as Red Cell Substitutes and Oxygen Therapeutics. Heidelberg, Berlin: Springer; 2013.
42. Kent M. Oxford dictionary of sports science and medicine. 3rd ed. New York, United States: Oxford University Press; 2006.
43. Aaronson PI, Ward JP, Connolly MJ. The cardiovascular system at a glance. 5th ed. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons Ltd; 2020.
44. Vincent J-L. Understanding cardiac output. *Critical care*. 2008;12(4):174.

45. Saltin B, Calbet JA. Point: in health and in a normoxic environment, VO₂ max is limited primarily by cardiac output and locomotor muscle blood flow. *Journal of Applied Physiology*. 2006;100(2):744-8.
46. Richardson RS, Harms G, Grassi B, Hepple RT. Skeletal muscle: master or slave of the cardiovascular system? *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2000;32(1):89-93.
47. Heymsfield SB, Adamek M, Gonzalez MC, Jia G, Thomas DM. Assessing skeletal muscle mass: historical overview and state of the art. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*. 2014;5(1):9-18.
48. Ten Eyck LF. Hemoglobin and myoglobin. Dolphin D, editor. *The Porphyrins V7: Biochemistry, Part B*. New York: Academic Press; 2012.
49. Vella CA, Ontiveros D, Zubia RY. Cardiac function and arteriovenous oxygen difference during exercise in obese adults. *European journal of applied physiology*. 2011;111(6):915-23.
50. Astorino TA, Edmunds RM, Clark A, King L, Gallant RA, Namm S, ve ark. High-intensity interval training increases cardiac output and VO₂max. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2017;49(2):265-73.
51. Lee J, Zhang X. Physiological determinants of VO₂max and the methods to evaluate it: A critical review. *Science & Sports*. 2021;36(4):259-71.
52. McKenzie DC. Respiratory physiology: adaptations to high-level exercise. *British journal of sports medicine*. 2012;46(6):381-4.
53. Seo DY, Kwak H-B, Kim AH, Park SH, Heo JW, Kim HK, ve ark. Cardiac adaptation to exercise training in health and disease. *Pflügers Archiv-European Journal of Physiology*. 2020;472(2):155-68.
54. Mandić M, Eriksson LM, Melin M, Skott V, Sundblad P, Gustafsson T, ve ark. Increased maximal oxygen uptake after sprint-interval training is mediated by central haemodynamic factors as determined by right heart catheterization. *The Journal of Physiology*. 2023;601(12):2359-70.
55. Basset FA, Boulay MR. Treadmill and Cycle Ergometer Tests are Interchangeable to Monitor Triathletes Annual Training. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2003;2(3):110-6.
56. Falk B, Dotan R. Measurement and Interpretation of Maximal Aerobic Power in Children. *Pediatric Exercise Science*. 31(2):144-51.
57. Simonson TS, Yang Y, Huff CD, Yun H, Qin G, Witherspoon DJ, ve ark. Genetic evidence for high-altitude adaptation in Tibet. *Science*. 2010;329(5987):72-5.
58. Lai N, Martis A, Belfiori A, Tolentino-Silva F, Nasca MM, Strainic J, ve ark. Gender differences in VO₂ and HR kinetics at the onset of moderate and heavy exercise intensity in adolescents. *Physiological Reports*. 2016;4(18):e12970.
59. Bennett H, Parfitt G, Davison K, Eston R. Validity of Submaximal Step Tests to Estimate Maximal Oxygen Uptake in Healthy Adults. *Sports Medicine*. 2016;46(5):737-50.

60. Williamson PJ, Atkinson G, Batterham AM. Inter-Individual Responses of Maximal Oxygen Uptake to Exercise Training: A Critical Review. *Sports Medicine*. 2017;47(8):1501-13.
61. Laukkanen JA, Kurl S, Salonen R, Rauramaa R, Salonen JT. The predictive value of cardiorespiratory fitness for cardiovascular events in men with various risk profiles: a prospective population-based cohort study. *European Heart Journal*. 2004;25(16):1428-37.
62. Sui X, LaMonte MJ, Blair SN. Cardiorespiratory Fitness as a Predictor of Nonfatal Cardiovascular Events in Asymptomatic Women and Men. *American Journal of Epidemiology*. 2007;165(12):1413-23.
63. Keteyian SJ, Brawner CA, Savage PD, Ehrman JK, Schairer J, Divine G, et al. Peak aerobic capacity predicts prognosis in patients with coronary heart disease. *American Heart Journal*. 2008;156(2):292-300.
64. Lee D-c, Artero EG, Xuemei Sui n, Blair SN. Review: Mortality trends in the general population: the importance of cardiorespiratory fitness. *Journal of Psychopharmacology*. 2010;24(4 Suppl):27-35.
65. Burtcher M, Nachbauer W, Wilber R. The upper limit of aerobic power in humans. *European Journal of Applied Physiology*. 2011;111(10):2625-8.
66. Rønnestad BR, Mujika I. Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2014;24(4):603-12.
67. McCormick A, Meijen C, Marcora S. Psychological Determinants of Whole-Body Endurance Performance. *Sports Medicine*. 2015;45(7):997-1015.
68. Maunder E, Seiler S, Mildenhall MJ, Kilding AE, Plews DJ. The Importance of 'Durability' in the Physiological Profiling of Endurance Athletes. *Sports Medicine*. 2021;51(8):1619-28.
69. McLaughlin JE, Howley ET, Bassett DRJ, Thompson DL, Fitzhugh EC. Test of the Classic Model for Predicting Endurance Running Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2010;42(5):991-7.
70. Carlsson T, Carlsson M, Felleki M, Hammarström D, Heil D, Malm C, et al. Scaling maximal oxygen uptake to predict performance in elite-standard men cross-country skiers. *Journal of Sports Sciences*. 2013;31(16):1753-60.
71. Ehrström S, Tartaruga MP, Easthope CS, Brisswalter J, Morin J-B, Vercruyssen F. Short Trail Running Race: Beyond the Classic Model for Endurance Running Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2018;50(3):580-8.
72. Esfarjani F, Laursen PB. Manipulating high-intensity interval training: Effects on $\dot{V}O_2$ max, the lactate threshold and 3000m running performance in moderately trained males. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2007;10(1):27-35.
73. Mitchell JH, Blomqvist G. Maximal oxygen uptake. *New England Journal of Medicine*. 1971;284(18):1018-22.
74. Urquhart DS, Saynor ZL. Exercise testing in cystic fibrosis: Who and why? *Paediatric Respiratory Reviews*. 2018;27:28-32.

75. Astorino TA. Alterations in VO₂max and the VO₂ plateau with manipulation of sampling interval. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. 2009;29(1):60-7.
76. Armstrong N, Welsman J, Winsley R. Is Peak VO₂ a Maximal Index of Children's Aerobic Fitness? *International Journal of Sports Medicine*. 1996;17(05):356-9.
77. Knaier R, Niemeyer M, Wagner J, Infanger D, Hinrichs T, Klenk C, ve ark. Which cutoffs for secondary V O₂max criteria are robust to diurnal variations? *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2019;51(5):1006-13.
78. Barker AR, Williams CA, Jones AM, Armstrong N. Establishing maximal oxygen uptake in young people during a ramp cycle test to exhaustion. *British journal of sports medicine*. 2009;45(6):498-503.
79. Poole DC, Jones AM. Measurement of the maximum oxygen uptake Vo₂max: Vo₂peak is no longer acceptable. *Journal of applied physiology*. 2017;122(4):997-1002.
80. Midgley A, Carroll S. Emergence of the verification phase procedure for confirming 'true'VO₂max. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2009;19(3):313-22.
81. Midgley AW, McNaughton LR, Polman R, Marchant D. Criteria for determination of maximal oxygen uptake: a brief critique and recommendations for future research. *Sports medicine*. 2007;37:1019-28.
82. Buttar KK, Saboo N, Kacker S. A review: Maximal oxygen uptake (VO₂ max) and its estimation methods. *International Journal of Physical Education, Sports and Health*. 2019;6(6):24-32.
83. Rowland T, Goff D, Martel L, Ferrone L. Influence of Cardiac Functional Capacity on Gender Differences in Maximal Oxygen Uptake in Children. *Chest*. 2000;117(3):629-35.
84. Gilliam TB, Freedson PS. Effects of a 12-week School Physical Fitness Program on Peak VO₂, Body Composition and Blood Lipids in 7 to 9 Year Old Children. *International Journal of Sports Medicine*. 1980;01(02):73-8.
85. Mahon AD, Vaccaro P. Ventilatory threshold and VO₂max changes in children following endurance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 1989;21(4):425-31.
86. Helgerud J, Høydal K, Wang E, Karlsen T, Berg P, Bjerkaas M, ve ark. Aerobic High-Intensity Intervals Improve V'O₂max More Than Moderate Training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2007;39(4):665-71.
87. Kuswoyo DD, Lahinda J, Syamsudin. The effects of high-intensity interval training (HIIT) in improving VO₂ max football student activity unit, University of Musamus. *Enfermería Clínica*. 2020;30:507-11.
88. Chuensiri N, Suksom D, Tanaka H. Effects of High-Intensity Intermittent Training on Vascular Function in Obese Preadolescent Boys. *Childhood Obesity*. 2018;14(1):41-9.

