

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

**FARKLI VÜCUT KÜTLE İNDEKSLERİNİN VE YÜRÜME
HIZLARININ YÜRÜME DİNAMİĞİNE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Dilan Deniz KOYUNCU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Uğur DAL

MERSİN-2016

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

**FARKLI VÜCUT KÜTLE İNDEKSLERİNİN VE YÜRÜME
HIZLARININ YÜRÜME DİNAMİĞİNE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Dilan Deniz KOYUNCU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Uğur DAL

Bu tez, Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından
BAP-2015-TP-2-1347 no'lu proje olarak desteklenmiştir.

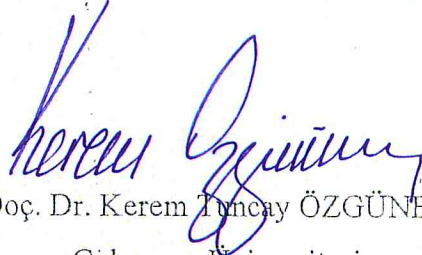
Tez No: 306.....

MERSİN-2016

Mersin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü

Fizyoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi Programı çerçevesinde yürütülmüş olan “Farklı vücut kütle indekslerinin ve yürüme hızlarının yürüme dinamiğine etkisinin araştırılması” başlıklı çalışma, jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 25/07/2016



Doç. Dr. Kerem Tuncay ÖZGÜNEN
Çukurova Üniversitesi



Doç. Dr. Uğur DAL
Mersin Üniversitesi



Doç. Dr. Tolgay ERGENOĞLU
Mersin Üniversitesi

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun 08.08.2016 tarih ve 216/295 sayılı kararı ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Banu COŞKUN SİLMAZ
Enstitü Müdürü



TEŞEKKÜR

Öncelikle tez çalışmamın her aşamasında bana tecrübeleri ile yol gösteren ve desteğini hiç esirgemeyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Uğur DAL’a sonsuz teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimime katkıda bulunan değerli bölüm öğretim üyesi hocalarıma teşekkür ederim.

Çalışmamın çalışma gruplarının oluşturulmasında ve deney aşamasında yapmış olduğu katkılardan dolayı sevgili arkadaşım Arş. Gör. Zeynep ALTINKAYA’ya, tezimin tüm aşamalarında manevi desteğini esirgemeyen sevgili arkadaşım Arş. Gör. Berrin MARAŞLIGİL’e, tezimin bulgularının değerlendirilmesindeki yardımlarından dolayı Sayın Yrd. Doç. Dr. Semra ERDOĞAN ve Arş. Gör. Merve TÜRKEGÜN’e teşekkür ederim.

Çalışmama gönüllü olarak katılmayı kabul eden ve isimlerine burada yer veremeyeceğim tüm değerli asistan ve öğrenci arkadaşlarıma ilgileri ve sabırları için sonsuz teşekkür ederim.

Hayatım boyunca eğitim hayatımda büyük destekçilerim annem ve babama, tez yazım süresince tüm anlayışıyla yanımda olan sevgili eşim Dr. Ömer Ruşen KOYUNCA’ya ve bana bu yoğun süreçte varlığı ile mutluluk veren küçük oğlum Mîr Onur KOYUNCU’ya sonsuz teşekkür ederim.

Dilan Deniz KOYUNCU

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Obezite	3
2.1.1. Tanım	3
2.1.2. Yağ Dokusu	3
2.1.2.1. Leptin	4
2.1.2. Obezitenin Epidemiyolojisi	6
2.1.3. Obezitenin Etiyolojisi	8
2.1.3.1. Genetik	8
2.1.3.2. Çevresel Faktörler	10
2.1.3.3. Fiziksel Aktivite	10
2.1.3.3.1. Obezitenin Yürüme Üzerine Etkisi	11
2.2. Yürüme	13
2.2.1. Tanım	13
2.2.2. Yürüme Siklusu	13
2.2.3. Yürümenin Temporal ve Spasyal Parametreleri	15
2.2.3.1. Kadans	15
2.2.3.2. Adım Uzunluğu	16
2.2.3.3. Yürüme Hızı	16
2.2.3.3.1. Tercih Edilen Yürüme Hızı	17
2.2.3.4. Adım Genişliği	17

2.2.4. Yürüme Siklusu Boyunca Vücut Bölümlerinin Hareketi	18
2.2.4.1. Üst Vücut	18
2.2.4.1.1. Vücut Kütle Merkezi	18
2.2.4.2. Kalça	19
2.2.4.3. Diz	19
2.2.4.4. Bilek ve Ayak	20
2.2.5. Zemin ve Koşu Bandında Yürümenin Farkları	20
2.3. Yürüme Analizi	22
2.3.1. Yürüme Analizi Tarihçesi	22
2.3.2. Yürüme Analizi Yöntemleri	24
2.3.2.1. Kinematik Yürüme Analizi	24
2.3.2.1.1. 2 Boyutlu Kinematik Yürüme Analizi	24
2.3.2.1.1.1. Paralaks Hata	25
2.3.2.1.1.2. Perspektif Hatası	25
2.3.2.1.2. 3 Boyutlu Kinematik Yürüme Analizi	25
2.3.2.1.2.1. Optoelektronik Sistemler	26
2.3.2.1.2.1.1. İşaretleyici Yerleşimi	26
2.3.2.2. Kinetik Yürüme Analizi	27
2.3.2.2.1. Kuvvet Platformu	27
2.3.2.3. Elektrogonyometre	28
2.3.2.3.1. Potansiyometre	28
2.3.2.3.2. Esnek Gerinim Ölçer	28
2.3.2.4. Pedobarografi	29
2.3.2.5. Elektromiyografi	29
2.3.2.6. Akselerometre	30
2.3.2.7. Jiroskop	30
2.3.2.8. Elektromanyetik İzleme Sistemi	30
2.3.2.9. Sensör Kumaşlar	31
2.3.2.10. Enerji Tüketimi Ölçümleri	31
2.3.2.10.1. Oksijen Tüketimi (İndirekt Kalorimetre)	31
2.3.2.10.1.1. Kapalı Devre İndirekt Kalorimetre	32
2.3.2.10.1.2. Açık Devre İndirekt Kalorimetre	33

3. GEREÇ VE YÖNTEMLER	34
3.1. Çalışma Grupları	34
3.2. Antropometrik Ölçümler	35
3.3. Tercih Edilen Yürüme Hızı Tespiti	36
3.4. Enerji Tüketimi Ölçümleri	36
3.4.1. Ham Verinin İşlenmesi	38
3.5. Yürüme Analizi	39
3.5.1. Yürüme Analizi Sistemi	39
3.5.2. Yürüme Analizi Sistemi Donanımı	40
3.5.3. Yürüme Analizi Sistemi Yazılımları	41
3.5.4. Kalibrasyon	42
3.5.5. İşaretleyicilerin Sabitlenmesi	42
3.5.6. Yürüme Analizi Protokolü	43
3.5.7. Ham Verinin İşlenmesi	44
3.6. İstatistiksel Analiz	45
4. BULGULAR	46
4.1. Gruplar Arası Antropometrik ve Demografik Özelliklerin Karşılaştırılması	46
4.2. Enerji Tüketimi Parametrelerinin Karşılaştırılması	47
4.2.1. İstirahat Enerji Tüketiminin Karşılaştırılması	47
4.2.2. Yürüme Enerji Tüketimlerinin Karşılaştırılması	48
4.3. Yürüme Parametrelerinin Karşılaştırılması	49
4.3.1. Yürüme Hızlarının Karşılaştırılması	49
4.3.2. Çift Adım Sayılarının Karşılaştırılması	49
4.3.3. Çift Adım Uzunluklarının Karşılaştırılması	50
4.3.4. Adım Genişliklerinin Karşılaştırılması	51
4.3.5. Vücut Kütle Merkezi İşaretleyicisinin Mediyolateral ve Vertikal Yer Değişiminin Karşılaştırılması	52
5. TARTIŞMA	55
5.1. İstirahat Enerji Tüketimi	56
5.2. Yürüme Enerji Tüketimi	58
5.3. Yürüme Parametreleri	60
5.3.1. Çift Adım Sayısı ve Uzunluğu	61

5.3.2. Adım Genişliği	62
5.3.3. Vücut Kütle Merkezi Vertikal ve Mediyolateral Yer Değişimi	63
5.3.3.1. Vücut Kütle Merkezi Vertikal Yer Değişimi	63
5.3.3.2. Vücut Kütle Merkezi Mediyolateral Yer Değişimi	65
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	67
7. KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİş	82



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Yürüme siklusu ve evreleri	14
Şekil 2.2. Simetrik bir yürümede adım ve çift adım uzunluğu	16
Şekil 2.3. Topuğa takılan işaretleyici ve ayağa takılan işaretleyici ile adım genişliği	17
Şekil 2.4. Yürümenin ters sarkaç modeli	19
Şekil 3.1. Maske ile enerji tüketimi kaydı	38
Şekil 3.2. Yürüme analizi laboratuvarı kamera yerleşim şeması	39
Şekil 3.3. Yürüme analizi kamerası	40
Şekil 3.4. Farklı boyutlarda işaretleyiciler	41
Şekil 3.5. Kalibrasyon Aparatı ve Çubuğu	41
Şekil 3.6. İşaretleyicilerin Yerleştirilmesi	43
Şekil 3.7. MaxPRO® ve MaxTRAQ® görüntüleri	44
Şekil 4.1. Grup içi YET VO ₂ değerlerinin karşılaştırılması	48
Şekil 4.2. Grup içi çift adım sayısı değerlerinin karşılaştırılması	50
Şekil 4.3. Grup içi çift adım uzunluğu değerlerinin karşılaştırılması	51
Şekil 4.4. Grup içi adım genişliği değerlerinin karşılaştırılması	52
Şekil 4.5. Grup içi VKM mediyolateral yer değişimi değerlerinin karşılaştırması	53
Şekil 4.6. Grup içi VKM vertikal pozitif yer değişimi değerlerinin karşılaştırması	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Grupların demografik ve antropometrik ortalamalarının karşılaştırılması	46
Çizelge 4.2. Gruplar arasında İET ortalamalarının karşılaştırılması	47
Çizelge 4.3. Gruplar arasında YET VO2'lerin karşılaştırılması	48
Çizelge 4.4. Gruplar arasında yürüme hızlarının karşılaştırılması	49
Çizelge 4.5. Gruplar arası çift adım sayısı ortalamalarının karşılaştırılması	49
Çizelge 4.6. Gruplar arası çift adım uzunluğu ortalamalarının karşılaştırılması	50
Çizelge 4.7. Gruplar arası adım genişliği ortalamalarının karşılaştırılması	51
Çizelge 4.8. Gruplar arasında VKM işaretleyicisinin değişen hızlarda mediyolateral eksenindeki yer değişimi (mm) ortalamalarının karşılaştırılması	53
Çizelge 4.9. Gruplar arasında VKM işaretleyicisinin değişen hızlarda vertikal eksenindeki pozitif yer değişimi (mm) ortalamalarının karşılaştırılması	54

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

cm	: Santimetre
CO₂	: Karbondioksit
COM	: Center of Mass
dk	: Dakika
gr	: Gram
İET	: İstirahat Enerji Tüketimi
kg	: Kilogram
kcal	: Kilokalori
lt	: Litre
m	: Metre
mm	: Milimetre
m²	: Metrekare
N₂	: Nitrojen
O₂	: Oksijen
POMC	: Proopiomelanokortin
PVN	: Paraventriküler Nükleus
PWS	: Preferred Walking Speed
RQ	: Solunumsal Değişim Oranı
sn	: Saniye
TEYH	: Tercih Edilen Yürüme Hızı
VKİ	: Vücut Kütle İndeksi
VKM	: Vücut Kütle Merkezi
YET	: Yürüme Enerji Tüketimi
WHO	: World Health Organization

ÖZET

Farklı Vücut Kütle İndekslerinin ve Yürüme Hızlarının Yürüme Dinamiğine Etkisinin Araştırılması

Obezite, enerji alımı ve tüketimi arasındaki dengesizlikten kaynaklanan, fazla yağ birikimi durumudur. Yürüme, kolay uygulanabilir olması ile obezlere sıklıkla önerilen aktivite çeşididir. Çalışmamızda, obez ve normal kilolu bireylerin enerji tüketimleri karşılaştırılarak, sonuçların yürüme parametreleri açısından yorumlanması amaçlanmıştır.

13 normal kilolu ve 13 obez bireyle gerçekleştirilen çalışmamızda bireylerin istirahat ve 3 yürüme hızında (tercih edilen yürüme hızı (TEYH), % 30 daha az ve % 30 daha fazlası) enerji tüketimleri indirekt kalorimetri yöntemi ile ölçülmüştür. Koşu bandında yürüdüklerinde, vücut kütle merkezlerine (VKM) ve topuklarına takılan işaretleyiciler ile temporal spasyal parametreleri ve VKM mediyolateral ve vertikal yer değişimleri 3 adet kamerayla kaydedilmiştir.

Obezlerde istirahat durumunda kullanılan oksijen miktarı (VO_2) daha yüksek bulunmuştur ($p<0,001$). Yağsız vücut kütlesi ile normalize edilen istirahat VO_2 değerleri açısından gruplar arasında fark gözlenmemiştir ($p=0,552$). Yürüme sırasında ölçülen VO_2 ise gruplar arası anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Hızın artmasıyla birlikte iki grupta da VO_2 artış göstermiştir. Gruplar arası TEYH'ler, çift adım sayısı ve adım uzunluğu istatistiksel olarak farklı bulunmamıştır ($p>0,05$). Obezlerin tüm hızlarda adım genişliği ölçümü normal kilolu bireylerden fazla bulunmuştur ($p<0,001$). Yürüme hızı artışı ile adım genişliği anlamlı olarak değişmemiştir ($p>0,05$). Tüm hızlarda gruplar arası VKM'nin mediyolateral yer değişimi anlamlı bulunurken ($p<0,001$), vertikal yer değişimi anlamlı değişmemiştir ($p>0,05$). Yürüme hızı artışı ile ise, VKM'nin mediyolateral yer değişimi azalırken, vertikal yer değişimi artmıştır.