89. Lambrick D, Nicole W, Sebastian K, Lee S, Faulkner J. The effectiveness of a high-intensity games intervention on improving indices of health in young children. *Journal of Sports Sciences*. 2016;34(3):190-8.
90. Martínez SR, Ríos LJC, Tamayo IM, Almeida LG, López-Gomez MA, Jara CC. An After-School, high-intensity, interval physical activity programme improves health-related fitness in children. *Motriz: Revista de Educação Física*. 2016;22(4):359-67.
91. Alves AR, Marta CC, Neiva HP, Izquierdo M, Marques MC. Concurrent Training in Prepubescent Children: The Effects of 8 Weeks of Strength and Aerobic Training on Explosive Strength and Vo2max. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2016;30(7):2019-32.
92. Türkçe Sözlük. 12th ed: Ankara. Türk Dil Kurumu Yayınları; 2023. Anaerobik; p. 183.
93. Green S. A definition and systems view of anaerobic capacity. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1994;69(2):168-73.
94. Dunn J, Grider MH. Physiology, Adenosine Triphosphate [Internet]. 2023 [Erişim Tarihi 28 Kasım 2024]. Erişim adresi: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK553175/>
95. Spriet LL. Anaerobic Metabolism During Exercise. In: McConell G, editor. *Exercise Metabolism*. Switzerland: Springer Nature; 2022.
96. Bonora M, Patergnani S, Rimessi A, De Marchi E, Suski JM, Bononi A, ve ark. ATP synthesis and storage. *Purinergic Signalling*. 2012;8(3):343-57.
97. Baker JS, McCormick MC, Robergs RA. Interaction among Skeletal Muscle Metabolic Energy Systems during Intense Exercise. *Journal of Nutrition and Metabolism*. 2010;2010(1):905612.
98. Casson RJ, Chidlow G, Crowston JG, Williams PA, Wood JPM. Retinal energy metabolism in health and glaucoma. *Progress in Retinal and Eye Research*. 2021;81:100881.
99. Magyari P, Lite R, Kilpatrick M, Schoffstall J, American College of Sports Medicine ib. *ACSM's resources for the exercise physiologist : a practical guide for the health fitness professional*. 2nd ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health; 2018.
100. Snyder S. Energy Systems. Knoblauch M, editors *Clinical Nutrition in Athletic Training*. New York: Routledge; 2024.
101. Holloway GP. Nutrition and Training Influences on the Regulation of Mitochondrial Adenosine Diphosphate Sensitivity and Bioenergetics. *Sports Medicine*. 2017;47(1):13-21.
102. Heck H, Henry S, Bartmus U. Diagnostics of anaerobic power and capacity. *European Journal of Sport Science*. 2003;3(3):1-23.
103. Van Praagh E. Anaerobic fitness tests: what are we measuring. *Medicine and Sport Science*. 2007;50:26-45.
104. Gross M, Lüthy F. Anaerobic Power Assessment in Athletes: Are Cycling and Vertical Jump Tests Interchangeable? *Sports*. 2020;8(5):60.

105. Patel H, Alkhawam H, Madanieh R, Shah N, Kosmas CE, Vittorio TJ. Aerobic vs anaerobic exercise training effects on the cardiovascular system. *World Journal of Cardiology*. 2017;9(2):134-8.
106. Hazell TJ, Hamilton CD, Olver TD, Lemon PWR. Running sprint interval training induces fat loss in women. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2014;39(8):944-50.
107. Whyte LJ, Gill JMR, Cathcart AJ. Effect of 2 weeks of sprint interval training on health-related outcomes in sedentary overweight/obese men. *Metabolism*. 2010;59(10):1421-8.
108. Rakobowchuk M, Tanguay S, Burgomaster KA, Howarth KR, Gibala MJ, MacDonald MJ. Sprint interval and traditional endurance training induce similar improvements in peripheral arterial stiffness and flow-mediated dilation in healthy humans. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 2008;295(1):R236-R42.
109. Ouerghi N, Fradj MKB, Bezrati I, Khammassi M, Feki M, Kaabachi N, ve ark. Effects of high-intensity interval training on body composition, aerobic and anaerobic performance and plasma lipids in overweight/obese and normal-weight young men. *Biology of Sport*. 2017;34(4):385-92.
110. Kalinski M, Henrick N, Matthew K, and Tkaczuk W. Anaerobic power characteristics of elite athletes in national level team-sport games. *European Journal of Sport Science*. 2002;2(3):1-21.
111. Song Y, Sheykhlovand M. A Comparative Analysis of High-Intensity Technique-Specific Intervals and Short Sprint Interval Training in Taekwondo Athletes: Effects on Cardiorespiratory Fitness and Anaerobic Power. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2024;23(1):672-83.
112. Nelson A. Metabolic responses to weight lifting. *International Journal of Applied Exercise Physiology*. 2017;6(1).
113. Haugen T, McGhie D, Ettema G. Sprint running: from fundamental mechanics to practice—a review. *European Journal of Applied Physiology*. 2019;119(6):1273-87.
114. Girard O, Mendez-Villanueva A, Bishop D. Repeated-Sprint Ability — Part I. *Sports Medicine*. 2011;41(8):673-94.
115. Stöggl TL, Björklund G. High Intensity Interval Training Leads to Greater Improvements in Acute Heart Rate Recovery and Anaerobic Power as High Volume Low Intensity Training. *Frontiers in Physiology*. 2017;8:562.
116. Dardouri W, Selmi MA, Sassi RH, Gharbi Z, Rebhi A, Yahmed MH, ve ark. Relationship Between Repeated Sprint Performance and both Aerobic and Anaerobic Fitness. *Journal of Human Kinetics*. 2014;40:139-48.
117. Alemdaroğlu U. The relationship between muscle strength, anaerobic performance, agility, sprint ability and vertical jump performance in professional basketball players. *Journal of Human Kinetics*. 2012;31:149-58.

118. Potma EJ, van Graas IA, Stienen GJ. Influence of inorganic phosphate and pH on ATP utilization in fast and slow skeletal muscle fibers. *Biophysical Journal*. 1995;69(6):2580-9.
119. Kowalchuk JM, Heigenhauser GJ, Lindinger MI, Sutton JR, Jones NL. Factors influencing hydrogen ion concentration in muscle after intense exercise. *Journal of Applied Physiology*. 1988;65(5):2080-9.
120. Sjödín B, Jacobs I, Svedenhag J. Changes in onset of blood lactate accumulation (OBLA) and muscle enzymes after training at OBLA. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1982;49(1):45-57.
121. Sugden PH, Newsholme EA. The effects of ammonium, inorganic phosphate and potassium ions on the activity of phosphofructokinases from muscle and nervous tissues of vertebrates and invertebrates. *Biochemical Journal*. 1975;150(1):113-22.
122. Sinoway LI, Rea RF, Mosher TJ, Smith MB, Mark AL. Hydrogen ion concentration is not the sole determinant of muscle metaboreceptor responses in humans. *The Journal of Clinical Investigation*. 1992;89(6):1875-84.
123. Bangsbo J, Gollnick PD, Graham TE, Juel C, Kiens B, Mizuno M, et al. Anaerobic energy production and O₂ deficit-debt relationship during exhaustive exercise in humans. *The Journal of Physiology*. 1990;422(1):539-59.
124. Medbo JJ, Mohn AC, Tabata I, Bahr R, Vaage O, Sejersted OM. Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. *Journal of Applied Physiology*. 1988;64(1):50-60.
125. Parolin ML, Chesley A, Matsos MP, Spriet LL, Jones NL, Heigenhauser GJF. Regulation of skeletal muscle glycogen phosphorylase and PDH during maximal intermittent exercise. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. 1999;277(5):E890-E900.
126. Howlett RA, Parolin ML, Dyck DJ, Hultman E, Jones NL, Heigenhauser GJF, et al. Regulation of skeletal muscle glycogen phosphorylase and PDH at varying exercise power outputs. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 1998;275(2):R418-R25.
127. Vandewalle H, Péérès G, Monod H. Standard Anaerobic Exercise Tests. *Sports Medicine*. 1987;4(4):268-89.
128. Jones NL, McCartney N, Graham T, Spriet LL, Kowalchuk JM, Heigenhauser GJ, et al. Muscle performance and metabolism in maximal isokinetic cycling at slow and fast speeds. *Journal of Applied Physiology*. 1985;59(1):132-6.
129. Jacobs I, Tesch PA, Bar-Or O, Karlsson J, Dotan R. Lactate in human skeletal muscle after 10 and 30 s of supramaximal exercise. *Journal of Applied Physiology*. 1983;55(2):365-7.
130. Zagatto AM, Beck WR, Gobatto CA. Validity of the Running Anaerobic Sprint Test for Assessing Anaerobic Power and Predicting Short-Distance Performances. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2009;23(6):1820-7.
131. Hoffman JR, Kang J. Evaluation of a New Anaerobic Power Testing System. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2002;16(1):142-8.

132. Driss T, Vandewalle H. The Measurement of Maximal (Anaerobic) Power Output on a Cycle Ergometer: A Critical Review. *BioMed Research International*. 2013;2013(1):589361.
133. Durkalec-Michalski K, Zawieja EE, Zawieja BE, Michałowska P, Podgórski T. The gender dependent influence of sodium bicarbonate supplementation on anaerobic power and specific performance in female and male wrestlers. *Scientific Reports*. 2020;10(1):1878.
134. Boraczyński M, Boraczyński T, Podstawski R, Wójcik Z, Gronek P. Relationships Between Measures of Functional and Isometric Lower Body Strength, Aerobic Capacity, Anaerobic Power, Sprint and Countermovement Jump Performance in Professional Soccer Players. *Journal of Human Kinetics*. 2020;75:161-75.
135. Gottlieb R, Shalom A, Calleja-Gonzalez J. Physiology of Basketball - Field Tests. Review Article. *Journal of Human Kinetics*. 2021;77:159-67.
136. Sacchi N, Castagnetta M, Puntoni M, Amaro A, Banelli B, Pfeiffer U, ve ark. Biological Age versus Chronological Age in the Prevention of Age Associated Diseases. *OBM Geriatrics*. 2019;03(02):051.
137. Sluiskes MH, Goeman JJ, Beekman M, Slagboom PE, Putter H, Rodríguez-Girondo M. Clarifying the biological and statistical assumptions of cross-sectional biological age predictors. *BMC Medical Research Methodology*. 2024;24:58.
138. Almeida-Neto PFd, de Medeiros RCdSC, de Matos DG, Baxter-Jones ADG, Aidar FJ, de Assis GG, ve ark. Lean mass and biological maturation as predictors of muscle power and strength performance in young athletes. *PloS One*. 2021;16(7):e0254552.
139. Malina RM, J. CESM, J. FA, Christopher C, and Beunen GP. Interrelationships among invasive and non-invasive indicators of biological maturation in adolescent male soccer players. *Journal of Sports Sciences*. 2012;30(15):1705-17.
140. Malina RM. Skeletal Age and Age Verification in Youth Sport. *Sports Medicine*. 2011;41(11):925-47.
141. Deplewski D, Rosenfield RL. Role of Hormones in Pilosebaceous Unit Development. *Endocrine Reviews*. 2000;21(4):363-92.
142. Rizzoli R, Bonjour J-P. Hormones and bones. *The Lancet*. 1997;349:S20-S3.
143. Banica T, Vandewalle S, Zmierzak H-G, Goemaere S, De Buyser S, Fiers T, ve ark. The relationship between circulating hormone levels, bone turnover markers and skeletal development in healthy boys differs according to maturation stage. *Bone*. 2022;158:116368.
144. Ghaibour K, Schuh M, Souali-Crespo S, Chambon C, Charlot A, Rizk J, ve ark. Androgen receptor coordinates muscle metabolic and contractile functions. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*. 2023;14(4):1707-20.
145. Troncoso MF, Pavez M, Wilson C, Lagos D, Duran J, Ramos S, ve ark. Testosterone activates glucose metabolism through AMPK and androgen signaling in cardiomyocyte hypertrophy. *Biological Research*. 2021;54(1):3.