Bireylerin istirahat enerji tüketimlerinin karşılaştırılması gerektiğinde yağsız vücut kütlesi ile normalizasyonu tercih edilebilir. Verilerimiz, obezlerin yürüme sırasında daha fazla enerji tüketerek, adım genişliğinde artış, vertikal yer değişiminde kısıtlama gibi fizyolojik adaptasyon mekanizmaları ile normal yürüme paternini koruyabildiklerini ortaya koyabilir.

Anahtar Kelimeler: Obezite, enerji tüketimi, yürüme analizi, temporal spasyal parametreler, vücut kütle merkezi.

ABSTRACT

Investigation of the Effects of Different Body Mass Index and Walking Speeds on Walking Dynamics

Obesity is an excess fat accumulation situation caused by imbalance between energy intake and consumption. Walking, with its easiness to perform, is typically advised physical activity type to obese individuals. In our study, it is aimed to compare energy expenditure levels of obese and normal weight individuals and to interpret these results in terms of several walking parameters.

Our study performed with 13 normal weight and 13 obese subjects, energy expenditure of individuals was measured with indirect calorimetry method while in resting state and 3 walking speeds (preferred walking speed (PWS), 30 % less and 30 % less). When they were walking on treadmill, temporal spatial parameters and mediolateral and vertical displacement of center of body mass (COM) were recorded via 3 cameras with placement of markers to COM and heels.

The oxygen consumption (VO_2) during resting was found higher in obese ($p<0,001$). However, there is no difference in resting VO_2 values normalized with respect to fat free mass (adjusted to fat free mass?) ($p=0,552$). VO_2 measured in walking was found significant between groups ($p<0,05$). In both groups, the increment in walking speed resulted in VO_2 to increase. PWS, stride and stride length were not found significantly different between groups ($p>0,05$). Step width measurement of obese was found higher than normal weight individuals in all speeds ($p<0,001$). With walking speed increment, step width was not changed significantly ($p>0,05$). COM mediolateral displacement was found significant between groups in all speeds ($p<0,001$), vertical displacement did not change significantly ($p>0,05$). For each walking speed increment, while COM mediolateral displacement was decreased, vertical displacement was increased.

In case of need to compare resting energy expenditure of individuals, normalization with respect to fat free mass can be preferred. Our data suggest that obese individuals preserve normal walking pattern by physiologic adaptation mechanism like consuming more energy during walking, increasing step width, restraining vertical displacement.

Keywords: Obesity, energy expenditure, gait analysis, temporal spatial parameters, center of body mass.

1. GİRİŞ

Obezite fazladan yağ depolanması ile karakterize ve harcanan enerjiden daha fazla enerji alımı ile ortaya çıkan patolojik bir durumdur (1). Kilo alımının etiyolojisine bakıldığında ise, bireyin enerji alımı ve tüketimini etkileyen genetik yatkınlıklar, cinsiyet, yaş, hormonal aktiviteler sosyal, çevresel koşullar, gibi birçok faktörün rolü bulunmaktadır (2). Örneğin erken dönem obezitede daha çok genetik faktörlerin etkisi söz konuyken, yaşlı obezitesi daha çok çevresel faktörlerin bir ürünü olarak görülmektedir (3).

Vücut kütle indeksi (VKİ) bireylerin vücut ağırlıklarına göre sınıflandırılmasında kullanılan önemli bir parametre olup, VKİ değeri 30 kg/m^2 ve üstü olan bireyler obez olarak nitelendirilir. Ancak VKİ değerinin bireyin vücut kompozisyonuna dair herhangi bir bilgi vermemesi, bireyin fazla kas kütlesi olması halinde yanlış değerlendirilmesine neden olabilir. Bu nedenle VKİ sınıflandırılmasına ek olarak, vücut yağ yüzdesi erkeklerde % 25, kadınlarda % 35 üstü olan bireylerin obez olduğundan bahsedilebilir (4).

Dünya genelinde yürütülen çalışmalar obez birey sayısının endişe verici seviyelere ulaştığını göstermektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nın hazırladığı 2015 yılı raporuna göre 2014 yılı itibari ile dünya genelinde 18 yaş üstü, 1.9 milyardan daha fazla yetişkin fazla kilolu olarak kaydedilirken, bu bireylerden en az 600 milyonunun obez olduğu belirtilmiştir (5).

Obezite, bireyin sadece günlük aktivitelerini gerçekleştirmesini zorlaştırmakla kalmayıp, tip 2 diyabet, kardiyovasküler hastalıklar, dislipidemi, hipertansiyon, uyku apnesi, psikososyal problemler, bazı kanser tipleri ve hatta prematür bebek ölümleri gibi hastalıkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır (2). Ancak, düzenli aralıklarla yapılan fiziksel aktivite ve beslenme alışkanlıklarında yapılan bir takım düzenlemeler ile normalden fazla kilo alımı önlenip vücut yağı azaltılabilmektedir (6).

Yürüme, kolay uygulanabilir olması ile obezitenin önlenmesi sürecinde en sık önerilen fiziksel aktivite formu olarak ortaya çıkmaktadır (7). Yapılan çalışmalar, obez bireylerin normal kilolu bireylere oranla yürüme sırasında daha fazla enerji

harcadıklarını göstermiştir (8). Bu artmış enerji tüketiminin, obez bireylerin sahip olduğu daha fazla vücut ağırlığının yanı sıra, yürüme biyomekaniğinde normal kilolu bireylere göre değişen bir takım faktörlerin de etkili olduğu söylenebilir. Obez bireylerin yürümesi, daha düşük TEYH değerlerine sahip olma, azalmış adım uzunluğu ve sayısı, artmış adım genişliği gibi temporal spasyal parametrelerin yanında, VKM'nin mediyolateral ve vertikal eksenlerdeki yer değişimi miktarları açısından da normal kilolu bireylerden farklılık gösterir (9).

Daha önceki çalışmalarda çoğunlukla, bahsi geçen parametreler ayrı ayrı değerlendirilmiş olup, yürüme analizi parametrelerinin enerji tüketimi ile birlikte analiz edildiği çalışmalar nadirdir. Bu çalışmada, normal kilolu ve obez bireylerin dinlenme ve yürüme koşullarındaki enerji tüketimi ölçümleri kıyaslanarak, olası farklılıkların bireylerin temporal spasyal parametreleri ve VKM'lerinin mediyolateral ve vertikal eksenlerdeki yer değişimi miktarları açısından açıklanması amaçlanmıştır.

Çalışma verileri öncelikle, yürüme sırasında kullanılan enerjinin yürüme biyomekaniği bileşenlerinin bazıları, tercih edilen yürüme hızı, adım sayısı ve uzunluğu, adım genişliği gibi temporaspyal parametreler ve VKM hareketi gibi, tarafından ne oranda etkilendiğine dair literatüre destek sağlayabilir. Ayrıca, obez bireyler için düzenlenen egzersiz programlarında olası farklılıklar göz önünde bulundurularak, uygun fiziksel aktivite şeklinin ve şiddetinin belirlenmesine yardımcı olabilir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Obezite

2.1.1. Tanım

Obezite, bireyin sağlığını etkileyecek ve erken ölüme neden olabilecek ölçüde normalden fazla yağ depolanması şeklinde tanımlanabilir. Obez bireyler sadece daha fazla yağ deposuna sahip olmakla kalmayıp vücutlarındaki yağ dokusunun dağılımı açısından da normal bireylere oranla farklılık gösterir. Yağ dokuları erkeklerde çoğunlukla abdominal yerleşimli, android tipte olup, kadınlarda vücuttaki yağın büyük kısmı kalçalar ve bacakların üst kısımlarında, jinoid tip yerleşim gösterir (1).

Vücut Kitle İndeksi (VKİ) bireylerin obezite durumlarının değerlendirilmesinde en sık başvurulmuş ve en kolay yöntem olarak düşünülmektedir. VKİ bireyin kilosunun boyunun karesine bölünmesi (kg/m^2) ile hesaplanır. Klinik anlamda, VKİ değeri 30 kg/m^2 ve üstü bireyler obez olarak kabul edilir. Ancak, VKİ değeri ağırlığa katkıda bulunan yağ ve kas dokusu oranları hakkında doğrudan bilgi vermeyip bireyin fazla kas kütlesi olması durumunda yanlış değerlendirilmesine neden olabilir. Bu nedenle, bireylere obezite tanısı koyulmadan önce vücut yağ yüzdesi, deri kıvrım kalınlığı ölçümü, biyoelektrik empedans analizi, hidrostatik tartım, vb. metotlarla ölçülmelidir. Erkeklerde vücut yağ yüzdesinin 25 veya daha üzeri, kadınlarda ise yüzde 35 veya daha üzeri olması durumunda obeziteden söz edilebilir (4).

2.1.2. Yağ Dokusu

Bireyin harcadığı enerjiden daha fazla aldığı enerji (besin olarak) yağ şeklinde depo edilir. Fazladan alınan her 9,3 kalori enerji 1 gram yağ artışına neden olur (4). İnsanda yağ özellikle deri altı ve visceral yağ hücrelerinde depolanır. Yağ hücreleri ise beyaz ve kahverengi olmak üzere ikiye ayrılır. Beyaz yağ hücreleri, küresel şekle sahip olup büyüklükleri $30 \mu\text{m}$ ile $100 \mu\text{m}$ arasında değişir. Bu hücrelerin sitoplazmasının

neredeyse tamamı büyük bir yağ damlası vakuolü ile kaplıdır ve temelde yağ asitlerinin depolanması için kullanılır. Genç ve sağlıklı bir bireyin beyaz yağ dokusu ortalama 12-15 kg ağırlığında olurken yaklaşık 110,000-135,000 kaloringin depo edilmesini sağlar. Beyaz yağ dokusu insanda çoğunlukla karın içi omentum, bağırsaklar ve perirenal alanlarda bulunurken, deri altında ise kalça, üst bacak ve karın bölgesinde yerleşim gösterir. Ayrıca, orbital boşluğun arkası, yüz, ekstremiteler ve hatta kemik iliğinde de beyaz yağ dokusu bulunur. Yaşlanma ile birlikte kilo artışına bağlı olmaksızın deri altı yağ dokusu azalır ve karın içi yağlanma artış gösterir (10).

Kahverengi yağ hücreleri ise daha küçük hücreler olup, 15-50 μm , sahip oldukları UCP1 proteini ile termogeneze sorumludurlar (11). Mitokondrinin iç zarında yer alan bu protein, zarlar arası elektrokimyasal farkı kullanarak ısı elde edilmesini sağlar (12). Yenidoğanda çoğunlukla skapulalar arası ve aksiller, servikal, perirenal ve periadrenal alanlarda bulunan kahverengi yağ dokusu doğumdan kısa bir süre sonra oldukça azalır. Yapılan çalışmalarda bu dokunun organizmanın enerji tüketiminde önemli bir yeri olduğunu ve genetiğiyle oynanmış ve bu dokudan yoksun hayvan modellerinin obeziteye yatkın olduğu bulunmuştur (10,11,13). Dolayısıyla, obezitenin önlenmesi veya tedavi süreçlerinde bu az miktardaki kahverengi yağ dokusunun uyarılması yeni bir metot olarak düşünülmektedir (10).

Yaşamın ilk yıllarında yağ hücresi sayısı, toplam yağ kütlesi, ve yağ yüzdesi cinsiyet farklılığı göstermeksizin artma eğilimi gösterir. Ancak yağ hücresi hacmi, yaştan bağımsız olarak yağ kütlesi ve yüzdesinin artmasıyla birlikte büyür. Örneğin, morbid obezlerde ($\text{VKİ} > 40 \text{ kg/m}^2$) yağ dokusu normal bireylere oranla 4 katına çıkıp, yağ yüzdeleri toplam vücut ağırlıklarının %60-70'ini bulabilir. Bu büyümeden özellikle adipoz dokudan salınan insülin-benzeri büyüme faktörü-1, dönüştürücü büyüme faktörü- β , tümör nekroz faktörü- α , makrofaj koloni-uyarıcı faktör, anjiyotensin-2, leptin, resistin benzeri parakrin ajanlar sorumludurlar (11).

2.1.2.1. Leptin

Leptin, temel olarak yağ dokusunda üretilen ve aynı zamanda plasenta, iskelet kası, mide mukozası, ve meme epitelyumundan da az olarak salınan bir hormondur.

Leptin konsantrasyonu bireyin yağ depolarının durumuna göre düzenlenip beynin periferik enerji depoları hakkında bilgilendirilmesini sağlar. Leptin hormonu salgılayamayan veya reseptörü olmayan hayvan modellerinin kontrol edilemez iştaha sahip ve morbid obeziteye yatkın olmaları ve leptin enjeksiyonu ile yiyecek tüketimi, vücut ağırlıkları ve yağlarının düzenlenmesi sonucu 'antiobezite hormonu' olarak adlandırılmıştır (11). Ancak, obezitenin birçok formunda leptin eksikliğinin aksine artan yağ dokusuna bağlı olarak normalden çok artmış leptin hormonu seviyesine bağlı 'leptin direncinin' geliştiği görülmüştür (14).

Leptin reseptörleri (LEPR) sınıf 1 sitokin reseptörü süperfamilyasından olup 5 adet izoformu bulunmaktadır. LEPRb, periventriküler ve lateral hipotalamik alanlarda ve beyin sapı çekirdeklerinde eksprese edilen ve enerji homeostazından temel olarak sorumlu olan izoformudur (15). Leptin hormonunun LEPRb reseptörüne bağlanması sonucu hücre içi Janus Kinaz-2 (JAK-2) proteinleri aktifleşip, LEPRb'nin tirozin amino asit yerleşimlerinden fosforillenmesine neden olurlar. Bu bölgelere bağlanan STAT-3 proteinlerinin yine JAK-2 proteinlerinin aktivitesi sonucu fosforillenmesi ile STAT-3 proteinleri reseptörden ayrılıp hücre içinde dimer yapıları oluştururlar. Ardından çekirdeğe giderek gen transkripsiyonunu düzenlerler (14). Bu aktivite sonucu proopiomelanokortin (POMC)'den anoreksijenik (iştah azaltıcı) bir peptit olan α -MSH'nin sentezlenmesi ve oreksijenik (iştah arttırıcı) peptitlerin; AGRP, NPY gibi üretilmesi baskılanmış olur. α -MSH çoğunlukla paraventriküler çekirdekte (PVN) yer alan melanokortin 3 ve 4 (MC3/4-R) reseptörlerine bağlanarak bireyde tokluk hissinin oluşmasını sağlar (11).

Leptin hormonu bireyin iştahını düzenlenmenin yanı sıra tiroid hormonları ve kortikosteroidlerin sentezleri üzerine olan etkisi sonucu vücut sıcaklığı ve enerji tüketiminin düzenlenmesinde de rol oynar. Ayrıca, CD4+ T hücrelerinin proliferasyonunu ve yardımcı T hücrelerinden sitokinlerin salınmasını indüklemeye potansiyeline sahiptir. Dolayısıyla bireyin beslenmişlik durumu ile immün sistemi arasındaki ilişkide leptinin de bir rolü olduğu düşünülebilir. Bunların yanı sıra, bireyin puberteye girişinin düzenlenmesinde de leptin etkinliği söz konusudur (16).

Leptinin vücut ağırlığını düzenleme üzerindeki etkinliği bireyin iştahını düzenlemeden öte lipoliz ve glikoz metabolizması üzerine etkileri ile gerçekleşir.

Artmış leptin konsantrasyonu lipolizi arttırıp yağ dokusu kütlesini azaltma yetkinliğine sahiptir. Ayrıca, açlık durumunda vücudun savunma mekanizması olarak ortaya çıkan azalmış enerji tüketimini önlemeye çalışır. Kandaki insülin konsantrasyonunu etkilemeden serum glikoz seviyesini düşürüp hücrelerin glikoz kullanma miktarını arttırır. Bu rolü, leptin salgılayamayan *ob/ob* mutant farenin aynı zamanda diyabet olmasını açıklamaktadır (16).

2.1.2. Obezitenin Epidemiyolojisi

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) 2015 raporuna göre 2014 yılı itibari ile dünya genelinde 1.9 milyardan fazla yetişkin (18 yaş üstü) fazla kilolu olup bunların en az 600 milyonu obezdir (5). Aynı örgütün 2000 yılı obezite ile ilgili raporunda fazla kilolu birey sayısı 1 milyardan fazla bulunurken bunların en az 300 milyonu obezdi (2). 14 yıl gibi kısa bir süre içerisinde bu sayıların yaklaşık iki katına çıkması obezitenin neden tüm ülkeler tarafından en büyük sağlık problemi olarak görüldüğünü açıklamaktadır.

Ülkelerde obezite görülme sıklığı ülkenin sanayileşme seviyesiyle paralellik gösterir. Ülke ekonomisi büyüdükçe obezite görülme oranları; % 4,8 gelişmekte olan ülkeler, %17,1 kısmen gelişmiş ülkeler ve % 20,4 gelişmiş ülkeler şeklinde değişir (11). Bunun nedeni, endüstriyel yaşamın getirdiği şehir hayatında hızlıca tüketilen besinlerde obeziteye zemin hazırlayan maddelerin kullanılması, bu ürünlerin daha kolay ulaşılabilirliği ve daha ucuz olmasına bağlıdır (17). Yine modern yaşamın bireylerin tükettiklerden daha fazla kalori almaya teşvik eden imkânlar getirmesi ve bunun tersine fiziksel aktivite yapmak için zaman yoksunluğu oluşturması da obeziteye zemin hazırlayan etkenler olarak düşünülebilir (11).

Kadınlarda fizyolojik olarak daha fazla yağ dokusu depolama yatkınlığı nedeniyle obezite görülme oranları erkeklere oranla daha fazladır (11). Dünya erkek nüfusunun % 11'i obez olurken, kadın nüfusunun % 15'i obezdir (5). Yine dünya genelinde yapılan büyük ölçekli bir çalışmada erkeklerde kilolu olma oranları % 28,8'den % 36,9'a yükselirken kadınlarda % 29,8'den % 38,0'a artmıştır (18). Ülkemizde T.C. Sağlık Bakanlığı tarafından 15468 birey üzerinde gerçekleştirilen geniş ölçekli bir çalışmada erkek ve kadınlar arasındaki obezite görülme sıklığı farkı oldukça

belirgin olup 30 yaş üstü erkeklerde obezite görülme oranı % 21,2 olurken kadınlarda % 41,5'tir. Ayrıca bu çalışmaya göre obezite en sık İç Anadolu Bölgesi'nde görülürken en az Doğu Anadolu Bölgesi'nde görülmüştür (19).

Obezite görülme oranları etnik gruplar arasında değerlendirildiğinde afroamerikan, hispanik ve beyaz ırk erkekler arasında anlamlı bir fark görülemezken, afroamerikan kadınlarda obezite görülme oranı (% 50), beyaz ırk (% 30) ve meksikalı amerikalı (% 40) kadınlardan daha fazladır (11).

Çocuklarda görülen obezitenin yetişkin obezitesine zemin hazırlaması ve erişkin dönemde obeziteye bağlı hastalıkların görülme oranını arttırması nedeni ile çocuklarda obezite prevalansı ile ilgili çalışmalar oldukça fazladır. Çocuklarda yaklaşık 20 yaşına kadar fizyolojik olarak uzamanın ve kilo alımının devam etmesi obezite sınıflandırmasında VKİ'nin yerine söz konusu ülkenin persentil tablolarının kullanılmasını gerektirmiştir. Buna göre, çocuğun kendi yaş grubu ve cinsiyetine ait persentil tablosunda 85 persentil veya üstü fazla kilolu ve 95 persentil veya üstü obez olarak sınıflandırılmasına karar verilmiştir. Yetişkinlerin aksine, kız ve erkek çocuklarda obezite görülme sıklığı arasında anlamlı bir fark bulunamazken, etnik anlamda afroamerikan ve meksikalı amerikalı çocuklarının beyaz ırk çocuklarına göre daha ağır olduğu bulunmuştur (11). WHO raporuna göre 2013 yılı ile birlikte dünya genelinde 5 yaş altı 42 milyon çocuk ya fazla kilolu ya da obez olarak değerlendirilmiştir (5). Gelişmekte olan ülkeleri baz alan geniş ölçekli bir çalışmada çocuk ve adolesanlarda obezite oranları erkeklerde % 8,1'den % 12,9'a yükselirken, kız çocuklarında % 8,4'den % 13,4' çıkmıştır (18). Ülkemizde çocukluk çağı obezitesi ile ilgili geniş tabanlı çalışmalar bulunmasa da bölgesel yürütülen çalışmalar sonucu çocuklarda obezite görülme oranları % 9 ile % 27 arasında değişmekte olduğu saptanmıştır (20). Örneğin, Ankara'da 32 ilköğretim okulundaki 6-11 yaş arasındaki yaklaşık 4000 çocuğun dahil edildiği bir çalışmada çocukların % 11,1'nin fazla kilolu ve % 7,5'inin obez olduğu bulunmuştur (17). Türkiye'de Okul Çağı Çocuklarında (6-10 yaş grubu) Büyümenin İzlenmesi (TOÇBİ) projesi dâhilinde yürütülen çalışmada çocuklarda fazla kiloluk prevalansı % 14,3 olurken obezite prevalansı % 6,5 olarak bulunmuştur. Bu çalışma ile her beş çocuktan birinin fazla kiloya sahip olmaya bağlı ikincil hastalıklar geliştirme riski taşımakta olduğu sonucuna varılmıştır (21).

Sonuç olarak, obezite sadece bireysel anlamda enerji dengesizliğinin sonucu olmaktan öte popülasyonları geniş anlamda etkileyen sosyal ve ekonomik kuvvetlerin de belirlediği büyük bir sağlık problemi olarak karşımıza çıkmaktadır.

2.1.3. Obezitenin Etiyolojisi

Enerji alımı miktarı uzun zaman boyunca (genellikle yıllar) enerji tüketimini geçerse bireyin yağ dokusunun artmasına ve yağsız vücut kütlelerinin azalmasına neden olur. Örneğin, her gün fazladan alınan 100 kalori kadar az bir fark bile 1 yıl içinde yaklaşık 5 kg yağ depolanmasına neden olur. Ancak, kilo alımı bu enerji dengesizliğinden öte genetik, biyokimyasal, hormonal ve çevresel etmenlerin tamamının kompleks etkileşimlerinin sonucu olarak gerçekleşir. Örneğin, genç yaşlarda ortaya çıkan obezite daha çok genetik faktörlerin enerji dengesi üzerine etkisine bağlıyken, erişkin dönem obezitesi daha çok çevresel faktörlerin bir sonucudur (3).

2.1.3.1. Genetik

Genetik ve parental faktörler bazı kişilerin neden obeziteden kaçabilmesinin oldukça güç olduğunu açıklarken önemli etmenler olarak ortaya çıkarlar. Jean Mayer 1965'te iki obez ebeveynin çocuklarının % 80 ihtimalle, ebeveynlerden yalnız birinin obez olması durumunda % 40 ihtimalle ve ikisinin de obez olmadığı durumda % 14 ihtimalle obez olabileceğini ileri sürmüştür. Ancak bu sonuç, genetik ve aile yaşam stilinin obezite üzerine tek başına etkilerinin ayrımını anlamak için yeterli değildir. Bunun üzerine tek ve çift yumurta ikizleri üzerinde yapılan çalışmalar sonucu tek yumurta ikizlerinin vücut ağırlıklarının çift yumurta ikizlerine oranla çok daha yakın olduğu bulunmuştur. Ayrıca, farklı çevrede büyüyen tek yumurta ikizlerinin VKİ yakınlığı ile aynı çevrede büyüyen tek yumurta ikizlerinin VKİ değerlerinin yakınlığı neredeyse aynı olduğu tespit edilmiştir (22).

Aile, evlatlık bireyler ve ikizler üzerinde yapılan çalışmalarda genetik ve kalıtsal karakterlerin obezite geliştirme yatkınlığının yaklaşık % 45-75 oranında değiştiğini göstermiştir. 2005'ten beri tek gen mutasyonuna bağlı obezite vakaları, transgenik ve nakavt farelerde yapılan çalışmalar, hayvanlarda yapılan melezleme ve genom tarama

alışmaları sonucu obezite gen haritası oluşturulmuştur (3). Bu alışmalar ile 200'den daha fazla genin obezite oluşturmaya yatkınlık sağladığı tespit edilmiştir (11).

Obezitenin genetiği ile ilgili yapılan çalışmalardan belki de en önemli bulgu Zhang ve arkadaşlarının 1994 yılında, bireyin enerji alımını ve tüketimini, iştah ve metabolizmasını düzenleyen leptin hormonunun keşfidir (23). Bunu takip eden çalışmalar leptin ve leptin reseptörü genlerinde meydana gelen mutasyonların insanlarda orta dereceden şiddetli seviyeye kadar obeziteye neden olabileceğini saptamıştır (24-27).

Ayrıca, Kokain Amfetamin Düzenleyici Transkript (CART) geni incelenen obez çocuklarda mutasyon saptanmış olup azalmış istirahat enerji tüketimine (İET) sahip oldukları görölmüştür (28). Diğer bir çalışmada, aynı gende mutasyona sahip ergenlerin kontrol grubuna göre artmış anksiyete ve depresyon skorlarına sahip olup şiddetli obezitenin erken yaşlarda ortaya çıkmasına neden olduğu bulunmuştur (29).

Büyük ölçekli çalışmalar sonucu melonokortin-4 reseptörü (MC4R), adrenerjik ̢3 reseptörü (ADR̢3), prohormon konvertaz 1 (PCSK1), beyinden-türevli nörotrofik faktör (BDNF), endokannabinoid reseptörü 1 (CNR1) genlerinde meydana gelen mutasyonların obeziteyle sıkı bir ilişkisi olduğu tespit edilmiştir (30-33). Bunların dışında enerji ve glikoz homeostazını kontrol eden nöronal SH2B1 geninin delesyonu hiperlipidemi, leptin direnci, hiperfaji, obezite, hiperglisemi, insülin direnci ve glikoz intoleransı gibi hastalıklarla karakterize bir tablonun ortaya çıkmasına neden olmaktadır (34). Ayrıca, X-kromozomu üzerinde yerleşmiş (SLC6A14) ve (CUL4B) genlerinin de iştah kontrolü ve vücut ağırlığının düzenlenmesi süreçlerindeki rollerinden dolayı mutasyonlarının obezite oluşturabileceği bulunmuştur (35,36).