146. Brooks DE. Activity and androgenic control of glycolytic enzymes in the epididymis and epididymal spermatozoa of the rat. *Biochemical Journal*. 1976;156(3):527-37.
147. Kaczor JJ, Ziolkowski W, Popinigis J, Tarnopolsky MA. Anaerobic and Aerobic Enzyme Activities in Human Skeletal Muscle from Children and Adults. *Pediatric Research*. 2005;57(3):331-5.
148. Song Y, Lan H. The Effects of High-Intensity Interval Training on Cardiometabolic Health in Children and Adolescents: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2024;23(4):690-706.
149. Duncombe SL, Barker AR, Bond B, Earle R, Varley-Campbell J, Vlachopoulos D, ve ark. School-based high-intensity interval training programs in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis. *PloS One*. 2022;17(5):e0266427.
150. Bauer N, Sperlich B, Holmberg H-C, Engel FA. Effects of High-Intensity Interval Training in School on the Physical Performance and Health of Children and Adolescents: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Medicine - Open*. 2022;8(1):50.
151. Almeida-Neto PFd, Silva LFD, Miarka B, De Medeiros JA, de Medeiros RCdSC, Teixeira RPA, ve ark. Influence of Advancing Biological Maturation on Aerobic and Anaerobic Power and on Sport Performance of Junior Rowers: A Longitudinal Study. *Frontiers in Physiology*. 2022;13:892966.
152. Chaput J-P, Willumsen J, Bull F, Chou R, Ekelund U, Firth J, ve ark. 2020 WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour for children and adolescents aged 5–17 years: summary of the evidence. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*. 2020;17(1):141.
153. Alves DL, Castro PHC, Freitas JV, De-Oliveira FR, Lima JRP, Cruz R. What variables determine sprint performance in young athletes? *Science & Sports*. 2021;36(3):e87-e94.
154. Maciejewski H, Rahmani A, Chorin F, Lardy J, Giroux C, Ratel S. The 1,500-m Rowing Performance is Highly Dependent on Modified Wingate Anaerobic Test Performance in National-Level Adolescent Rowers. *Pediatric Exercise Science*. 2016;28(4):572-9.
155. Kanungo S, Wells K, Tribett T, El-Gharbawy A. Glycogen metabolism and glycogen storage disorders. *Annals of Translational Medicine*. 2018;6(24):474.
156. Wyss M, Kaddurah-Daouk R. Creatine and Creatinine Metabolism. *Physiological Reviews*. 2000;80(3):1107-213.
157. Marra M, Sammarco R, De Lorenzo A, Iellamo F, Siervo M, Pietrobelli A, ve ark. Assessment of Body Composition in Health and Disease Using Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) and Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DXA): A Critical Overview. *Contrast Media & Molecular Imaging*. 2019;2019(1):3548284.
158. Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Gómez JM, ve ark. Bioelectrical impedance analysis—part I: review of principles and methods. *Clinical nutrition*. 2004;23(5):1226-43.

159. Salmi J A. Body composition assessment with segmental multifrequency bioimpedance method. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2003;2(3):1-29.
160. Goswami PN, Munna K, Moinuddin. Bioelectrical impedance analysis: phase angle-an independent predictive health marker and its clinical applications. In Ibrahim F, Osman NAA, Usman J, Kadri NA, editors. 3rd Kuala Lumpur International Conference on Biomedical Engineering; 2006 December 11–14; Kuala Lumpur, Malaysia. Heidelberg, Berlin: Springer; 2007. p. 321-24.
161. Houtkooper LB, Lohman TG, Going SB, Howell WH. Why bioelectrical impedance analysis should be used for estimating adiposity. *The American journal of clinical nutrition*. 1996;64(3):436S-48S.
162. Campa F, Gobbo LA, Stagi S, Cyrino LT, Toselli S, Marini E, ve ark. Bioelectrical impedance analysis versus reference methods in the assessment of body composition in athletes. *European Journal of Applied Physiology*. 2022;122(3):561-89.
163. Sardinha LB, Rosa GB. Phase angle, muscle tissue, and resistance training. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*. 2023;24(3):393-414.
164. Bosy-Westphal A, Danielzik S, Dörhöfer R-P, Later W, Wiese S, Müller MJ. Phase Angle From Bioelectrical Impedance Analysis: Population Reference Values by Age, Sex, and Body Mass Index. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*. 2006;30(4):309-16.
165. Selberg O, Selberg D. Norms and correlates of bioimpedance phase angle in healthy human subjects, hospitalized patients, and patients with liver cirrhosis. *European Journal of Applied Physiology*. 2002;86(6):509-16.
166. Gupta D, Lammersfeld CA, Burrows JL, Dahlk SL, Vashi PG, Grutsch JF, ve ark. Bioelectrical impedance phase angle in clinical practice: implications for prognosis in advanced colorectal cancer. *The American journal of clinical nutrition*. 2004;80(6):1634-8.
167. Mialich MS, Sicchieri JF, Junior AJ. Analysis of body composition: a critical review of the use of bioelectrical impedance analysis. *Int J Clin Nutr*. 2014;2(1):1-10.
168. Sardinha LB. Physiology of exercise and phase angle: another look at BIA. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2018;72(9):1323-7.
169. Grecco Hernán E, Schmick M, Bastiaens Philippe IH. Signaling from the Living Plasma Membrane. *Cell*. 2011;144(6):897-909.
170. Ray S, Kassan A, Busija AR, Rangamani P, Patel HH. The plasma membrane as a capacitor for energy and metabolism. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*. 2016;310(3):C181-92.
171. Soriano-Guillén L, Tena-Sempere M, Seraphim CE, Latronico AC, Argente J. Precocious sexual maturation: Unravelling the mechanisms of pubertal onset through clinical observations. *Journal of neuroendocrinology*. 2022;34(2):e12979.
172. Barbosa-Silva MCG, Barros AJD, Wang J, Heymsfield SB, Pierson RN. Bioelectrical impedance analysis: population reference values for phase angle by age and sex². *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2005;82(1):49-52.

173. Fu L, Ren Z, Liu X, Wu N, Zhao K, Luo G, ve ark. Reference Data of Phase Angle Using Bioelectrical Impedance Analysis in Overweight and Obese Chinese. *Frontiers in Endocrinology*. 2022;13:924199.
174. Di Vincenzo O, Marra M, Sacco AM, Pasanisi F, Scalfi L. Bioelectrical impedance (BIA)-derived phase angle in adults with obesity: A systematic review. *Clinical Nutrition*. 2021;40(9):5238-48.
175. Oshita K, Hikita A, Myotsuzono R, Murai S. Assessment of muscle quality by phase angle and body physique in nonathlete students and trained/developmental athletes. *Physiological Reports*. 2025;13(11):e70412.
176. Mattiello R, Amaral MA, Mundstock E, Ziegelmann PK. Reference values for the phase angle of the electrical bioimpedance: Systematic review and meta-analysis involving more than 250,000 subjects. *Clinical Nutrition*. 2020;39(5):1411-7.
177. Campa F, Toselli S, Mazzilli M, Gobbo LA, Coratella G. Assessment of body composition in athletes: A narrative review of available methods with special reference to quantitative and qualitative bioimpedance analysis. *Nutrients*. 2021;13(5):1620.
178. Ward LC, Brantlov S. Bioimpedance basics and phase angle fundamentals. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*. 2023;24(3):381-91.
179. Yacoob Aldosky HY, Yildiz A, Hussein HA. Regional body fat distribution assessment by bioelectrical impedance analysis and its correlation with anthropometric indices. *Physics in Medicine*. 2018;5:15-9.
180. González-Correa CH, Caicedo-Eraso JC. Bioelectrical impedance analysis (BIA): a proposal for standardization of the classical method in adults. First Latin-American Conference on Bioimpedance (CLABIO 2012); 2012 November 6–9; Joinville, Brazil. *Journal of Physics: Conference Series*; 2012. p. 012018.
181. Garlini LM, Alves FD, Ceretta LB, Perry IS, Souza GC, Clausell NO. Phase angle and mortality: a systematic review. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2019;73(4):495-508.
182. Visser M, van Venrooij LMW, Wanders DCM, de Vos R, Wisselink W, van Leeuwen PAM, ve ark. The bioelectrical impedance phase angle as an indicator of undernutrition and adverse clinical outcome in cardiac surgical patients. *Clinical Nutrition*. 2012;31(6):981-6.
183. Rosas-Carrasco O, Ruiz-Valenzuela RE, López-Teros MT. Phase Angle Cut-Off Points and Their Association With Sarcopenia and Frailty in Adults of 50–64 Years Old and Older Adults in Mexico City. *Frontiers in Medicine*. 2021;8:617126.
184. Zhang J, Wang N, Li J, Wang Y, Xiao Y, Sha T. The Diagnostic Accuracy and Cutoff Value of Phase Angle for Screening Sarcopenia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of the American Medical Directors Association*. 2024;25(11):105283.
185. Alves FD, Souza GC, Clausell N, Biolo A. Prognostic role of phase angle in hospitalized patients with acute decompensated heart failure. *Clinical Nutrition*. 2016;35(6):1530-4.
186. Norman K, Wirth R, Neubauer M, Eckardt R, Stobäus N. The Bioimpedance Phase Angle Predicts Low Muscle Strength, Impaired Quality of Life, and Increased

Mortality in Old Patients With Cancer. *Journal of the American Medical Directors Association*. 2015;16(2):173.e17-e22.

187. Roubeau V, Blasco H, Maillot F, Corcia P, Praline J. Nutritional assessment of amyotrophic lateral sclerosis in routine practice: Value of weighing and bioelectrical impedance analysis. *Muscle & Nerve*. 2015;51(4):479-84.

188. Arab A, Karimi E, Vingrys K, Shirani F. Is phase angle a valuable prognostic tool in cancer patients' survival? A systematic review and meta-analysis of available literature. *Clinical Nutrition*. 2021;40(5):3182-90.

189. Oliveira LDA, Ventura JC, Hauschild DB, Moreno YMF. Phase angle as a prognostic indicator in critically ill children: A systematic review. *Nutrition in Clinical Practice*. 2024;39(2):385-95.

190. Fernández-Jiménez R, Martín-Masot R, Cornejo-Pareja I, Vegas-Aguilar IM, Herrador-López M, Tinahones FJ, ve ark. Phase angle as a marker of outcome in hospitalized pediatric patients. A systematic review of the evidence (GRADE) with meta-analysis. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*. 2023;24(4):751-65.

191. Xiong Z-H, Zheng X-M, Zhang G-Y, Wu M-J, Qu Y. The Use of Bioelectrical Impedance Analysis Measures for Predicting Clinical Outcomes in Critically Ill Children. *Frontiers in Nutrition*. 2022;9:847480.