Günümüzde tüm genom düzeyinde yapılan çalışmaların sonucu olarak yağ kütlesi ve obezite ilişkili (FTO) geninde meydana gelen değişimlerin obeziteye yatkınlık sağlamada en büyük etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. FTO geni, DNA demetilasyonu sürecine katılan Fe(II)- ve 2-oksogluterat-bağlı oksijenaz enziminin kodlanmasından sorumludur. Sıçanlarla yapılan çalışmalar bu genin hipotalamusta yemek yeme davranışlarını düzenleyen oreksijenik NPY'nin ekspresyonunu etkilediğini saptamıştır (37). Ayrıca, FTO'nun sirkadyan ritmi etkileyip metabolik hastalık ve obeziteye zemin hazırladığı başka bir çalışma ile tespit edilmiştir (38,39).

Günümüzde bu genlere sahip olmak dezavantajlı gibi görünüyorsa da, geçmişte bolluk mevsimlerini takip eden kıtlık zamanlarında fazladan depolanan vücut yağının yaşam şansını arttırması sonucu bireylere avantaj kazandırmıştır (11). Genler; bireylere normalden fazla yemek yeme dürtüsü, sedanter olmaya karakter olarak yatkınlaştırmak, diyetle tüketilen yağların enerji kaynağı olarak kullanılmasında azalma gibi özellikler getirerek obeziteye zemin oluşturlar (23).

2.1.3.2. Çevresel Faktörler

Fazla kilo ve obezite görülme sıklığının gelişmiş ülkelerdeki hızlı yükselişi, çoğu sağlık uygulayıcı ve araştırmacısı tarafından bireysel etmenlerden çok çevresel faktörlerin etkisine bağlanmıştır. ‘Obezogenik’ çevreler olarak nitelendirilen bu ortam, bireylerin hızlı yemek seçenekleri sunan yol üstü duraklarına ve daha çok sağlıksız yiyeceklerin sunulduğu alışveriş merkezlerine kolay ulaşımına izin verirken fiziksel aktivite yapmalarını sağlayacak fazla imkân sunmamaktadır. Bu çevrede yaşayan bireylerin diyetleri yüksek miktarda yağ ve şeker içeren, sebze ve meyvelerin aksine lif içermeyen gıdalar ve tatlandırıcı içecekler içerirken düzensiz öğün saatlerine sahiptirler. Bu faktörler iştah ve enerji alımını düzenleyen fizyolojik mekanizmaların kontrol etkinliğini azaltıp kilo alım sürecini hızlandırırlar (40).

Yaşanılan çevrenin inşaa yapı özellikleri, ulaşım olanakları, sahip olduğu eğlence veya dinlenme merkezleri sayısı, mutfak kültürü gibi özellikleri ve toplumun vücut şekli üzerine kültürel kabullerinin tamamı o ortamın obezite popülasyonunu etkiler (41).

2.1.3.3. Fiziksel Aktivite

Fiziksel aktivite, çocuk ve adolesanların normal büyümesi ve gelişimi için gerekli olup, bu dönemlerde fazla kilolu veya obez olmalarını önleyip obeziteye bağlı hastalıklara sahip olma risklerini azaltır (42). Erişkinlerde de fiziksel aktivite diyet ile birlikte obezitenin önlenmesinde önemli yer tutar (43). Fogelholm ve ark.’ları fiziksel aktivite ve obezite arasında önemli bağlantı olduğunu savunmuşlardır. İlki, fiziksel

aktivitenin günlük enerji tüketimini arttırarak ve iştahı baskılayarak kilo alımını önlemesidir. Sağlıklı olma durumu ise fiziksel aktivite ve obezite arasındaki ikinci önemli bağlantı olup kontrol edilemeyen kilo alımının bireyin aerobik kondisyonu azaltıp, kas iskelet sistemi ağrılarının artmasına ve fiziksel aktivitenin daha zor gerçekleştirilmesine neden olmaktadır. Diğer yandan düzenli sıklıkta yapılan **hafif şiddette fiziksel aktivite**, obeziteye bağlı kardiyovasküler hastalıklar, tip 2 diyabet ve bazı kanser türleri gibi hastalıkların ortaya çıkma riskini azaltmaktadır (44). Benzer şekilde, Leskinen ve ark.'larının 16 ikiz üzerinde gerçekleştirdiği çalışmada fiziksel aktivitesi ikizine göre daha az olan bireylerde visceral, karaciğer ve intramüsküler yağ depolanmasının artmış olduğu tespit edilmiştir (45).

Yapılan birçok çalışma fiziksel aktivitenin obezitenin önlenmesinin yanı sıra kilonun uzun süreli korunmasında da kritik bir rol oynadığını göstermiştir (46). International Association for the Study of Obesity ve American College of Sports Medicine gibi önemli sağlık kuruluşları kilo alımını önlemek için haftada toplamda 150-250 dakika orta şiddette fiziksel aktivitede bulunulması gerektiğini savunmuşlardır (47).

2.1.3.3.1. Obezitenin Yürüme Üzerine Etkisi

Yürüme, kolaylıkla uygulanabilmesi ve orta şiddette metabolik cevap oluşturmak için uygun bir aktivite olması nedeniyle obez erişkinlere önerilen bir fiziksel aktivite çeşididir (48). Ancak obezler genellikle normal kilodaki bireylere oranla daha zayıf kas gücüne sahiptirler (49). Bu bireylerde, bazı önemli yürüme kaslarının (vastus kasları ve gluteus medius) güçsüzlüğü ve spazma yatkın olmaları normalden farklı yürüme paterni neden olur (50). Buna ek olarak, yürüme hızının artmasıyla kas gücü ihtiyacının da artması, özellikle ilerlemeden sorumlu gastrokinemius ve soleus gibi bazı kasların etkin olarak rollerini gerçekleştirememesi yürüme bozukluğuna neden olur (51).

Her ne kadar bazı çalışmalar obez ve obez olmayan bireylerin yürüme kinematiklerinin benzer olduğunu iddia etse de, diğer çalışmalar obezlerin normal kilolu bireylere göre **daha fazla bacak ekstansiyonu yaparak** yürüdüklerine, basma fazında benzer diz ekstensör momentlerine sahip olduklarını ve özellikle yüksek hızlı yürümede

daha fazla adım genişliğine sahip olduklarını göstermiştir. Araştırmalarda kullanılan yürüme analizi yöntemlerinin çeşitliliği, söz konusu çalışmalar arasındaki farkların ortaya çıkmasına neden olmuştur (51). Ancak; daha yavaş tercih edilen yürüme hızına sahip olma, daha kısa adım uzunluğu ile yürüme, artmış çift basma fazı, yürüme sırasında daha az diz hareketi, daha büyük zemin tepki kuvvetlerine sahip olma gibi faktörlerle obez bireylerin yürümesi normal kilolu bireylerden farklılık gösterebilir (52).



2.2. Yürüme

2.2.1. Tanım

İnsanda normal yürüme ve koşma, iki ayağın dönüşümlü olarak kullanıldığı ve vücudun desteklenmesine ve ilerlemesine olanak sağlayan birer hareket metodu olarak tanımlanabilir. Bu tanım sadece yürüme için kullanılmak istenirse, tüm hareket boyunca en az bir ayağın yerle temas edecek şekilde ilerlenmesi, ifadesinin eklenmesi gerekir (53,54).

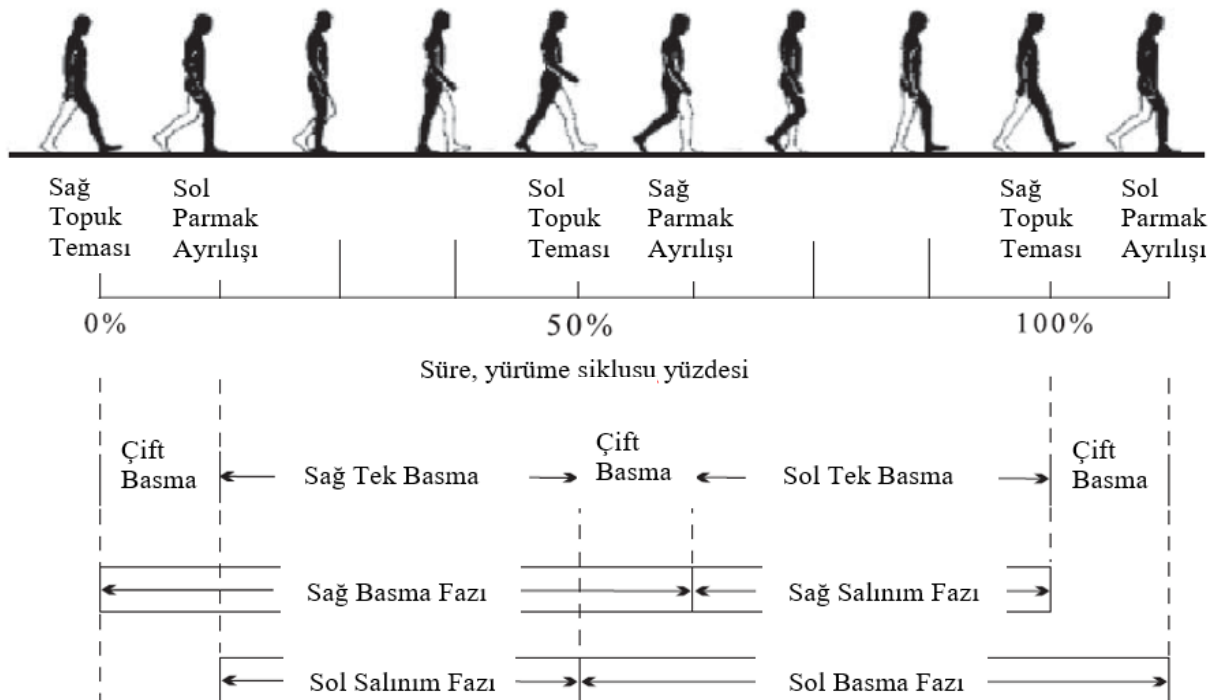
Yürümenin ritmik motor kalıbı, ekstremitelerde fleksör ve ekstansör kasların dönüşümlü olarak kasılıp gevşediği, kasılma şiddeti ve zamanlamalarının kusursuz olarak koordine edildiği bir yapıya sahiptir. Yürümenin ritmik ve basmakalıp bir yapıya sahip olması, yürümenin Merkezi Sinir Sistemi (MSS) tarafından nispeten düşük seviyede ve üst merkezlerin çok dahil olmadığı bir şekilde kontrol edilmesine neden olur. Ancak, yürüdüğümüz ortamın çoğunlukla önceden tahmin edilemez bir takım çevresel şartları barındırıyor olması, yürümenin sürekli olarak ince bir şekilde modifiye edilmesini gerektirir (55).

2.2.2. Yürüme Siklusu

Yürüme siklusu, yürümenin birbirini takip eden hareketlerinden birinin ilk kez ve ikinci kez gerçekleşme anları arasındaki zaman aralığı olarak tanımlanır. Çoğunlukla, yürüme sırasındaki ilk değme veya diğer adıyla topuk teması referans hareket olarak seçilmektedir. Örneğin, sağ ayağın topuk teması ile başlayan siklus (% 0), yine sağ ayağın topuk teması ile sona erer (% 100). Bu sırada, sol ayakta da aynı hareketler dizisi, yarım siklus süresi kadar bir zamanlama farkı ile gerçekleşir (53, 54).

Normal simetrik bir yürümede, topuk ayrılışı yaklaşık olarak siklusun % 60-62'lik anında meydana gelip, siklusu basma ve salınım fazı olmak üzere ikiye böler. Bir ayak için basma fazı, o ayağın yer ile temas halinde olduğu kısmı temsil eder. Bu evre, topuk teması ile başlayıp topuk ayrılışı ile sona erer ve yürüme siklusunun % 60'lık

kısmını oluşturur. Salınım fazı ise ayağın yer ile temas etmeyip ileri doğru hareket ettiği, topuk ayrılığı ile başlayıp topuk teması gerçekleşene kadar devam eden ve yürüme siklusunun % 40'lık kısmını oluşturan evredir. Bunlara ek olarak, basma fazının başında ve sonunda meydana gelen ve her iki ayağın da yer ile temas ettiği çift basma fazı adı verilen bir evre daha yer almaktadır. Bu fazda, bir ayak ileride ve yere yeni temas ediyorken, diğer ayak geride ve yerden ayrılmak üzeredir. İlerideki ayak vücut ağırlığının taşınmasına hazırlanırken, gerideki ayak vücut ağırlığından kurtuluyordur. İlk çift basma % 10 ve ikinci çift basma % 10 olmak üzere toplamda yürüme siklusunun yaklaşık % 20'lik kısmını teşkil eder. Ancak bu oran yürüme hızındaki değişikliklere bağlı olarak farklılık gösterebilir. Yürüme hızı arttıkça salınım fazı süresi uzarken, basma ve çift basma fazı süresi kısalır (57). Bunlara ek olarak, bir ayağın yürüme siklusunun diğer ayağın yürüme siklusunun % 50'lik anında başlaması, bir ayak salınımdayken diğerinin basma fazında devam etmesine neden olur (Şekil 2.1.) (53,54,56).



Şekil 2.1. Yürüme siklusunu ve evreleri (58)

Basma fazı; topuk teması, yüklenme, basma ortası, basma sonu ve salınım öncesi olmak üzere 5 alt evreye ayrılabilir. Salınım fazı ise sırasıyla; erken salınım, salınım ortası ve salınım sonu şeklinde 3 alt evre şeklinde incelenebilir. Bu alt evrelerde bir çok kasın aktiviteleri sonucu; vücudun üst kısmının, kalçanın, dizlerin, ayak bileklerinin ve ayağın farklı pozisyonları görülür (56).

2.2.3. Yürümenin Temporal ve Spasyal Parametreleri

Yürümenin zamana ve konuma bağlı olarak değişkenlik gösterebilen parametreleri yürümenin temporal ve spasyal parametrelerini oluşturur. Bunlardan çift adım uzunluğu, adım uzunluğu ve adım genişliği spasyal parametreler olurken, yürüme hızı ve kadans temporal parametreler olarak karşımıza çıkar (56).

2.2.3.1. Kadans

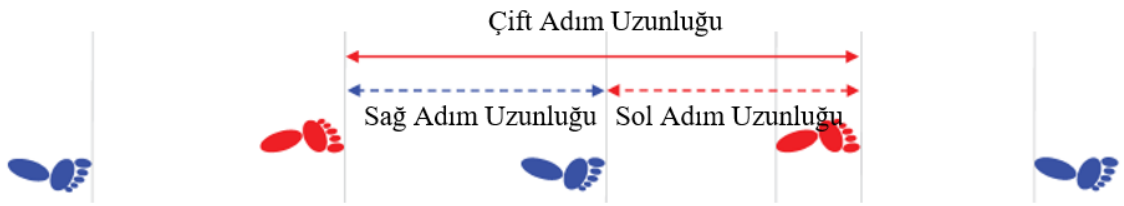
Bir dakika içerisinde atılan adım sayısına kadans denir. Bir yürüme siklusu boyunca sağ ve sol olmak üzere iki adımın olması, kadansın bir yarım siklus ölçümü olmasına neden olur. Bunun yerine çift adım sayısı, bir dakikada tamamlanan yürüme siklusu sayısını temsil eder. Günümüzde kadans parametresi yerini daha çok kadansla ters orantılı olarak değişen siklus süresine veya diğer adıyla çift adım süresine bırakmıştır. Yürüme siklusu süresi; $\text{siklus süresi (sn)} = 120 / \text{kadans sayısı (adım/dk)}$ formülü kullanılarak hesaplanabilir (53,54).

Kadans, alt ekstremitelerin uzunluğundan etkilenebilen bir parametre olup, bacak uzunluğu fazla olan bireylerde kadans sayısının azaldığı tespit edilmiştir. Kadınların ortalama boy uzunluğunun erkeklere oranla daha az olması, kadınlarda kadans sayısının genellikle erkeklerden daha fazla olmasına neden olur. Ayrıca, puberte öncesi çocuklarda kadınlardan da fazla olarak, dakikada 180 adıma kadar çıkan kadans değerleri görülebilir (59).

2.2.3.2. Adım Uzunluğu

Bir ayağın salınım fazı boyunca alabildiği mesafeye adım uzunluğu denir (53). Çift adım uzunluğu ise, aynı ayağın bir yürüme siklusu boyunca zemin üzerinde birbirini takip eden iki konumu arasındaki uzaklık farkını temsil eder. Çift adım uzunluğu, sağ ve sol adım uzunluğu olmak üzere iki adım uzunluğu mesafeye karşılık gelir (Şekil 2.2.) (53,54).

Çift adım uzunluğu hız ve yürüme siklusu süresi veya kadansın bilinmesi halinde indirekt olarak hesaplanabilir. Yürüme siklusu süresi ve hız biliniyorsa; çift adım uzunluğu (m) = hız (m/sn) x yürüme siklusu süresi (sn) veya kadans kullanılarak çift adım uzunluğu (m) = hız (m/sn) x 2 x 60 / kadans (adım/dk) formülleri kullanılarak hesaplanabilir (53).



Şekil 2.2. Simetrik bir yürümede adım ve çift adım uzunluğu (58)

2.2.3.3. Yürüme Hızı

Yürüme hızı, belli bir zaman aralığı içerisinde tüm vücudun kattettiği mesafeyi ifade eder. Skalar bir nicelik olup, çoğunlukla birim saniyede ilerlenen uzaklığın metre cinsinden ifade edilmesi (m/sn) ile belirtilir (53). Yürüme hızı, kadans ve çift adım uzunluğunun bilinmesi halinde; yürüme hızı (m/sn) = [kadays (adım/dk) x çift adım uzunluğu (m)] / 120 formülü kullanılarak hesaplanabilir. Yürüme hızının, kadans ve çift adım uzunluğu değişkenlerine bağlı olması, farklı kadans ve çift adım uzunluğu kombinasyonlarının kullanılıp hız değiştirilerek değişen çevre koşullarına adaptasyon sağlanır. Yürüme probleminin gerçekleştiği bir çok patolojide, tercih edilen yürüme hızının sürdürülebilmesi için çift adım uzunluğu azalırken kadans artar. Sağlıklı

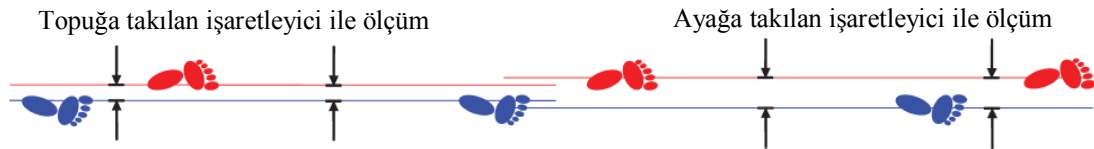
bireylerde her iki parametre de hızın artmasıyla birlikte artış gösterir. Kadans hızı bağı olarak lineer olarak artarken, adım uzunluğu logaritmik değişkenlik gösterir (54).

2.2.3.3.1. Tercih Edilen Yürüme Hızı (TEYH)

Bireyler yürüme sırasında olası bir çok değişik hızda yürümek yerine, oldukça dar bir aralıktaki yürüme hızlarında yürümeyi tercih ederler (60). Yapılan çalışmalarda, kararlı evrede devam eden bir yürümede, TEYH’de yürümenin, enerji tüketimini azalttığı saptanmıştır. Birey görsel, proprioseptif ve diğer geri bildirim mekanizmalarını kullanarak yürüdüğü hızı algılayabilirken, merkezi ve periferik kemoreseptörler ve grup 4 kas afferentleri sayesinde metabolik maliyeti de takip edebilir. Böylelikle, yürüme sırasındaki enerji sarfiyatı optimize edilmeye çalışılır (61,62).

2.2.3.4. Adım Genişliği

Adım genişliği, iki ayak için çoğunlukla topuğun arka orta noktasından geçtiği farzedilen çizgiler arasındaki mesafeyi temsil eder. Diğer bir ifadeyle, çift basma fazında topuklar arasındaki mediolateral uzaklığı belirtir. Adım uzunluğu genelde metre cinsinden ifade edilirken, adım genişliği için milimetre birimi tercih edilir. Sağlıklı bireylerde adım genişliğinin genelde pelvik genişlik mesafesinin yarısından daha az olduğu bilinir (Şekil 2.3.) (53,54,63).



Şekil 2.3. Topuğa takılan işaretleyici ve ayağa takılan işaretleyici ile adım genişliği (58)

2.2.4. Yürüme Siklusu Boyunca Vücut Bölümlerinin Hareketi

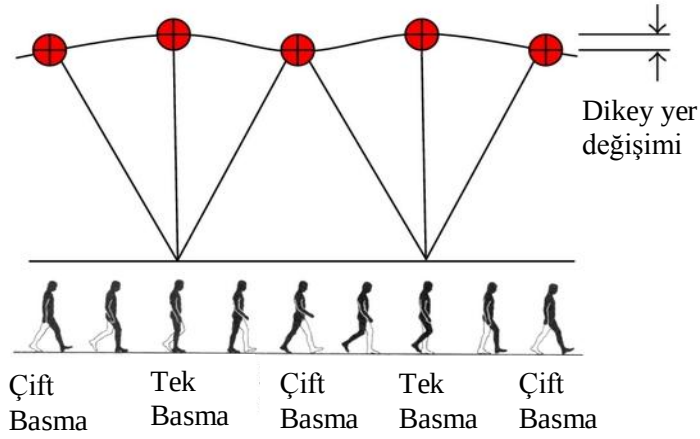
2.2.4.1. Üst Vücut

Üst vücut yürüme siklusunun tamamında ileriye doğru hareket eder. Yer değişiminin hızı çift basma fazında en hızlı olurken, basma ve salınım fazlarının ortalarında en azdır. Gövde dikey eksenin etrafında dönerken, omuz kuşağı pelvise zıt yönde döner. Yetişkin erkeklerin TEYH’de yürüdükleri bir çalışmada omuz kuşağı için toplam sapmanın 7°, pelvis için de 12° olduğu bulunmuştur (53,57).

Tüm gövde yürüme siklusu süresince toplamda yaklaşık 46 mm yer değişikliği olacak şekilde 2 kere aşağı ve yukarı hareket eder. Çift basma fazında en alt seviyeye inerken, basma ve salınım fazlarının ortasında en yüksektedir. Gövde aynı zamanda, bir yürüme siklusu boyunca birer kere olmak üzere sağa ve sola da hareket eder. Gövdenin bu yandan yana hareketi de yaklaşık 46 mm’lik bir yer değişimine karşılık gelir (64). Pelvis de tıpkı gövde gibi dikey ekseninde dönüp, bir yöne hafifçe eğilir ve öne arkaya (lumbar eğride meydana gelen değişiklik ile beraber) ve sağa sola hareket eder. Bu sırada, spinal kaslar özel olarak kasılıp kafanın pelvisten daha az hareket etmesi sağlanmaya çalışılır (65).

2.2.4.1.1. Vücut Kitle Merkezi (VKM)

Ayakta durma sırasında VKM yaklaşık olarak 2. sakral vertebra (S2) hizasında veya yerden boy uzunluğunun % 55’i kadar yükseklikte yerleşim gösterir. Yürüme sırasında ise vücut ters bir sarkaç gibi hareket edip, VKM her çift basma fazında alçalıp, her tek basma evresinde yükselir. Her yürüme siklusunda 2 çift basma ve 2 tek basma evresi olması nedeniyle, VKM salınım frekansı yürüme siklusu sayısının 2 katı kadardır (Şekil 2.4.) (54).



Şekil 2.4. Yürümenin ters sarkaç modeli (66)

VKM, ayrıca mediyolateral ve anteroposterior yönlerinde de salınımlar gösterir. Bir yürüme siklusu boyunca bir mediyolateral salınım gösterip ağırlığın aktarıldığı destek ayağının değişimini takip eder. Anteroposterior salınımında ise salınım yapan ayağın yönünde ileri doğru hareket ederken, tek basma evresinde arkadan gelen ayak yönüne geriye doğru hareket eder. VKM'nin anteroposterior ekseninde göreceli bu hareketi, mutlak hareketi ile karıştırılmamalıdır. Çünkü, VKM'nin anteroposterior eksenindeki mutlak hareketi her zaman ileri doğrudur (54).

2.2.4.2. Kalça

Kalça bir yürüme siklusu boyunca birer kere fleksiyona ve ekstansiyona uğrar. Salınım fazının ortasında fleksiyon limitine ulaşırken, topuk temasına kadar fleksiyonda kalır. Basma fazından hemen önce ise pik ekstansiyona ulaşır ve sonrasında tekrar fleksiyona geçer (53).

2.2.4.3. Diz

Diz bir yürüme siklusu boyunca 2 fleksiyon ve 2 ekstansiyon tepesine ulaşır. Topuk temasından önce tamamen uzanır, yüklenme ve basma ortası evrelerinde ise fleksiyona uğrar. Basma ortası fazının sonlarında tekrar uzanıp, sonrasında fleksiyona

uğrar ve erken salınım evresinde fleksiyon tepesine ulaşır. Bir sonraki topuk teması öncesi ise tekrar ektansiyona geçer (53).

2.2.4.4. Bilek ve Ayak

Bilek topuk temasında nötral pozisyonundayken, topuk teması sonrası planterfleksiyona uğrayıp, ayağın ön kısmının yere uzanabilmesini sağlar. Basma ortası evresinde, tibia ileriye doğru hareket ederken bilek dorsifleksiyona geçmiş olur. Diğer ayağın topuk temasından önce, bilek açısı yine değişir ve parmak ayrılışına kadar büyük bir plantarfleksiyon görülür. Salınım fazı süresince, ayağın ön kısmı yerden ayrılana kadar bilek tekrar dorsifleksiyona geçer ve bir sonraki topuk temasına kadar yaklaşık olarak nötral pozisyonunu korur (53).

Ayak ise topuk teması evresinde hafifçe supinasyonda olurken yer ile tam teması ile pronasyona geçip, ayak bileğinin plantarfleksiyondan dorsifleksiyona geçmesi ile tekrar supinasyona uğrar. Ayağın bu supinasyon hali topuğun havalanıp parmak ayrılışına kadar devam eder. Ufak derecede supinasyon ise salınım fazı boyunca sürdürülür (53).

2.2.5. Zemin ve Koşu Bandında Yürümenin Farkları

Yürüme analizi laboratuvarlarında veya rehabilitasyon merkezlerinde, bireylerin zeminden daha çok koşu bandında yürümelerinin incelenmesi oldukça yaygın bir metot haline gelmiştir. Daha küçük alanlarda ve daha az kamera ile analiz yapılabilme, güvenlik butonu ve korkuluklarının olması, denek veya hastanın kablolar ve solunum elemanlarına, vs. bağlıyken de çalışılabilme ve hızın araştırmacı tarafından kontrol edilebilmesi özellikleri ile koşu bandı birçok çalışmada zeminde yürümeye tercih edilmiştir. Ancak, koşu bandında yürüme ile zeminde yürüme arasında bazı küçük farklılıklar vardır. Bireyin koşu bandı kemerinin kısa olduğu düşüncesiyle adım uzunluğunu kısıp, daha yüksek kadans sayısı ile yürümesi en belirgin farklar olarak ortaya çıkmaktadır (67,68). Stolze ve ark.'ları tarafından yapılan çalışmada, koşu bandında kadansın zeminde yürümeye göre erişkinlerde %7 çocuklarda ise %10

artarken, basma fazının %5 kısaldığı belirtilmiştir (69). Daha az adım uzunluğunda yürüme ise, topuk temasında diz fleksiyonunun artmasına neden olur. Ancak bazı çalışmalar, koşu bandında yürümeye alıştıran bireyler arasında bu farkların ortadan kaybolabileceğini iddia etmiştir. Bu alışma sürecinde bireyin merkezi sinir sisteminin duysal asosiasyon alanları yürümenin moduna adapte olur (70).