192. Martins PC, Alves Junior CAS, Silva AM, Silva DAS. Phase angle and body composition: A scoping review. *Clinical Nutrition ESPEN*. 2023;56:237-50.

193. Bongiovanni T, Trecroci A, Rossi A, Iaia FM, Pasta G, Campa F. Association between Change in Regional Phase Angle and Jump Performance: A Pilot Study in Serie A Soccer Players. *European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education*. 2021;11(3):860-5.

194. Langer RD, de Fatima Guimarães R, Gonçalves EM, Guerra-Junior G, de Moraes AM. Phase Angle is Determined by Body Composition and Cardiorespiratory Fitness in Adolescents. *International Journal of Sports Medicine*. 2020;41(09):610-5.

195. Yamada M, Kimura Y, Ishiyama D, Nishio N, Otobe Y, Tanaka T, ve ark. Phase Angle is a Useful indicator for Muscle Function in Older Adults. *The journal of nutrition, health & aging*. 2019;23(3):251-5.

196. Silva AM, Matias CN, Santos DA, Rocha PM, Minderico CS, Sardinha LB. Increases in Intracellular Water Explain Strength and Power Improvements over a Season. *International Journal of Sports Medicine*. 2014;35(13):1101-5.

197. Tomeleri CM, Cavalcante EF, Antunes M, Nabuco HCG, de Souza MF, Teixeira DC, ve ark. Phase Angle Is Moderately Associated With Muscle Quality and Functional Capacity, Independent of Age and Body Composition in Older Women. *Journal of Geriatric Physical Therapy*. 2019;42(4):281-6.

198. Lukaski HC, Talluri A. Phase angle as an index of physiological status: validating bioelectrical assessments of hydration and cell mass in health and disease. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*. 2023;24(3):371-9.

199. Cheek DB, Holt AB, Hill DE, Talbert JL. Skeletal Muscle Cell Mass and Growth: The Concept of the Deoxyribonucleic Acid Unit. *Pediatric Research*. 1971;5(7):312-28.

200. Giorgi A, Maurizio V, Luca P, Erica L, Emilio M, Andrea A, ve ark. Bioimpedance patterns and bioelectrical impedance vector analysis (BIVA) of road cyclists. *Journal of Sports Sciences*. 2018;36(22):2608-13.
201. Veitía WC, Campo YD, García IE, Chavez DA, Gutiérrez LRE, Cordova A. Body composition analysis using bioelectrical parameters in the Cuban sporting population. *Archivos de Medicina del Deporte*. 2017;34:207-15.
202. Micheli ML, Gulisano M, Morucci G, Punzi T, Ruggiero M, Ceroti M, ve ark. Angiotensin-Converting Enzyme/Vitamin D Receptor Gene Polymorphisms and Bioelectrical Impedance Analysis in Predicting Athletic Performances of Italian Young Soccer Players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2011;25(8):2084-91.
203. Di Vincenzo O, Maurizio M, and Scalfi L. Bioelectrical impedance phase angle in sport: a systematic review. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2019;16(1):49.
204. López-Gómez JJ, García-Beneitez D, Jiménez-Sahagún R, Izaola-Jauregui O, Primo-Martín D, Ramos-Bachiller B, ve ark. Nutritional Ultrasonography, a Method to Evaluate Muscle Mass and Quality in Morphofunctional Assessment of Disease Related Malnutrition. *Nutrients*. 2023;15(18):3923.
205. Arieta LR, Giuliani-Dewig HK, Gerstner GR, Mota JA, Ryan ED. Segmental bioelectrical impedance spectroscopy: A novel field assessment of muscle size and quality in normal weight and obese older men. *Experimental Gerontology*. 2022;162:111745.
206. Nunes JP, Ribeiro AS, Silva AM, Schoenfeld BJ, dos Santos L, Cunha PM, ve ark. Improvements in Phase Angle Are Related With Muscle Quality Index After Resistance Training in Older Women. *Journal of Aging and Physical Activity*. 2019;27(4):515-20.
207. Martins AD, Fernandes O, Oliveira R, Bilro V, Lopes G, Rego AM, ve ark. Effects of exercise programs on phase angle in older adults: A systematic review and meta-analysis. *Archives of Gerontology and Geriatrics*. 2022;103:104787.
208. Sato H, Nakamura T, Kusuhara T, Kenichi K, Kuniyasu K, Kawashima T, ve ark. Effectiveness of impedance parameters for muscle quality evaluation in healthy men. *The Journal of Physiological Sciences*. 2020;70(1):53.
209. Espirito Santo Silva Dd, Waitzberg DL, Passos de Jesus R, Oliveira LPMd, Torrinhas RS, Belarmino G. Phase angle as a marker for sarcopenia in cirrhosis. *Clinical Nutrition ESPEN*. 2019;32:56-60.
210. Ribeiro AS, Avelar A, dos Santos L, Silva AM, Gobbo LA, Schoenfeld BJ, ve ark. Hypertrophy-type Resistance Training Improves Phase Angle in Young Adult Men and Women. *International Journal of Sports Medicine*. 2017;38(01):35-40.
211. Ballarin G, Valerio G, Alicante P, Di Vincenzo O, Monfrecola F, Scalfi L. Could BIA-derived phase angle predict health-related musculoskeletal fitness? A cross-sectional study in young adults. *Nutrition*. 2024;122:112388.
212. Sacco AM, Valerio G, Alicante P, Di Gregorio A, Spera R, Ballarin G, ve ark. Raw bioelectrical impedance analysis variables (phase angle and impedance ratio) are

significant predictors of hand grip strength in adolescents and young adults. *Nutrition*. 2021;91-92:111445.

213. Hetherington-Rauth M, Baptista F, Sardinha LB. BIA-assessed cellular hydration and muscle performance in youth, adults, and older adults. *Clinical Nutrition*. 2020;39(8):2624-30.

214. Martins PC, de Lima LRA, Berria J, Petroski EL, da Silva AM, Silva DAS. Association between phase angle and isolated and grouped physical fitness indicators in adolescents. *Physiology & Behavior*. 2020;217:112825.

215. Kaminsky LA, American College of Sports Medicine. ACSM's Health-Related Physical Fitness Assessment Manual. Philadelphia,; Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins; 2013. s. 110-140.

216. Fiaccadori E, Morabito S, Cabassi A, Regolisti G. Body cell mass evaluation in critically ill patients: killing two birds with one stone. *Critical Care*. 2014;18(3):139.

217. Nabuco HCG, Silva AM, Sardinha LB, Rodrigues FB, Tomeleri CM, Ravagnani FCP, ve ark. Phase Angle is Moderately Associated with Short-term Maximal Intensity Efforts in Soccer Players. *International Journal of Sports Medicine*. 2019;40(11):739-43.

218. Martins PC, Teixeira AS, Guglielmo LGA, Francisco JS, Silva DAS, Nakamura FY, ve ark. Phase Angle Is Related to 10 m and 30 m Sprint Time and Repeated-Sprint Ability in Young Male Soccer Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(9):4405.

219. Ferreira GOC, Ferrari G, Langer RD, Cossio-Bolaños M, Gomez-Campos R, Lázari E, ve ark. Phase angle and its determinants among adolescents: influence of body composition and physical fitness level. *Scientific Reports*. 2024;14(1):13697.

220. Oliveira R, Leão C, Silva AF, Clemente FM, Santamarinha CT, Nobari H, ve ark. Comparisons between Bioelectrical Impedance Variables, Functional Tests and Blood Markers Based on BMI in Older Women and Their Association with Phase Angle. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(11):6851.

221. Fukuoka AH, de Oliveira NM, Matias CN, Teixeira FJ, Monteiro CP, Valamatos MJ, ve ark. Association between Phase Angle from Bioelectric Impedance and Muscular Strength and Power in Physically Active Adults. *Biology*. 2022;11(9):1255.

222. Hetherington-Rauth M, Leu CG, Júdice PB, Correia IR, Magalhães JP, Sardinha LB. Whole body and regional phase angle as indicators of muscular performance in athletes. *European Journal of Sport Science*. 2021;21(12):1684-92.

223. Ayala-Guzmán CI, Ortiz-Hernandez L, Escudero Malpica C, Macias Rosas A, Castro Avila JI. Phase Angle and Body Composition as Predictors of Fitness and Athletic Performance in Adolescent Boxers. *Pediatric Exercise Science*. 2024;36(4):201-10.

224. Campa F, Thomas DM, Watts K, Clark N, Baller D, Morin T, ve ark. Reference Percentiles for Bioelectrical Phase Angle in Athletes. *Biology*. 2022;11(2):264.

225. Centers for Disease Control and Prevention. National Health and Nutrition Examination Survey III: Body Measurements (Anthropometry) Manual. Rockville, MD: Westat, Inc; 1988. s. 3-7.
226. Weir CB, Jan A. BMI Classification Percentile And Cut Off Points. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025.
227. Mirwald RL, Baxter-Jones AD, Bailey DA, Beunen GP. An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine & science in sports & exercise*. 2002;34(4):689-94.
228. Malina RM, Coelho-e-Silva MJ, Martinho DV, Sousa-e-Siva P, Figueiredo AJ, Cumming SP, ve ark. Observed and predicted ages at peak height velocity in soccer players. *PloS One*. 2021;16(7):e0254659.
229. Chumlea WC, Baumgartner R, Roche AF. Specific resistivity used to estimate fat-free mass from segmental body measures of bioelectric impedance. *The American journal of clinical nutrition*. 1988;48(1):7-15.
230. Baumgartner RN, Chumlea WC, Roche AF. Bioelectric impedance phase angle and body composition. *The American journal of clinical nutrition*. 1988;48(1):16-23.
231. Marini E, Campa F, Buffa R, Stagi S, Matias CN, Toselli S, ve ark. Phase angle and bioelectrical impedance vector analysis in the evaluation of body composition in athletes. *Clinical Nutrition*. 2020;39(2):447-54.
232. Köse M, Kulaksızoğlu T, Esatbeyoğlu F, Kin İşler A, Hazır T. Menstrual Döngü ve Sirkadiyen Ritme Göre Akut Yüksek Şiddette Egzersizin Biyoelektrik Empedans Analizinden Ölçülen Faz Açısı Üzerindeki Etkisi: Pilot Çalışma. *Spor Bilimleri Dergisi*. 2024;34(4):185-196.
233. Armstrong LE. Hydration assessment techniques. *Nutrition reviews*. 2005;63(6 Pt 2):S40-S54.
234. Nagano M, Suita S, Yamanouchi T. The validity of bioelectrical impedance phase angle for nutritional assessment in children. *Journal of pediatric surgery*. 2000;35(7):1035-9.
235. Day JR, Rossiter HB, Coats EM, Skasick A, Whipp BJ. The maximally attainable VO₂ during exercise in humans: the peak vs. maximum issue. *Journal of Applied Physiology* (1985). 2003;95(5):1901-7.
236. Borg G. Borg's perceived exertion and pain scales. Champaign, Illinois, United States: Human kinetics; 1998.
237. Calbet J, Chavarren J, Dorado C. Fractional use of anaerobic capacity during a 30-and a 45-s Wingate test. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1997;76:308-13.
238. Menz V, Marterer N, Amin SB, Faulhaber M, Hansen AB, Lawley JS. Functional vs. Running low-volume high-intensity interval training: Effects on vo₂max and muscular endurance. *Journal of sports science & medicine*. 2019;18(3):497.