Parvataneni ve ark.'ları zeminde ve koşu bandında yürümenin benzer olduğunu, ancak koşu bandında zeminde tercih edilen yürüme hızı ile yürüme sırasında harcanan enerjinin, zeminde yürüme sırasında tüketilen enerjiye göre daha fazla olduğunu iddia etmiştir (71). Benzer şekilde, Dal ve ark.'ları tarafından yapılan bir çalışmada, bireylerin zeminde ve koşu bandında tercih ettikleri yürüme hızları arasındaki fark anlamlı bulunmuştur. Ardından gerçekleştirdikleri enerji tüketimi ölçümlerine göre; koşu bandında zeminde belirlenen yürüme hızı ile yürüme sırasında tüketilen oksijen tüketimi, koşu bandında, koşu bandında belirlenen yürüme hızı ile yürüme sırasındakine göre farklı olduğu bulunmuştur (72).

2.3. Yürüme Analizi

Yürüme analizi, biyomekanik biliminin bir alt birimi olup yürümenin mekanik bir bakış açısıyla değerlendirilmesi esasına dayanır (73). Bu alanda yapılan çalışmalar genel olarak insan hareketleri ile ilgili olan verilerin sistematik bir şekilde ölçüldüğü, tanımlandığı ve değerlendirildiği deneyleri kapsar (74).

Yürüme analizi ile yürümenin fazları detaylıca incelenebilir, yürüme evrelerine ait kinetik ve kinematik parametreler saptanabilir; kas ve iskelet sistemi fonksiyonları nicel olarak değerlendirilebilir. Sağlık alanlarında tanı koyulması ve rehabilitasyon süreçleri sırasında yürüme analizinin kullanılması etkili bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (75). Ayrıca, bazı spor dallarında sporcunun performansının değerlendirilmesi ve limitlerinin belirlenip geliştirilmesi süreçlerinde de yürüme analizi kullanılabilir (76). Bunlara ek olarak biyomedikal mühendisliği alanında da yürüme analizi, insan hareket kalıbının detaylıca incelenebilip yapay ekstremiteler geliştirme ve robot tasarım projelerinde oldukça değerli bilgiler verebilmektedir (75).

2.3.1. Yürüme Analizi Tarihçesi

Yürüme, kuşkusuz ilk insanla birlikte gözlemlenmeye başlamış, ancak ilk sistematik çalışmalar Leonardo da Vinci, Galileo ve Newton gibi bilim adamlarının yürüme ile ilgili önemli tanımlamalar yapması ile Rönesans döneminde ortaya çıkmıştır. Özellikle, 1682 yılında Galileo'nun öğrencisi Borelli, *De Motu Animalum* isimli dergide vücut kütle merkezini ölçmeye çalışmış ve yürüme sırasında dengenin nasıl sürdürüldüğünü tanımlamıştır. Ardından; 1836 tarihinde ilk kez Almanya'da Weber kardeşler, yürüme siklusu tanımını ortaya atmışlardır. Bir kadavra ayağının sarkaç gibi salınım göstermesini sağlayarak, yürümenin zamanlaması ile ilgili doğru ölçümlerde bulunmuşlardır (53).

İlk kinematik ölçüm ise 1870 yılında Marey tarafından siyah giyinmiş ve ayağında yansıtıcı özellikte çizgiler bulunan bir deneğin, tek bir düzleme birçok fotografik pozunu aktararak bacak hareketlerini yorumlamasıyla gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda, vücut kütle merkezinin izlediği yolu ve ayakaltındaki basıncı araştırmaya çalışmıştır. Kısa bir süre sonra, 1878 yılında Eadward Muybridge 24

kamera ile bir atın koştuğu sırada 4 ayağının da yere değmediği anlar olduğunu fark etmiştir. Muybridge bu çalışmadan sonra; yşrşme, koşma ve birçok değişik aktivite sırasında kıyafetsiz insanlar ile başka çalışmalar yşrştmşştir (53,54).

19. yşzyılda yşrşmenin kinematik analizi çalışmalarındaki en önemli adım, 1895'te Almanya'nın *Der Gang des Menschen* dergisinde Braune ve Fischer'in yayını ile gelmiştir. Deneğin bacağında şerit şeklinde florasan ışık kaynakları kullanarak çekilen fotoğraflar ile vşcut bۆlřmlerinin hareket yۆrřngeleri, hızları ve ivmeleri ile ilgili tahminlerde bulunmuşlardır. Vşcut bۆlřmlerinin kştlelerini ve ivmelerini hesaplayarak yşrşme siklusu evrelerindeki tşm kuvvetleri yorumlamaya çalışmışlardır (53,54).

Kuvvet platformlarının 1924 yılında Amar tarafından ilk dizaynı ve 1938 yılında Elftman'in geliştirmesi ile ayakaltındaki yer tepki kuvvetlerinin yۆnř ve břyřklřđř ۆlřřlebilmiřtir. Bundan sonra, yaklaşık olarak 1940-1950'lerde Kaliforniya şniversitesi'ndeki bir grup araştırmacı elektromiyografi (EMG) tekniğini, yşrşme siklusunun farklı evreleri sırasında hangi kasların aktifleştiğini anlamak için kullanmıştır (53,54).

1953 yılında Saunders ve arkadaşları, vşcudun yşrşme sırasında enerji tşketimini minimize etmesindeki olası mekanizmaları açıklayan önemli bir makale yayınlamıştır. Enerji tşketimi ve yşrşme sırasında vşcut bۆlřmleri arasındaki enerji transferleri ile ilgili bir diğer çalışma ise, 1966'da Cavagna & Margaria tarafından gelmiştir. Bu tarihlerde çalışmalar daha çok yşrşme sırasında eklemlerde oluşan kuvvetleri araştırmak şzerine yoğunlaşmıştır. 1965 yılında Paul ilk kez yşrşme sırasındaki kalça eklemi kuvvetlerinin detaylı analizini gerçekleştirmiştir. Bu çalışmadan sonra; kalça, diz ve bileklerde kuvvet oluşumu ve iletimi ile ilgili birçok matematiksel modelleme çalışması yayınlanmıştır (53).

Bu tarihlerden sonra, kinematik ۆlřmlerde foto grafik teknikler yerine video kayıt yۆntemlerine geçilmesi, testlerin sonuçlanma sşresini gşnlerden dakikalara indirmiştir. Yşksek frekansta cevap verebilen gşvenilir kuvvet platformları, EMG sistemleri ve gşlş bilgisayarlar ile yşrşmenin iyi kalitede ve 3 boyutlu olarak kinetik ve kinematik anlamda değerlendirilebilmesini sağlanmıştır (53,54).

1960'larla birlikte yürüme analizi çalışmaları artık araştırma laboratuvarlarından çıkıp klinik birimlere girerek; daha çok yürüme farklılıkları, çocuklarda yürümenin gelişimi, yaşlılık ve çeşitli patolojilerde yürüme bozukluklarının araştırılması amaçlarıyla kullanılmaya başlanmıştır. Yürüme analizinin klinikte ilk uygulamaları serebral palsili çocukların kinetik ve kinematik ölçümlerinin yapılması ile gerçekleştirilmiştir. Bu çocuklardan, ortopedik operasyon veya dorsal rizotomi geçiren ve botulinum toksini enjekte edilen veya ortez kullananların yürümeleri araştırma konusu olmuştur (53,54).

2.3.2. Yürüme Analizi Yöntemleri

2.3.2.1. Kinematik Yürüme Analizi

Yürümenin; vücut bölümleri ve eklemlerin açıları, yer değişimleri, hızları ve ivmeleri cinsinden araştırılmaya çalışılması yürümenin kinematik analizi olarak değerlendirilir. Kinematik ölçümler 2 veya 3 boyutlu olarak gerçekleştirilebilir. 3 boyutlu kinematik ölçümler için iki veya daha fazla kamera gerekse de, **tek kamera ile bulunmuş çeşitli metotlarla sınırlı 3 boyutlu ölçümler yapılabilir (54).**

2.3.2.1.1. 2 Boyutlu Kinematik Yürüme Analizi

Tek kameralı sistemler ile, bir kalibrasyon nesnesinin de kayda dahil edilmesiyle bir deneğin yer değişimi ile ilgili yaklaşık ölçümler kaydedilebilir. Ancak, ölçümün tutarlılığı kameraya yakınlaşıp uzaklaşma ile son derece değişkenlik gösterir. Kamera denekten yeterli bir mesafeye yerleştirilerek ve odak uzaklığı uygun lensler kullanılarak bu problemler aşılabılır (53). Her ne kadar ilk önemli yürüme analizi çalışmalarında 2 boyutlu yöntemler kullanılmış olsa da, 2 boyutlu yürüme analizinin paralaks ve perspektif hataya yol açabileceğinden, günümüzde yerini 3 boyutlu yürüme analizi yöntemlerine bırakmıştır (54).

2.3.2.1.1.1. Paralaks Hata

Paralaks hata, kameranın optik ekseninden daha uzak olan kısımlarında görüntünün bozulması olarak tanımlanabilir. Örneğin; optik eksen uyluk merkezine yöneltilmiş bir kamera ile kayıt alındığında kalça ve diz hareketi için makul ölçümler alınabilirken ayak ve omuz hareketi için hatalı sonuçlar elde edilebilir (75). Kameranın optik eksenin hareketin merkezine odaklanması ve sadece istenen harekete lensin olabildiğince yakınlaştırılması ile bu sorun azaltılabilir (54).

2.3.2.1.1.2. Perspektif Hatası

Perspektif hatası, kalibre edilen düzlem dışında hareket eden nesnelerin gerçek ve görüntüdeki uzunluklarının farklarıdır. Nesnenin, kalibre edilen alandan uzaklığı arttıkça boyundaki küçülme hatası da artar. Yine, kamera denekten uzun bir mesafeye ve kalibre edilen düzleme dik olacak şekilde yerleştirilerek bu hata da azaltılabilir (54).

2.3.2.1.2. 3 Boyutlu Kinematik Yürüme Analizi

İki gözün birlikte 3 boyutlu binoküler görüş oluşturmaları gibi, 2 ya da daha fazla 2 boyutlu kamera görüntülerinin de birleştirilip 3 boyutlu hareketlerin analizi gerçekleştirilebilir. Bu yöntemde temel gereksinim, deneğin hareket edeceği hacmin sisteme tanıtılması, diğer bir ifadeyle kalibrasyon yapılmasıdır. İki ucunda aralarındaki mesafe bilinen 2 işaretleyici yer alan kalibrasyon çubuğu kameraların görüş alanında çevrilir. Bu hareketin ölçümleri, sistemde eş zamanlı birçok denklemin oluşmasına neden olur ve bu denklemlerin yazılım tarafından çözülmesi ile de her kameranın birbirlerine göre ve kalibrasyon yapılan hacme göre pozisyonlarına karar verilir. Bu işleminden sonra, kameraların hiç hareket etmediği kabul edilerek, en az 2 kamera ile bu hacimdeki herhangi bir noktanın 3 boyutlu yer değişimi takip edilebilir (54).

2.3.2.1.2.1. Optoelektronik Sistemler

Optoelektronik sistemlerin temel amacı vücut bölümlerinin eş zamanlı ve 3 boyutlu olarak konum ve oryantasyonlarını, vücuda takılan işaretleyicilerin hareket ettiği eğriler takip edilerek saptamaktır (76). Bunu yaparken vücut bölümleri deforme olmayan katı yapılar gibi kabul edilip, varsayımsal olarak tüm vücut küresel menteşelerle (eklemler) birbirine tutturulmuş çubuklar zinciriymiş gibi çalışılır (77). Normalde vücut bölümleri kemik ve yumuşak doku bölümlerinden oluşmuş olsa da, bu sistemde sadece kemikten oluştuğu kabul edilir (56).

Hareketin 3 boyutlu olarak yeniden oluşturulması, deriye takılan ve işaretleyici olarak adlandırılan optik kaynakların yardımı ile gerçekleştirilir. Hareket analizi işaretleyicileri ışığı geri yansıtan (pasif) ve ışık yayan (aktif) olmak üzere 2 çeşittir. Pasif işaretleyiciler, harici kızılötesi ışık kaynağından aldıkları ışınları çoklu kamera sistemine yansıtırlar (56). Aktif işaretleyiciler ise kendileri birer LED ışık kaynağı olup, her biri farklı mikro saniye frekanslarda titreşirler. Aralarındaki bu titreşim frekansı farkı, sensörlerin her işaretleyicinin konumunu tek tek ayırt etmesini sağlar (78). Her ne kadar pasif işaretleyici sistemleri, deneği birçok kablo ve batarya taşımaktan kurtarıp daha hafif yapıya sahip olsa da doğruluğu aktif işaretleyici sistemlerine ulaşamamaktadır (79). Çünkü aktif işaretleyici sistemlerinde, kayıt sırasında işaretleyici kamera görüş alanından bir an için bile çıksa, sistemin aradeğerleme ve optimizasyon algoritmaları sonucu işaretleyici otomatik olarak takip edilmeye devam edilir (80).

2.3.2.1.2.1.1. İşaretleyici Yerleşimi

Yürüme analizi sistemi, ışığı geri yansıtan özellikteki küresel işaretleyicileri görebilir ve ancak kürenin merkezinin pozisyonunu ölçebilir. Dolayısıyla tutarlı bir yürüme analizi için işaretleyicileri doğru yere yerleştirmek ve bunun için de bazı anatomik işaretleri, kemik çıkıntıları gibi, iyi bilmek son derece önemlidir. Buna ek olarak; işaretleyiciler her zaman denek ayaktayken takılmalı ve oturma veya uzanma sırasında takılan işaretleyicilerin ayağa kalkma ile birlikte deri ve yumuşak dokunun esnekliği nedeniyle hareket edeceği unutulmamalıdır. Ayrıca, işaretleyicilerin her zaman kıyafetler yerine direkt olarak deriye takılması tercih edilmelidir (76).

Temel olarak 2 farklı işaretleyici yerleşim metodu vardır. Bunlardan ilki, yukarıda bahsedildiği gibi direkt deri üstüne ve genellikle bir kemiğin özel anatomik işaretleri palpe edilerek yerleştirilmesi esasına dayanır. Diğer ise, en az 3 işaretleyicinin yer aldığı setlerin ekstremitelere ya direkt olarak ya da başka bir parça üstüne monte edilip parçanın bağlanması ile gerçekleştirilir (53).

Çeşitli laboratuvarlarından çıkmış; Modifiye Helen Hayes, Vaughan, Newington, Kadaba, Davis, Gage ve Vicon Clinical Manager gibi farklı işaretleyici yerleşimi standartları yürüme analizi çalışmaları için geliştirilmiştir (54).

2.3.2.2. Kinetik Yürüme Analizi

Vücut hareketleri, tıpkı mekanik sistemlerin hareketi gibi fizik kurallarına uygun şekilde ilerler. Yürümenin kinetik analizinde temel olarak, yürüme sırasında insan vücudunda etkin olan kuvvet ve momentler incelenir. Ayağa, üzerinde bulunduğu zemin tarafından uygulanan yer tepki kuvveti ise yürüme analizindeki en önemli kuvvettir (76). Ayakta durma sırasında yer tepkime kuvveti sabit, vücut ağırlığı vektörüne eşit ve ters yöndedir. Ancak normal yürüme sırasında, yürüme siklusunun fazları boyunca artıp azalarak “M şeklinde” bir grafik çizer (54).

2.3.2.2.1. Kuvvet Platformu

Kuvvet platformu, birey üzerinde yürüdüğü sırada yer tepki kuvvetini ölçmek için kullanılır. Genellikle yürüme analizi laboratuvarlarında kullanılan modelleri 100 mm yüksekliğinde olup, 400-600 mm ölçülerinde dikdörtgen ve yassı üst yüzeye sahiptir. Platformun içinde çok sayıda yer alan transdüserler ile yüzeyindeki oldukça küçük alanlara uygulanan kuvveti 3 eksenle ölçebilirler (53).

Kuvvet platformları ile çalışırken uygulanması gereken en önemli faktör, platformun deneğin yürüme yolu üzerinde gizlenmesidir. Eğer platformun yürüme yoluna gömülmesi mümkün değilse, yürüme yolu platform kadar yükseltilerek platform gizlenmeye çalışılır. Çünkü deneğin platformu belirgin derecede fark etmesi, yürürken üstünden atlamasına veya direkt ortasına basmaya çalışmasına neden olup normal

yürüme paterninin bozulmasına neden olabilir. Deneğin platformun uygun yerine basması tercih ediliyorsa, bireyin yürümeye başlangıç noktasını değiştirip daha çok sayıda yürüme denemesi yapılabilir (53,54).

2.3.2.3. Elektrogonyometre

Elektrogonyometre, bir eklem açısının sürekli ölçümünü gerçekleştirmek için kullanılan bir alettir. Ölçüm sonucu genellikle eklem açısının zamana bağlı olarak değişimini gösteren grafik olarak ifade edilir. Bazen birden çok eklem açısı, diz ve kalça eklemi gibi, aynı grafik üzerinde iki eğrinin birlikte çizilmesiyle “siklogram” şeklinde de gösterilebilir. Böylece hareket sırasında iki eklem birbiri ile ilişkisi daha net bir şekilde gözlenebilir (53).

2.3.2.3.1. Potansiyometre

Potansiyometreler (gerinim ölçer) değişken dirençler olup, merkez aksında meydana gelen herhangi bir dönme hareketini, elektriksel dirençte değişiklik meydana getirerek harici bir devre ile ölçülebilmesini sağlar. Aletin esas kısmı ekstremitenin bir segmentine sabitlenirken, aksı diğer bir segmente sabitlenerek eklem açısı değişiklikleri ölçülebilir. Her ne kadar tüm eklemler için kullanılabilirmiş gibi görünse de, bilek ve kalça eklemi yerine daha çok diz eklemi için kullanılmaktadır. Sabitleme işlemi ise ilgili eklem alt ve üstüne potansiyometrenin manşonlarla tutturulmasıyla gerçekleştirilir (53,54).

2.3.2.3.2. Esnek Gerinim Ölçer

Esnek gerinim ölçer 2 ayrı vücut bölümünün birbirlerine göre olan rotasyonel açılarını ölçebilecek bir cihazdır. İki ucu yassılaştırılmış metal bir çubuk içeren bu aletin yassı uçları ilgili eklem alt ve üstüne sabitlenir. Eklem hareket ettiği sırada metal çubuğun bükülmesi cihazın gerinim ölçerleri tarafından algılanır (81).

2.3.2.4 Pedobarografi

Ayakaltı basıncının ölçümü özellikle diyabetik nöropati veya romatid artirit gibi ayakaltı basıncını arttıran hastalıklarda son derece değerli olmaktadır. **Pedobarografi ise, kenardan aydınlatılan cam bir düzlem** ve üstünde elastik bir mattan oluşmaktadır. Denek matın üzerinde yürüdüğünde elastik mat, camın üstünde sıkışır ve basıncın arttığı noktalarda cam yansıtıcılığını kaybedip koyulaşır. Bu koyulaşma miktarının değerlendirilmesi ayakaltı basıncının kantitatif olarak ölçülebilmesini sağlar. Cam düzlemin altındaki kamera tek renkli görüntüye sahte renk verip, farklı renklerin ayakaltı farklı basınç seviyelerini temsil etmesine neden olur (53).

2.3.2.5. Elektromiyografi

Elektromiyografi (EMG) kasılan kasın elektriksel aktivitesini, diğer bir ifadeyle kas aksiyon potansiyelinin ölçülmesi işlemidir. EMG; yüzey, ince kablo ve iğne elektrot olmak üzere 3 farklı şekilde gerçekleştirilebilir. Yüzey elektrot yönteminde elektrotlar ilgili kasın üstündeki cilde yapıştırılıp, iki elektrot arasındaki voltaj farkı EMG olarak kaydedilir. Bu yöntemde, çoğunlukla kasın yakın bir bölgesine veya vücudun başka bir yerine toprak elektrot da yerleştirilir. Kas aksiyon potansiyeli elektrota ulaşana kadar, fasya, yağ, deri gibi birçok seviyeyi geçerek geldiğinden sinyal oldukça küçülür. Dolayısıyla sinyal elektrota yaklaşırken çok küçük pre-amplifikatörler kullanılarak büyütülür. Ayrıca, yüzey elektrotları ile kaydedilen EMG aktivitesi, en yüzeydeki birçok motor ünitenin aksiyon potansiyellerinin toplamıdır (53,54).

Bunun aksine, **ince kablo elektrotlar** deri altı bir iğne kullanılarak direkt olarak ilgili kasın içine yerleştirilir. İnce kablo elektrot ile EMG kaydı, son derece rahatsız ve hatta bazı koşullarda acı verici bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Kaydedilen voltaj, yüzey elektrotlar ile kaydedilenden daha büyük olup, eğer çok sayıda kablo elektrot ile kayıt alınırsa, hareketten kaynaklanan etki ve elektromanyetik gürültü de azaltılmış olur. Sinyal ilgili kasın çok küçük bir bölgesinden, genellikle birkaç motor ünite kadar bir alandan kaydedilir (53,54).

İğne elektrotlar ile EMG kaydının ise, yürüme analizinden daha çok fizyolojik araştırma amaçlı kullanımı yaygındır. İçinde yalıtılmış merkezi bir kondüktör bulunan

deri altı iğne kullanılır. Bu yöntem ile neredeyse tek bir motor ünite düzeyinde EMG kaydı alınabilmektedir (53,54).

2.3.2.6. Akselerometre

Akselerometre hassas olduğu eksenindeki ivmelenmeyi ölçebilen hareketsiz bir sensör çeşididir. Tüm akselerometrelerin genel çalışma prensibi, mekanik bir süspansiyon sistemine bağlı ve tüm fiziksel özellikleri bilinen bir nesnenin referans noktasına göre hareketinin değerlendirilmesi esasına dayanır. Bu nesnenin gerek yer çekimi ivmesi ve/veya akselerometrenin üzerinde bulunduğu hareket eden bireyin ivmesi ile referans alanına göre olan yer değişimi, birim zaman içinde değerlendirilerek ivme ölçümü gerçekleştirilmiş olur. Özellikle basınca dirençli ve kapasitif tipte akselerometreler yürüme analizi ölçümleri için uygun yapıya sahiptirler (81). Bu akselerometreleri ayak veya bacağı takarak yürüme sırasında ayak veya bacağın hız ve ivmeleri ölçülebilir (82).

2.3.2.7. Jiroskop

Jiroskop yürüme sırasında rotasyon yapan vücut bölümlerinin açısal hızını ölçebilen bir cihazdır. Çalışma prensibi temel olarak, dönen bir referans alanın içindeki rotasyonun açısal hızı ile doğru orantılı olarak artan bir kuvvet olan Koriyolis kuvvetinin ölçülmesi esasına dayanır (74). Ayak veya bacağı takılan bir jiroskop ile ayak ve bacakların yürüme siklusu evrelerindeki değişen açı değerleri ve açısal hızları tespit edilebilir (83).

2.3.2.8. Elektromanyetik İzleme Sistemi

Elektromanyetik izleme sistemi, Faraday'ın manyetik indüksiyon modeli esasına dayanan bir çeşit 3 boyutlu ölçüm yöntemidir. Kontrollü manyetik bir alanda hareket eden ve üzerinde sensör özellikli bobin taşıyan hareketlinin, hareketine bağlı olarak bobinlerde indüklenen voltaj değişir. Hareketlinin, bu manyetik alanı oluşturan vericiye karşı pozisyon ve oryantasyonu hesaplanabilir (84).

2.3.2.9. Sensör Kumaşlar

Sensör kumaşlar, sensör ve kumaş teknolojilerinin birlikte geliştirdiği; sensörlerin normal tekstil malzemesi yüzeyine yapıştırıldığı, sensör özellikte ipliklerle birlikte örülen kumaşlar veya tekstil malzemesi ile yapılan elektronik parçalara kadar değişik şekillerde kullanıma sunulmuştur. Diğer sensörlü yürüme analizi sistemlerine kıyasla bu sistem, bireyin postür ve hareketinin değerlendirilmesinde daha konforlu bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (85).

2.3.2.10. Enerji Tüketimi Ölçümleri

Bir aktivite sırasındaki kullanılan toplam enerji miktarının ölçülmesinin en doğru yolu tüm vücut kalorimetrisidir. Bu teknikte denek, yalıtımı sağlanmış bir odada tutulur ve vücudundan uzaklaşan ısı kaydedilir (direkt kalorimetre yöntemi). Her ne kadar kaydedilen ölçümler gerçeğe çok yakın olsa da, uygulaması pahalı bir yöntem olup ileri derecede teknik uzmanlık gerektirir. Bunun yerine enerji tüketimi ölçümünde daha sık kullanılan yöntem bireyin oksijen tüketiminin değerlendirilmesidir. Bunun yanı sıra mekanik hesaplamalar ve kalp ritminin ölçülmesi gibi daha indirekt yöntemlerle de enerji tüketimi hesaplanabilir (53).

2.3.2.10.1. İndirekt Kalorimetre Yöntemi ile Oksijen Tüketimi Ölçümü

Oksijen tüketimi ölçümü, deneğin ekspire ettiği havanın analiz edilmesini gerektirir. Eğer ekspire edilen havanın hacmi ve içeriğindeki oksijen miktarı biliniyorsa, birim zamanda tüketilen oksijen miktarı da belirlenebilir. Ayrıca üretilen karbondioksit de ölçülüp oksijen tüketimine oranlanarak ‘solunum katsayısı’ da belirlenebilir. Solunum katsayısına bakılarak bireyin o sırada kullandığı enerji metabolizması ve egzersiz şiddeti hakkında fikir sahibi olunabilir (86).

Oksijen tüketimi ve karbondioksit üretimi ölçümü klasik olarak, bireye bir burun mandalı ve ağızlık takıp büyük plastik veya kauçuk kumaştan yapılmış Douglas torbası veya balon ile tüm ekspire ettiği havanın toplanması şeklinde gerçekleştirilir. Daha sonrasında, torbanın içindeki az miktardaki gaz örneği analiz edilip, sonuç tüm balonun

hacmi ile oranlanarak bulunur. Ancak bu metot uygulananlar için rahatsız edici bir yöntem olmakla kalmayıp, bazı hasta grupları için çok uygun bir metot değildir. Bunun yerine, yine burun mandalı ve ağızlığın kullanıldığı ve sürekli gaz örneklemesi ve hacim ölçümü yapabilen taşınabilir sistemler daha sıklıkla kullanılmaktadır. Hatta ağızlık ve burun mandalının yerine de **özel yüz maskeleri** tercih edilmektedir (53, 87).