239. Gouloupoulou S, Heffernan KS, Fernhall B, Yates G, Baxter-Jones ADG, Unnithan VB. Heart Rate Variability during Recovery from a Wingate Test in Adolescent Males. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2006;38(5):875-81.
240. Bongers BC, Werkman MS, Blokland D, Eijssermans MJ, Van Der Torre P, Bartels B, ve ark. Validity of the pediatric running-based anaerobic sprint test to determine anaerobic performance in healthy children. *Pediatric exercise science*. 2015;27(2):268-76.
241. Chia M, Armstrong N, Childs D. The assessment of children's anaerobic performance using modifications of the Wingate anaerobic test. *Pediatric Exercise Science*. 1997;9(1):80-9.
242. Williams CA. Children's and adolescents' anaerobic performance during cycle ergometry. *Sports Medicine*. 1997;24:227-40.
243. Or B. *Pediatric sports medicine for the practitioner*. New York, Berlin, Heidelberg: Springer; 1983.
244. Schober P, Boer C, Schwarte LA. Correlation coefficients: appropriate use and interpretation. *Anesthesia & analgesia*. 2018;126(5):1763-8.
245. Mundstock E, Amaral MA, Baptista RR, Sarria EE, dos Santos RRG, Filho AD, ve ark. Association between phase angle from bioelectrical impedance analysis and level of physical activity: Systematic review and meta-analysis. *Clinical Nutrition*. 2019;38(4):1504-10.
246. Lukaski HC, Kyle UG, Kondrup J. Assessment of adult malnutrition and prognosis with bioelectrical impedance analysis: phase angle and impedance ratio. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*. 2017;20(5):330-9.
247. Norman K, Stobäus N, Pirlich M, Bosy-Westphal A. Bioelectrical phase angle and impedance vector analysis – Clinical relevance and applicability of impedance parameters. *Clinical Nutrition*. 2012;31(6):854-61.
248. de Blasio F, Santaniello MG, de Blasio F, Mazzearella G, Bianco A, Lionetti L, ve ark. Raw BIA variables are predictors of muscle strength in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2017;71(11):1336-40.
249. Bosy-Westphal A, Danielzik S, Dörhöfer R-P, Piccoli A, Müller MJ. Patterns of bioelectrical impedance vector distribution by body mass index and age: implications for body-composition analysis. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2005;82(1):60-8.
250. Gonzalez MC, Barbosa-Silva TG, Bielemann RM, Gallagher D, Heymsfield SB. Phase angle and its determinants in healthy subjects: influence of body composition. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2016;103(3):712-6.
251. Doğrusoy M. 20-65 yaş arası kadınların biyoelektrik impedans yöntemiyle faz açısı ölçümlerinin ve besin tüketimlerinin değerlendirilmesi. [Yüksek Lisans Tezi]: İstanbul: Haliç Üniversitesi; 2018.
252. Kin İşler A, Hazır T, Köse MG, Kulaksızoğlu TN, Esatbeyoğlu F. Menstrual Döngü ve Sirkadiyen Ritme Göre Akut Yüksek Şiddette Egzersizin Biyoelektrik

Empedans Analizinden Ölçülen Faz Açısı Üzerine Etkisi: Pilot Çalışma. *Spor Bilimleri Dergisi*. 2024;34(4):185-96.

253. De Palo T, Messina G, Edefonti A, Perfumo F, Pisanello L, Peruzzi L, ve ark. Normal values of the bioelectrical impedance vector in childhood and puberty. *Nutrition*. 2000;16(6):417-24.

254. Martirosov EG, Khomyakova IA, Pushkin SV, Romanova TF, Semenov MM, Rudnev SG. Bioelectric Impedance Phase Angle and Body Composition in Russian Children Aged 10–16 Years: Reference Values and Correlations. In: Scharfetter H, Merwa R, editors. 13th International Conference on Electrical Bioimpedance and the 8th Conference on Electrical Impedance Tomography; 2007 August 29 – September 2; Graz, Austria. Springer Berlin Heidelberg: IFMBE Proceedings; 2007. p. 807-810.

255. Mathias-Genovez MG, Oliveira CC, Camelo Jr JS, Del Ciampo LA, Monteiro JP. Bioelectrical Impedance of Vectorial Analysis and Phase Angle in Adolescents. *Journal of the American College of Nutrition*. 2016;35(3):262-70.

256. Rosa GB, Francisco R, Silva AM, Lukaski HC, Bernardino AV, Sardinha LB. Raw bioelectrical impedance parameters as informative markers of body composition in youth. *Clinical Nutrition*. 2025;51:266-77.

257. Meleleo D, Bartolomeo N, Cassano L, Nitti A, Susca G, Mastrototaro G, ve ark. Evaluation of body composition with bioimpedence. A comparison between athletic and non-athletic children. *European Journal of Sport Science*. 2017;17(6):710-9.

258. Campa F, Matias CN, Nikolaidis PT, Lukaski H, Talluri J, Toselli S. Prediction of Somatotype from Bioimpedance Analysis in Elite Youth Soccer Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(21):8176.

259. Kordi M, Fallahi A, Sangari M. Health-related physical fitness and normative data in healthy women, tehran, iran. *Iranian Journal of Public Health*. 2010;39(4):87-101.

260. Gürsel Y, Sonel B, Gök H, Yalçın P. The peak oxygen uptake of healthy Turkish children with reference to age and sex: a pilot study. *The Turkish Journal of Pediatrics*. 2004;46(1):38-43.

261. Gavotto A, Mura T, Rhodes J, Yin SM, Hager A, Hock J, ve ark. Reference values of aerobic fitness in the contemporary paediatric population. *European Journal of Preventive Cardiology*. 2023;30(9):820-9.

262. Myers J, Kaminsky LA, Lima R, Christle JW, Ashley E, Arena R. A Reference Equation for Normal Standards for VO2 Max: Analysis from the Fitness Registry and the Importance of Exercise National Database (FRIEND Registry). *Progress in Cardiovascular Diseases*. 2017;60(1):21-9.

263. van der Steeg GE, Takken T. Reference values for maximum oxygen uptake relative to body mass in Dutch/Flemish subjects aged 6–65 years: the LowLands Fitness Registry. *European Journal of Applied Physiology*. 2021;121(4):1189-96.

264. Buttar KK, Kacker S, Saboo N. Normative Data of Maximal Oxygen Consumption (VO₂ Max) among Healthy Young Adults: A Cross-sectional Study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. 2022;16(7):CC31-CC34.
265. Duquette AM, Adam NA. Determining cardiovascular fitness normative reference values in a university aged Canadian population using maximal exercise testing. *Biomedical Human Kinetics*. 2024;16(1):106-12.
266. Ingle L, Rigby A, Brodie D, Sandercock G. Normative reference values for estimated cardiorespiratory fitness in apparently healthy British men and women. *PosS One*. 2020;15(10):e0240099.
267. Johansson L, Brissman M, Morinder G, Westerståhl M, Marcus C. Reference values and secular trends for cardiorespiratory fitness in children and adolescents with obesity. *Acta Paediatrica*. 2020;109(8):1665-71.
268. Huldani AH, Asnawati DS, Afif Eko Wibowo GMP, Putra AP. VO₂ max value of adolescent basketball players and the difference in the lymphocytes and eosinophil count between basket trained and not. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*. 2021;8(01):1517+.
269. Duquette AM, Morassutti ON, Gyemi LA, van Wyk PM. Wingate normative-reference values for a large cohort of Canadian university students. *Biomedical Human Kinetics*. 2024;16(1):78-88.
270. Nikolaidis PT, Matos B, Clemente FM, Bezerra P, Camões M, Rosemann T, et al. Normative Data of the Wingate Anaerobic Test in 1 Year Age Groups of Male Soccer Players. *Frontiers in Physiology*. 2018;15(9):1619.
271. Ramírez-Vélez R, López-Albán CA, La Rotta-Villamizar DR, Romero-García JA, Alonso-Martinez AM, Izquierdo M. Wingate anaerobic test percentile norms in colombian healthy adults. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2016;30(1):217-25.
272. Razali NM, Wah YB. Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests. *Journal of statistical modeling and analytics*. 2011;2(1):21-33.
273. Vella CA, Ontiveros D, Zubia RY. Cardiac function and arteriovenous oxygen difference during exercise in obese adults. *European Journal of Applied Physiology*. 2011;111(6):915-23.
274. De Cort SC, Innes JA, Barstow TJ, Guz A. Cardiac output, oxygen consumption and arteriovenous oxygen difference following a sudden rise in exercise level in humans. *The Journal of Physiology*. 1991;441(1):501-12.
275. Hanjabam B, Kailashiya J. Gender Difference in Fatigue Index and its Related Physiology. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology*. 2015;59(2):170-4.
276. Akilan N, Chittibabu B. Evaluation of anaerobic capacity and fatigue index at different times of the day on male handball players. *International Journal of Physical Education, Fitness and Sports*. 2013;2(4):42-5.
277. Keir DA, Thériault F, Serresse O. Evaluation of the Running-Based Anaerobic Sprint Test as a Measure of Repeated Sprint Ability in Collegiate-Level Soccer Players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2013;27(6):1671-8.

278. Oliver JL. Is a fatigue index a worthwhile measure of repeated sprint ability? *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2009;12(1):20-3.
279. Moore FD, Boyden CM. Body cell mass and limits of hydration of the fat-free body: their relation to estimated skeletal weight. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1963;110(1):62-71.
280. Francisco R, Matias CN, Santos DA, Campa F, Minderico CS, Rocha P, et al. The Predictive Role of Raw Bioelectrical Impedance Parameters in Water Compartments and Fluid Distribution Assessed by Dilution Techniques in Athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(3):759.
281. Parrino RL, Strand KL, San Ly A, Barry SS, Liscano JA, Trebotich L, et al. Prediction of Upper-Body Power During the Seated Medicine Ball Throw in Older Women. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2023;37(8):1679-86.
282. Strand KL, Ly AS, Barry SS, Liscano JA, Trebotich TL, Martin-Diala C, et al. Validity and Reliability of the Seated Medicine Ball Throw as a Measure of Upper Body Power in Older Women. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2023;37(4):902-8.
283. Beckham GK, Martin E, Layne DK, Luke R, Mayhew JL. Assessing full body impulsive ability using a range of medicine ball loads for the backward overhead medicine ball throw. *Sports Biomechanics*. 2023;22(10):1278-89.
284. Hall M, Trojian TH. Creatine Supplementation. *Current Sports Medicine Reports*. 2013;12(4):240-4.
285. Jensen J, Rustad PI, Kolnes AJ, Lai Y-C. The Role of Skeletal Muscle Glycogen Breakdown for Regulation of Insulin Sensitivity by Exercise. *Frontiers in Physiology*. 2011;30(2):112.
286. Nader GA. Molecular determinants of skeletal muscle mass: getting the “AKT” together. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*. 2005;37(10):1985-96.
287. Proctor DN, O'Brien PC, Atkinson EJ, Nair KS. Comparison of techniques to estimate total body skeletal muscle mass in people of different age groups. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. 1999;277(3):E489-E95.

8. EKLER

EK-1: Tez Çalışması İle İlgili Etik Kurul İzni



KURUL KARARI

OTURUM TARİHİ	OTURUM SAYISI	KARAR SAYISI
19.03.2024	2024/06	2024/06-37
Araştırma Numarası : SBA 24/225		Değerlendirme Tarihi : 06.02.2024

Üniversitemiz Spor Bilimleri Fakültesi Hareket ve Antrenman Anabilim Dalı öğretim üyelerinden Prof. Dr. Tahir HAZİR'in sorumlu araştırmacı olduğu, Arş. Gör. Yunus Emre Ekinci ile birlikte çalışacakları ve Olgun Can ALTUNKAN'ın yüksek lisans tezi olan, SBA 24/225 kayıt numaralı **"Sporcu Çocuklarda Faz Açısı ile Aerobik ve Anaerobik Güç Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi"** başlıklı araştırma önerisi gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş olup, 20 Mart 2024 – 31 Aralık 2024 tarihleri arasında geçerli olmak üzere etik açıdan **uygun bulunmuştur**.

Çalışma tamamlandığında sonuçlarını içeren bir rapor örneğinin Etik Kurulumuza gönderilmesi gerekmektedir.

Prof. Dr. Nüket
PAKSOY ERBAYDAR
Kurul Başkanı

Prof. Dr. Güzide Burça
AYDIN
Kurul Üyesi

Prof. Dr. Mehmet Özgür
UYANIK
Kurul Üyesi

Prof. Dr. Ayşe KİN
İŞLER
Kurul Üyesi

Prof. Dr. Burcu Balam
DOĞU
Kurul Üyesi

Prof. Dr. Tolga
YILDIRIM
Kurul Üyesi

Prof. Dr. İpek GÜRBÜZ
Kurul Üyesi

Prof. Dr. Betül ÇELEBİ
SALTİK
Kurul Üyesi

Doç. Dr. Merve BATUK
Kurul Üyesi

Doç. Dr. Gülten IŞIK
KOÇ
Kurul Üyesi

Doç. Dr. İbrahim Halil
ÖNCEL
Kurul Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Melike
Hacer ÖZKAN
Kurul Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Müge
DEMİR
Kurul Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Burcu
Ersöz ALAN
Kurul Üyesi

İZİN Lİ
Dr. Öğr. Üyesi Güneş
GÜNER
Kurul Üyesi

EK-2: Çocuk için Aydınlatılmış Onam Formu

AYDINLATILMIŞ ONAM FORMU ÇOCUK RIZA FORMU

Sevgili Kardeşim,

Benim adım Prof. Dr. Tahir HAZIR. Yardımcı araştırmacılarım doktora öğrencisi Arş. Gör. Yunus Emre EKİNCİ ve tezli yüksek lisans öğrencisi Olgun Can ALTUNKAN ile yüzme sporuyla uğraşan çocuklar üzerinde bir araştırma yapıyoruz. Amacımız bu sporla uğraşanlarda kas hücresi ve dokusunun kalitesinin bir göstergesi olan faz açısı denilen bir özellik ile hareket etmek için enerji sağladığımız farklı özelliklerimiz arasındaki ilişkiyi öğrenmektir. Araştırma ile yeni bilgiler öğreneceğiz. Bu araştırmaya katılmanı öneriyoruz.

Araştırmayı ben ve yukarıda adını bildirdiğim diğer araştırmacılar ile birlikte yapıyoruz. Bu araştırmaya katılacak olursan senden kan almayacağız sana zarar verecek herhangi bir uygulama olmayacak. Bunun dışında boyunu, vücut ağırlığını ve oturma boyunu ölçeceğiz ve faz açını öğrenmek için eline ve ayağına elektrot adı verilen küçük plastik parçalar yapıştıracacağız. Vücuduna 1 volttan daha az elektrik vereceğiz (kalem pil 1.5 voltur). Ek olarak, 2 tane egzersiz testine girmeni isteyeceğiz. İki de bisiklet pedalı çevireceğin testler olacak. Bunlardan biri 8-10 dakika içinde bitecek. Diğer test 30 saniye sürecek. Test yapılırken yorulacaksın ama arkadaşlarınla oyun oynarken, koşu yarışı yaparken ya da bisiklet sürerken yorulduğun zamanla aynı şey olacak. Ayrıca 8-10 dakika sürecek testte bir maske takman gerekecek ama bu maske yumuşak olacak ve canını yakmayacak. Bu maske sayesinde kullandığın oksijen miktarını ölçeceğiz.

Bu araştırmanın sonuçları senin gibi spor yapan çocuklar için yararlı bilgiler sağlayacaktır. Bu araştırmanın sonuçlarını başka kişilere de söyleyeceğiz ve sonuçları bildireceğiz ama senin adını söylemeyeceğiz.

Bu araştırmaya katılıp katılmamak için karar vermeden önce anne ve baban ile konuşup onlara danışmalısın. Onlara da bu araştırmadan bahsedip onaylarını/izinlerini alacağız. Anne ve baban tamam deseler bile sen kabul etmeyebilirsin. Bu araştırmaya katılmak senin isteğine bağlı ve istemezsen katılmazsın. Bu nedenle hiç kimse sana kızmaz ya da küsmez. Önce katılmayı kabul etsen bile sonradan vazgeçebilirsin, bu

tamamen sana bağılı. Kabul etmediğin durumda da buradaki herkes sana önceden olduğu gibi iyi davranır, önceye göre farklılık olmaz.

Bu araştırma sırasında boy uzunluğu, vücut ağırlığı, oturma boyu ve faz açısı denilen ölçümler herhangi bir risk içermemektedir.

Bisiklet testlerinden sonra bir yorgunluk hissedeceksin ancak bu geçicidir.

Aklına şimdi gelen veya daha sonra gelecek olan soruları istediğin zaman bana sorabilirsin. Telefon numaram ve adresim bu kağıtta yazıyor. Bu araştırmaya katılmayı kabul ediyorsan aşağıya lütfen adını ve soyadını yaz ve imzanı at. İmzaladıktan sonra sana ve ailine bu formun bir kopyası verilecektir.

KATILIMCI				
Adı Soyadı	Doğum Tarihi	Adres	GSM	İmza
	../../...		05 ..	

VELİ/VASI				
Adı Soyadı	Doğum Tarihi	Adres	GSM	İmza
	../../...		05 ..	

Gerekliyorsa TANIK				
Adı Soyadı	Doğum Tarihi	Adres	GSM	İmza
	../../...		05 ..	

SORUMLU ARAŞTIRMACI			
Adı Soyadı	Adres	GSM	İmza
Tahir Hazır	Hacettepe Üniversitesi, Beytepe Kampüsü, Spor Bilimleri Fakültesi	+90 312 297 68 90	

EK-3: Anne, Baba veya Yasal Vasi İçin Aydınlatılmış Onam Formu

AYDINLATILMIŞ ONAM FORMU

ANNE VE BABA VEYA YASAL VASİ (KANUNİ TEMSİLCİ) İÇİN

Araştırmacının Açıklaması

Sayın ebeveyn, benim adım Prof. Dr. Tahir HAZIR. Yardımcı araştırmacılarım doktora öğrencisi Arş. Gör. Yunus Emre EKİNCİ ve tezli yüksek lisans öğrencisi Olgun Can ALTUNKAN ile kas hücre ve dokusunun kalitesinin bir göstergesi olan faz açısı ve aerobik ve anaerobik güç ilişkisi ile ilgili yeni bir araştırma yapmaktayız. Araştırmanın ismi “Sporcu Çocuklarda Faz Açısı ile Aerobik ve Anaerobik Güç Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi”dir.

Çocuğunuzun da bu araştırmaya katılmanızı öneriyoruz. Ancak hemen söyleyelim ki çocuğunuzun bu araştırmaya katılıp katılmamasına izin vermekte serbestsiniz. Çalışmaya katılım gönüllülük esasına dayalıdır. Kararınızdan önce araştırma hakkında sizi bilgilendirmek istiyoruz. Bu bilgileri okuyup anladıktan sonra çocuğunuzun araştırmaya katılmasını isterseniz formu imzalayınız.

Bu araştırmayı yapmak istememizin nedeni, yıllardır bazı hastalık ve sağlık sorunlarını değerlendirme ve tespit etmede kullanılan ulaşılması basit, güvenilir ve ucuz bir yöntemin sporsal performans parametreleri arasındaki ilişkiyi araştırmaktır. Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Hareket ve Antrenman Bilimleri Anabilim Dalı’nda gerçekleştirilecek bu çalışmaya katılımınız araştırmanın başarısı için önemlidir.

Eğer araştırmaya katılmayı kabul ederseniz araştırma ekibi tarafından çocuğunuzdan bazı ölçümler alınacak, fiziksel testlere katılım sağlayacak ve bulgular kaydedilecektir. İzin vermeniz halinde yapılacak ölçümler çocuğunuzun boyunu, kilosunu, oturma boyu uzunluğunu ve faz açısı olarak nitelendirilen bir özelliği içermektedir. Faz açısı ölçümü için çocuğunuzun el ve ayakta bölgesine elektrot olarak bilinen ağrısız ve zararsız ölçüm cihazları 1 dakika boyunca yapıştırılacaktır. Bu sayede çok düşük bir elektrik akımının vücutta karşılaştığı direnç ölçülerek hücrelerin bütünlüğü ve sağlığı değerlendirilebilmektedir. Yine izniniz doğrultusunda bu çalışmayı yapabilmek için çocuğunuzun bazı performans testlerine katılması

gerekmektedir. Bu testlerden biri aerobik ve diğeri anaerobik gücü ölçmekte kullanılan yöntemlerdir. Aerobik gücü değerlendirmek için çocuğunuzun 8-10 dakika sabit bir bisiklette kademeli artan bir egzersiz testine katılması gerekmektedir. Bu test sırasında yüz bölgesinde aldığı ve verdiği havanın içeriğindeki karbondioksit ve oksijen miktarlarını ölçmekte kullandığımız bir maske olacaktır. Anaerobik gücün değerlendirmesi için farklı bir günde vücut ağırlığının % 7'sine karşılık gelen bir yüke karşı 30 saniye boyunca bisiklet pedalını en yüksek hızda çevirmesi gerekeceği bir test uygulanacaktır. Bu test sırasında pedala yansıttığı kuvvetleri araştırma kapsamında değerlendireceğiz. Bulgular doğrultusunda faz açısı ile aerobik ve anaerobik güç arasındaki ilişkinin doğası anlaşılabilir. Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Hareket ve Antrenman Bilimleri Anabilim Dalı'nın katılımı ile gerçekleştirilecek bu çalışmaya katılımınız araştırmanın başarısı için önemlidir.

Bu çalışmanın hiçbir safhasında çocuğunuzdan kan alınması/enjeksiyon yapılması gibi girişimsel işlemler uygulanmayacaktır.

Çocuğunuzun bu çalışmaya katılması için sizden herhangi bir ücret istenmeyecektir. Çalışmaya katıldığınız için size ek bir ödeme de yapılmayacaktır.

Çocuğunuz ile ilgili tıbbi bilgiler gizli tutulacak, ancak çalışmanın kalitesini denetleyen görevliler, etik kurullar ya da resmi makamlarca gereği halinde incelenebilecektir.

Çocuğunuzun bu çalışmaya katılmasını reddedebilirsiniz. Bu araştırmaya katılmak tamamen isteğe bağlıdır ve reddettiğiniz takdirde çocuğunuza uygulanan tedavide herhangi bir değişiklik olmayacaktır. Yine çalışmanın herhangi bir aşamasında onayınızı çekmek hakkına da sahipsiniz.

Çocuğunuza bu araştırma hakkında anlayacağı şekilde bilgilendirme yapılacak ve araştırmaya katılımı için rızası alınacaktır.

Katılımcının Beyanı

Sayın Prof. Dr. Tahir HAZIR tarafından Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Hareket ve Antrenman Anabilim Dalında bir araştırma yapılacağı belirtilerek bu araştırma ile ilgili yukarıdaki bilgiler bana aktarıldı. Bu bilgilerden sonra böyle bir araştırmaya “çocuğum katılımcı” olarak davet edildi.

Eğer bu araştırmaya katılırsa araştırma ekibi ile aramızda kalması gereken çocuğuma ait bilgilerin gizliliğine bu araştırma sırasında da büyük özen ve saygı ile

yaklaşılacağına inanıyorum. Araştırma sonuçlarının eğitim ve bilimsel amaçlarla kullanımı sırasında çocuğumun kişisel bilgilerinin ihtimamla korunacağı konusunda bana yeterli güven verildi.

Projenin yürütülmesi sırasında herhangi bir sebep göstermeden çocuğum araştırmadan çekilebilir. Ayrıca tıbbi durumuna herhangi bir zarar verilmemesi koşuluyla araştırmacı tarafından çocuğum araştırma dışı tutulabilir.

Araştırma için yapılacak harcamalarla ilgili herhangi bir parasal sorumluluk altına girmiyorum. Bana da bir ödeme yapılmayacaktır.

Araştırma sırasında bir sağlık sorunu ile karşılaştığımızda; herhangi bir saatte, sorumlu araştırmacı Prof. Dr. Tahir Hazır'ı +90 312 297 68 90 (iş) veya 0536 773 15 02 (cep) no'lu telefonlardan ve Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Hareket ve Antrenman Bilimleri Anabilim Dalı adresinden arayabileceğimi biliyorum.

Çocuğum bu araştırmaya katılmak zorunda değil ve katılmayabilir. Araştırmaya katılması konusunda zorlayıcı bir davranışla karşılaşmış değilim. Eğer katılmayı reddederse, bu durumun tıbbi bakımına ve hekimi ile olan ilişkisine herhangi bir zarar getirmeyeceğini de biliyorum.

Bana yapılan tüm açıklamaları ayrıntılarıyla anlamış bulunmaktayım. Kendi başıma belli bir düşünme süresi sonunda adı geçen bu araştırma projesinde “çocuğumun katılımcı” olarak yer alması kararını aldım. Bu konuda yapılan daveti gönüllülük içerisinde kabul ediyorum.

İmzalı bu form kağıdının bir kopyası bana verilecektir.

KATILIMCI				
Adı Soyadı	Doğum Tarihi	Adres	GSM	İmza
	../../...		05 ..	

VELİ/VASI				
Adı Soyadı	Doğum Tarihi	Adres	GSM	İmza
	../../...		05 ..	

TANIK (Gerekliyorsa)				
Adı Soyadı	Doğum Tarihi	Adres	GSM	İmza
	../../..		05 ..	

SORUMLU ARAŞTIRMACI			
Adı Soyadı	Adres	GSM	İmza
Tahir Hazır	Hacettepe Üniversitesi, Beytepe Kampüsü, Spor Bilimleri Fakültesi	0536 7731502	

Görüşme Tarihi ve Saati: : .. / .. / 2024 .. : ..

EK-4: Turnitin Ekran Görüntüsü

Aktif çocuklarda faz açısı ile aerobik ve anaerobik güç arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi

Yazar Olgun Can Altunkan

Gönderim Tarihi: 15-Kas-2025 04:19ÖS (UTC+0300)

Gönderim Numarası: 2815673720

Dosya adı: erobik_ve_anaerobik_g_arasindaki_ili_kinin_de_erlendirilmesi.pdf (603,08K)

Keşime sayısı: 23400

Karakter sayısı: 152077

Aktif çocuklarda faz açısı ile aerobik ve anaerobik güç arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi

ORJİNALLİK RAPORU

%5	%4	%3	%1
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	%1
2	openaccess.hacettepe.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
3	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	<%1
4	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	<%1
5	openaccess.hacettepe.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	<%1
6	Özen, Gökmen. "Elit dağ bisikletçilerin fiziksel fizyolojik özelliklerinin ve ızokinetik kuvvet düzeylerinin performans parametrelerine etkisinin İncelenmesi", Ankara Üniversitesi (Turkey), 2024 Yayın	<%1
7	acikerisim.pau.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	<%1
8	e-dergi.atauni.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
9	www.judo.gov.tr İnternet Kaynağı	<%1
10	philarchive.org İnternet Kaynağı	<%1

11	toad.halileksi.net İnternet Kaynağı	<% 1
12	Submitted to Anadolu University Öğrenci Ödevi	<% 1
13	Aygun, Cihan. "Aktif Video Oyunlarının Oksijen Tüketimine Ve Enerji Tüketimine Etkisinin Cinsiyetler Arası Karşılaştırılarak İncelenmesi.", Anadolu University (Turkey), 2021 Yayın	<% 1
14	Çakır, Selim. "Oryantiring sporcularının beyin aktivasyonları, kognitif ve fiziksel performansları arasındaki ilişkinin incelenmesi.", Marmara Üniversitesi (Turkey), 2021 Yayın	<% 1
15	"Poster Özetleri / Poster Abstracts", Turkish Journal of Biochemistry, 2015 Yayın	<% 1
16	Submitted to Ege Üniversitesi Öğrenci Ödevi	<% 1
17	Gül, Sefa. "Romatoid artrit, ankilozan spondilit, non radyografik aksiyel spondilartroz ve sağlıklı erişkinler'de arteriyel sertlik, epikardiyal yağ doku kalınlığı, biyoelektriksel empedans ve hastalık aktivite indekslerinin değerlendirilmesi", Dokuz Eylül Üniversitesi (Turkey), 2024 Yayın	<% 1
18	Baser, Gulfidan. "Huzurevinde çalışan bakım Personelinin yaşlılara karşı Tutum Ve ayrımcılık düzeyleri ile ilişkili faktörlerin	<% 1

Belirlenmesi", Necmettin Erbakan University (Turkey), 2021

Yayın

- 19** Recepoğlu, Süreyya Nilay. "Örgütsel çatışma ve yönetiminin iş performansına etkisi: Ankara ili konaklama işletmeleri örneği", Bartın University (Turkey), 2024

Yayın

- 20** Yaşar, Mizgin. "ÜNiversitede çalışan Akademik Personelin Rekreatif Egzersize İlişkin Sağlık inancı", Necmettin Erbakan University (Turkey), 2023

Yayın

- 21** Submitted to Eastern Mediterranean University
Öğrenci Ödevi

- 22** Submitted to Istanbul Medipol Üniversitesi
Öğrenci Ödevi

- 23** Kizilet, Tuba | Yorulmazlar, Mehmet M.. "Genc Bayan Futbolcularda Koordinasyon Ve Plometrik calismalarin kosu Ekonomisi Ve diger Biomotor ozellikler uzerine Etkisi", Marmara Universitesi (Turkey), 2021

Yayın

- 24** Müftüler, Mine. "Use of Trans-Contextual Model Based Intervention in Developing Leisure-Time Physical Activity Behavior.", Middle East Technical University (Turkey), 2024

Yayın

- 25** Sert, Volkan. "Genç Tenis Oyuncularında Bacak Gücü Ve Katılığı: Sürat Ve Çeviklik Performansı İle İlişkisi", Sakarya Üniversitesi (Turkey), 2022

26	Gungor, Elvin Onarici. "Anaerobik Esik Altı ve ustu Bisiklet Egzersizinde Oksijen Alım Kinetiginin Degerlendirilmesi", Anadolu University (Turkey)	<% 1
Yayın		
27	Submitted to Istanbul Aydin University Öğrenci Ödevi	<% 1
28	docplayer.biz.tr İnternet Kaynağı	<% 1
29	www.iet-c.net İnternet Kaynağı	<% 1
30	ALEMDAROĞLU, Utku, ARSLAN, Erşan, KARAKOÇ, Barış and KÖKLÜ, Yusuf. "Farklı seviyedeki liglerde oynayan takımların altyapısında mücadele eden genç futbolcularda supramaksimal bacak eksersiziz yanıtlarının karşılaştırılması", Ankara Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu, 2008.	<% 1
Yayın		
31	Kasalar, İlknur. "Abdominal Cerrahi Uygulanan Hastalarda Mobilizasyon Durumunun Ameliyat Sonrası Gastrointestinal Semptom ve Ağrı ile İlişkisinin İncelenmesi", Dokuz Eylül Üniversitesi (Turkey), 2024	<% 1
Yayın		
32	Köklü, Yusuf. "Genç futbolcularda farklı gruplama yöntemlerinin 4x4 küçük alan oyunu performansı üzerine etkisi", Ankara Üniversitesi (Turkey), 2024	<% 1
Yayın		

- | | | |
|----|--|-----|
| 33 | Manci, Egemen. "Farklı Pozisyonlarda Oynayan Elit ve Elit Olmayan Basketbolcuların, Bilişsel Becerilerinin ve Frontal Bölge Hemodinami Değişimlerinin Değerlendirilmesi", Dokuz Eylül Üniversitesi (Turkey), 2024
Yayın | <%1 |
| 34 | Savran, Bilgin. "Covid-19 Pandemi Sürecinde Ameliyat Olan Hastalarda Basınç Yarası İnsidansının ve Seçilmiş Risk Faktörlerinin İncelenmesi: Prospektif bir çalışma", Dokuz Eylül Üniversitesi (Turkey), 2024
Yayın | <%1 |
| 35 | Tetik, Zarfı Ezgi Demiral. "Okul öncesi dönem çocuklarının bakış açısı Alma Becerileri ile Duygu düzenleme Becerileri arasındaki ilişkinin İncelenmesi", Anadolu University (Turkey), 2023
Yayın | <%1 |
| 36 | bmcneuro.biomedcentral.com
İnternet Kaynağı | <%1 |
| 37 | dspace.baskent.edu.tr:8080
İnternet Kaynağı | <%1 |
| 38 | www.atuder.org.tr
İnternet Kaynağı | <%1 |
| 39 | www.sosyoekonomijournal.org
İnternet Kaynağı | <%1 |
| 40 | Özdemir, Şevket. "Kapsamlı Afazi Testi (CAT-TR) Dil Bataryasının Geçerlik ve Güvenirlik Çalışması", Anadolu University (Turkey), 2022
Yayın | <%1 |
| 41 | Bardak, Musa. ""Çocuk Oyun Tercih Ölçeği"nin Geliştirilmesi, Ebeveyn ve Çocuk | <%1 |

Oyun Tercihlerinin Çocuğun Psikolojik Dayanıklılık ve İyi Oluşlarına Etkisi", Marmara Üniversitesi (Turkey), 2023

Yayın

42	Berkay Ozerklig, Ibrahim Turkel, Merve Yilmaz, Refika Dilara Vaizoglu et al. "Exercise-induced extracellular vesicles mediate apoptosis in human colon cancer cells in an exercise intensity-dependent manner", Cold Spring Harbor Laboratory, 2024	<%1
43	acikerisim.uludag.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
44	sporbilimleri.org.tr İnternet Kaynağı	<%1
45	www.acarindex.com İnternet Kaynağı	<%1
46	www.isarder.org İnternet Kaynağı	<%1
47	www.sporbilim.com İnternet Kaynağı	<%1
48	Eminoğlu, Maksut Barış. "Çapa makinesi ile çalışmada operatör yüklenmesinin belirlenmesi", Ankara Üniversitesi (Turkey), 2024	<%1
49	Yildiz, Incilay, and M. Fatih Akay. "Prediction of maximum oxygen uptake with different machine learning methods by using submaximal data", 2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2015.	<%1

Yayın

- | | | |
|-------|---|-----|
| 50 | <p>Ayvaz, Ulku. "6. Sınıf öğrencilerinin Matematik Yeteneğindeki Cinsiyet Farklılıkları: uyep örneği", Anadolu University (Turkey)</p> <p>Yayın</p> | <%1 |
| <hr/> | | |
| 51 | <p>Batuk, Sevgin. "The Relationships Between Structural Empowerment, Work Engagement, Self-Rated Performance and the Moderating Effect of Preferred Level of Empowerment", Marmara Üniversitesi (Turkey), 2021</p> <p>Yayın</p> | <%1 |
| <hr/> | | |
| 52 | <p>Tahkol, Didem. "Hemşirelik öğrencilerinin sürdürülebilir kalkınma tutumları Ve İklim değişikliğine yönelik Bilgi düzeyleri", Dokuz Eylül Üniversitesi (Turkey), 2023</p> <p>Yayın</p> | <%1 |

Alıntılar çıkart	Üzerinde	Eşleşmeleri çıkar	< 5 words
Bibliyografyayı Çıkart	Üzerinde		

EK-5: Dijital Makbuz



Dijital Makbuz

Bu makbuz ödevinizin Turnitin'e ulaştığını bildirmektedir. Gönderiminize dair bilgiler şöyledir:

Gönderinizin ilk sayfası aşağıda gönderilmektedir.

Gönderen: Olgun Can Altunkan
 Ödev başlığı: Aktif çocuklarda faz açısı ile aerobik ve anaerobik güç arasında...
 Gönderi Başlığı: Aktif çocuklarda faz açısı ile aerobik ve anaerobik güç arasında...
 Dosya adı: erobik_ve_anaerobik_g_arasindaki_ili_kinin_de_ertlendirilmesi.p...
 Dosya boyutu: 603.08K
 Sayfa sayısı: 80
 Kelime sayısı: 23,400
 Karakter sayısı: 152,077
 Gönderim Tarihi: 15-Kas-2025 04:19ÖS (UTC+0300)
 Gönderim Numarası: 2815673720



EK-6: İlk Ziyaret için Veri Toplama Formu

Tarih:

Katılımcının Adı-Soyadı:

Veri Toplama Formu

1. Ziyaret

- 1- Doğum Tarihi
- 2- Cinsiyet
- 3- Vücut Yağ Yüzdesi
- 4- Yağsız Vücut Kütlesi
- 5- Vücut Ağırlığı:
- 6- Boy Uzunluğu:
- 7- Oturma Boyu:
- 8- Bacak Uzunluğu:

*Boy Uzunluğu-Oturma Boyu

- 9- Zirve Boy Uzama Hızı:

*Erkek = $-9.236 + (0.0002708 \times (\text{Bacak Boyu} \times \text{Oturma Boyu})) + (-0.001663 \times (\text{Yaş} \times \text{Bacak Boyu})) + (0.007216 \times (\text{Yaş} \times \text{Oturma Boyu})) + (0.02292 \times (\text{Ağırlık/Boy Oranı} \times 100))$

- 10- İdrar Dansitesi:

*BIA ölçümünden en az 60 dakika önce muhtemel dehidrasyonu engellemek için oturarak dinlenme esnasında 250-300 ml su tüketmeleri sağlanacak, bir refraktometre ile idrar dansitesi belirlenecektir. İdrar dansitesi $\leq 1030\text{g/cm}^3$ ise BIA ölçümü gerçekleştirilecek, değilse ertelenecektir.

- 11- Faz Açısı (sol/sağ):

*Masaya sırt üstü yattıktan sonra, avuç içi yere bakacak şekilde kolları vücudundan yaklaşık 30° ayrılmış ve bacakları yaklaşık 45° açık bir şekilde pozisyonlandırılacaktır. Kaynak elektrotlar, ikinci metatarsın distal ucunda ayağın ön yüzeyine ve üçüncü metakarpalın distal ucunda elin arka yüzeyine yerleştirilecektir. Alıcı elektrotlar, el bileğinin arka yüzeyinde radius ve ulna

çıkıntıları arasına ve ayak bileğinin ön yüzeyinde tibia malleoller ile fibula arasına yerleştirilecektir. Elektrotların temas edeceği yerler yerleştirilmeden hemen önce alkol ile silinecektir. bu ölçüm, yaklaşık 1 dakika sürecektir.

$$\text{faz açısı} = \text{atan} (X_c/R_z) \times 180/\pi$$

12- R / Xc:

* R ve Xc değerleri cihazın yazıcısından otomatik çıktı şeklinde kayıt edilecektir.

13- Wingate Testi:

*Sele yüksekliği, diz açıklığının en fazla olduğu pozisyonda hafif bükülü kalacak şekilde ayarlanacaktır. Isınma protokolü, 30 saniyede 1 defa 2-3 saniyelik yüksek hızda pedal çevirmeler içeren düşük yükte (40 – 60 W) 60 devir/dakika pedal hızında 3 dakikalık bir seans içerecektir. Katılımcılar ısınma sonrasında bisiklet üzerinde 1dk boyunca dinlendikten sonra boş yükte maksimum hızda pedal çevirmeleri istenecek ve 5 saniye sonra gerçek test yüküne karşı 30 saniye boyunca maksimum eforla pedal hızını korumaları istenecektir.

14- Zirve Güç:

*En yüksek 5 saniyelik güç çıkışı olarak değerlendirilecektir.

15- Ortalama Güç:

* Test süresi boyunca ortaya konan güç çıktısının ortalaması olarak belirlenecektir.

16- Yorgunluk İndeksi:

* Yorgunluk İndeksi = [(Zirve güç – Minimum güç) / Zirve güç]

EK-7: İkinci Ziyaret için Veri Toplama Formu

Tarih:

Katılımcının Adı-Soyadı:

Araştırma Check-List

2. Ziyaret

- 1- Kalibrasyon:
 * Gaz analizörü, her ölçümden önce üretici firmanın yönergesine uygun olarak atmosferik hava (%20,93 O₂, % 0.04 CO₂) ve içerisinde konsantrasyonu bilinen gaz karışımı (%15.70 O₂, % 4.0 CO₂, N₂ Balans), akımmetrenin türbin kalibrasyonu ise 3 litrelik sertifikalı şırınga (Cosmed, İtalya) kullanılarak kalibre edilecektir.
- 2- Kalp Atım Hızı:
 * Kalp atım hızı (KAH), gaz analiz cihazıyla senkronize edilmiş bir KAH monitörü (Garmin, ABD) ile 5 saniye aralıklarla kaydedilecektir.
- 3- Isınma:
 *75 devir/dakika pedal hızında 3 dakika 10 Watt direnç.
- 4- Aerobik Güç:
 *Isınmanın ardından direnç her dakika 10 Watt artacak şekilde tükenmeye kadar kademeli artan bir test gerçekleştirilecektir.
- 5- Hedef Pedal Hızı (75):
 *Dakikada 60 pedal çevirmenin altına düşmesi tükenme kriteri olarak kabul edilecek.
- 6- Plato:
 *Egzersiz bittiği son dakika ve ondan bir önceki dakikada ortalama VO₂ değerleri arasındaki artışın 2 ml.kg⁻¹.dk⁻¹'dan az olması.
- 7- Solunum Değişim Oranı:
 *(SDO) ≥ 1.00
- 8- Tahmin Edilen KAH:
- 9- Doğrulama Yöntemi:
 * test bitiminden 10dk sonra katılımcı, testin sonlandığı egzersiz şiddetinin %105'i ile 3 dakika boyunca supramaksimal bir efor sarf edecektir.

9. ÖZGEÇMİŞ