Bu sistemde 1lt O₂ tüketiminin 3,9 kkal ve 1lt CO₂ üretiminin 1,1 kkal enerji ortaya çıkardığı kabul edilir. Sonrasında Weir eşitliği kullanılarak enerji tüketimi hesaplanır. Ayrıca indirekt kalorimetri ölçümünün yapıldığı gün, deneğin 24 saat idrarı da toplanırsa, proteinlerin tamamlanmamış oksidasyonu da dikkate alınmış olup tam Weir eşitliği kullanılarak İET hesaplanabilir (88,89).

Tam Weir eşitliği: $\dot{I}ET = [3,9 (VO_2) + 1,1 (VCO_2)] \times 1,44 - 2,17$ (İdrardaki azot miktarı)

Ancak 24 saat idrar toplanmasının çok kolay bir yöntem olmaması ve tam Weir eşitliği ile % 2'lik bir fark göstermesinden dolayı, düzeltilmiş Weir eşitliği ile İET ölçümü birçok araştırmacı tarafından tercih edilmiştir (88).

Düzeltilmiş Weir eşitliği: $\dot{I}ET = [3,9 (VO_2) + 1,1 (VCO_2)] \times 1,44$ (89).

İET ifadesi çoğunlukla bazal enerji tüketimi ile değişmeli olarak kullanılır. Bazal enerji tüketimi 12'den 18 saate kadar süren açlıktan ve tam bir dinlenmeden sonra kaydedilen minimum ısı üretimidir. Bazal enerji tüketiminin doğru ölçümü birey uyku sırasında ve yatar pozisyondayken termonötral bir odada gerçekleştirilir. İET ise, bazal enerji tüketimini kapsayıp buna ek olarak uyanık olmanın gerektirdiği enerji tüketimini ve yiyeceklerin termik etkisini de içerir. Dolayısıyla İET genellikle bazal enerji tüketiminden % 10 daha fazla ölçülür (88).

2.3.2.10.1.1. Kapalı Devre İndirekt Kalorimetre Sistemleri

Bu sistemlerde testin uygulandığı kişi % 100 O₂ ile dolu bir tüpten nefes alır. Sonrasında, birim zamanda tüpteki azalan O₂ hacmi göz önünde bulundurularak VO₂ hesaplanır. Denek sadece spirometrinin içindeki havayı soluyabildiği için, sistem kapalı

devre olarak adlandırılır. Sistemin içinde yer alan bir potasyum hidroksit içeren metal kutu, ekspirasyon havasındaki karbondioksiti absorbe eder (87).

Kapalı devre indirekt kalorimetri sistemlerinde solunum rezistansı ve solunum işi artarken inspirasyon süresi uzar. Ayrıca kapalı devre sistemleri, akciğer hacimlerindeki herhangi bir değişikliğe ve sistemdeki en ufak bir sızıntıya son derece hassastır. O_2 tüketiminin birim zamanda hacim azalması şeklinde hesaplanmasından dolayı herhangi bir kaçak VO_2 'nin yanlış hesaplanmasına neden olur (88).

Kapalı devre indirekt kalorimetri yönteminin, egzersiz sırasında enerji tüketimi ölçümlerinde kullanılması da çok elverişli bir metot değildir. Bireyin egzersiz sırasında daha geniş hacimlerde nefes almasına direnç gösteren kapalı devre sistemi, artmış karbondioksit üretimini uzaklaştırmada da geri kalır. Dolayısıyla, araştırma laboratuvarlarında kapalı devre indirekt kalorimetri yönteminden daha çok açık devre sistemler tercih edilmektedir (87).

2.3.2.10.1.2. Açık Devre İndirekt Kalorimetre Sistemleri

Bu metotta sisteme giren O_2 'den ziyade % 20,93 O_2 , % 0,03 CO_2 , ve % 79,04 N_2 içeren dış ortam havasıdır. Birey oda havasını veya mekanik bir vantilatörden sağlanan havayı inspire edip, ekspire ettiği hava gaz örnekleme sistemine gider. Gaz örnekleme sistemine ulaşan hava analiz edildikten sonra tekrar oda havasına bırakılır. Daha sonra, inspire ve ekspire edilen gaz konsantrasyonları ve dakika ventilasyon VO_2 'nin hesaplanması için kullanılır (87, 88).

3. GEREÇ VE YÖNTEMLER

3.1. Çalışma Grupları

Bu çalışma Mersin Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu 2016/10 sayılı Kurul Kararı alındıktan sonra Mersin Üniversitesi Fizyoloji Anabilim Dalı'nda Egzersiz ve Yürüme Analizi Laboratuvar'ında Şubat-Nisan 2016 tarihleri arasında gerçekleştirildi. Çalışmamızda normal kiloya sahip ve obez bireyler olmak üzere iki grup yer almıştır. Gruplar VKİ değerleri 18,5-24,9 kg/m² arası olan bireyler normal grup, 30 ve üstü bireyler obez grup olmak şeklinde tasarlanmıştır. Tüm katılımcılar yaşları 18-30 yıl arasında değişen erkek bireylerden oluşmakta olup normal grupta 14 ve obez grupta 13 kişi olmak üzere toplamda 27 kişinin katılımıyla çalışma gerçekleştirilmiştir. Gruplardaki özne sayısı, Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyoistatistik ve Tıbbi Bilişim Anabilim Dalı'nın, Wilkin ve ark.'larının yaptığı çalışmada kaydedilen yürüme enerji tüketimi değerlerinden faydalananarak gerçekleştirdiği power analiz sonucu elde edilmiştir (90).

Çalışmaya katılan tüm bireylere söz konusu ölçümlere başlamadan önce aynı araştırmacı tarafından çalışmanın amacı, testler sırasında uygulanacak protokoller ve süreleri, kullanılan materyallerin fonksiyonları hakkında kısa bilgiler ve karşılaşılabilecek sorunlardan bahsedilip yazılı onam alınmıştır. Sonrasında, bireylerin test sırasında yapacakları fiziksel aktivitelere hazır olup olmadıklarının anlaşılabileceği PAR-Q anketi uygulanmıştır (91). Bireylerin çalışmaya dâhil edilme ve dışlanma kriterleri aşağıda sıralanmıştır:

Dâhil edilme kriterleri:

- 18-30 yaş arası desteksiz olarak yürüyebilen erkek birey olmak
- Kontrol grubu bireyler için VKİ değeri 18,5-24,9 kg/m² arası olması
- Obez bireyler için VKİ değeri 30 kg/m² ve üstü olması
- Anketleri tamamlayabilecek, testlere koopere olmayı sağlayacak kognitif yeterliliğe sahip olmak

Dışlanma kriterleri:

- Aktif enfeksiyon, otoimmün, veya herhangi bir metabolik hastalığı olması
- Nöromusküler hastalık hikayesi olan bireyler
- Kas iskelet sistemi bozukluklarının olması
- Ekstremité sakatlıkları olan bireyler
- Ortopedik cerrahi geçirilmiş olması
- Son 6 ay boyunca kilonun yaklaşık olarak sabit olması
- Enerji tüketimini etkileyebilecek ilaçların kullanılması
- Yürümeyi engelleyecek düzeyde görme probleminin olması
- Kardiyopulmoner yetersizlik veya ciddi solunum problemi olan bireyler
- Testleri tamamlayabilecek kadar süre ve yoğunlukta fiziksel aktivite yapabilme yetkinliği

Testler sırasında, bireyin adı soyadı, yaşı, iletişim bilgileri ve boy, kilo, VKİ gibi vücut ölçümlerinin yazılabileceği, baskın el ve ayak, meslek, sigara kullanımı gibi bilgilerin sorgulandığı, nabız ve kan basıncının belirtildiği, bireyin tercih ettiği yürüme hızı tespitinde parkuru yürüme sürelerinin not edilebileceği ve tüm test protokollerinin sıralandığı ve katılımcı takibini kolaylaştıran bir takip formu kullanıldı.

3.2. Antropometrik Ölçümler

Araştırmaya katılan bireylerin ayakkabısız olarak boyları stadiometre yardımıyla ölçüldü. Vücut kompozisyonları ise biyoelektrik empedans yöntemi (Tanita BC-418 MA, Tanita Corporation, Tokyo, Japan) ile belirlendi. Böylece bireylerin ağırlıklarının yağ yüzdesi de belirlenmiş olup obez bireyler için yağ yüzdesinin %25'in üstünde olmasına dikkat edildi (4). Sonrasında, bireylerin vücut ağırlıklarının, boy uzunluklarının karesine bölünmesi metoduyla VKİ değerleri hesaplandı (kg/m^2).

3.3. Tercih Edilen Yürüme Hızı Tespiti

Bireylerin yürüme enerji tüketimi ölçümleri için öncelikle tercih ettikleri yürüme hızları belirlendi. Bunun için bireylerden 14 metrelik yürüme parkurunda normal yürüme hızlarında yürümeleri istendi. Parkurun 2. ve 12. metrelerinde bulunan kızılötesi sensörler yardımıyla 10 metreyi yürüme süreleri belirlendi (Sport Expert Professional Sport Technologies, Ankara, Türkiye). Bu işlem 3 kez tekrarlanarak bu 3 sürenin ortalaması alındı. Daha sonra bu hız koşu bandında kullanılmak üzere m/sn biriminden km/sa birimine çevrildi. Bu hızların %30 fazlası ve %30 azı hesaplanarak yürüme enerji tüketimi ölçümü protokollerinde kullanılmak üzere kaydedildi (92,93).

Bazı bireylerin yukarıdaki yöntemle belirlenen tercih ettikleri yürüme hızını koşu bandına geçtiklerinde çok hızlı bulmaları ve bu hızın % 30 fazla hızıyla yürüyecekleri protokolden endişe etmeleri sonucu bu bireylerin koşu bandı üzerinde ikinci bir yöntemle tercih ettikleri yürüme hızı belirlenmiştir. Bu yöntemde bireyler koşu bandına alıştırma sürecinin ardından önceki yöntemle belirlenen tercih ettikleri yürüme hızına ve bu hızın üstüne yavaş yavaş çıkarıldı. Bu sırada bireylerin etkilenmemesi için koşu bandının hız göstergesini görmeleri engellenir ve bireylere normal yürüme hızında yürüdüklerini düşündükleri sırada belirtilmesi istendi. Önce düşük hızlardan yüksek hızlara doğru çıkıldı, ardından yüksek hızlardan düşük hızlara inildi. Bu sırada bireyin belirttiği iki yürüme hızının ortalaması bireyin koşu bandında tercih ettiği yürüme hızı olarak belirlendi (94).

3.4. Enerji Tüketimi Ölçümleri

Bireylerin enerji tüketim ölçümü protokolleri Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı Yürüme Analizi ve Egzersiz Laboratuvarında gerçekleştirildi. Çalışma sırasında bireylerin istirahat ve yürüme enerji tüketim ölçümleri için indirekt kalorimetri (Vmax Spectra 29c, Yorba Linda, CA, USA) yöntemi kullanıldı. Sistemin akım sensörü, üretici firmanın önerileri doğrultusunda 3 litrelik bir kalibrasyon şırıngası yardımı ile her ölçüm öncesi kalibre edildi. Sonrasında, sistemin gaz kalibrasyonu biri % 4 CO₂, % 16 O₂, ve denge N₂, diğeri % 26 O₂ ve denge N₂ gazlarını içeren iki adet gaz karışımı tüpünün yardımıyla gerçekleştirildi. Kalibrasyon sırasında ortam nemi,

sıcaklığı ve atmosferik basıncı sisteme girilip kayıt defterine de not edildi. Laboratuvar sıcaklığının 22-24° aralığında olması, ve ortam neminin de %50'yi geçmemesine dikkat edildi. Bireylerin tüm enerji tüketim ölçümü protokollerinde inspire ve ekspire ettikleri havanın her nefeste indirekt kalorimetri ile örneklenbilmesi için özel bir yüz maskesi takmaları istendi (Hans Rudolph, USA).

İstirahat enerji tüketimi (İET) ölçümü öncesi bireylere maskeleri takılıp sedyeye uzanmaları istendi ve bireylerin maskeye alışmaları için yaklaşık 5 dakika beklendi. Ardından kayda başlamadan bireylere test sırasında gözlerini kapatmaları ancak uyumamaları, hareket etmemeleri, konuşmamaları, durumlarını bizlere el işaretleri ile anlatmaları istenip, normal bir şekilde soluk alıp vermeleri konusunda uyarıda bulunuldu. Sonrasında, bazal metabolizma ölçümü için hazırlanan odada bireylerin bu pozisyonunda 15 dakika İET kaydı alındı (95).

Yürüme protokollerine başlamadan önce bireylerin koşu bandı (Viasys Health Care, LE 200, OH, USA) tecrübesi sorgulandı. Çalışmaya katılan tüm bireyler yaklaşık 10 dakika tercih edilen yürüme hızları ve bu hızın %30 fazla ve az hızlarında koşu bandında yürümeye alıştırıldı (96). Alıştırma sonrası ve yürüme protokolleri arasında bireylerin 5 dakikadan az olmamak üzere bazal kalp atım hızlarının $\pm$ %5 seviyesine ulaşana kadar dinlenmeleri beklendi. Ardından, bireylerden öncelikle tercih edilen yürüme hızlarının %30 azında, tercih edilen yürüme hızlarında ve en son tercih edilen yürüme hızlarının %30 fazlasında 7'er dakika yürümeleri istendi (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Maske ile enerji tüketimi kaydı

3.4.1. Ham Verinin İşlenmesi

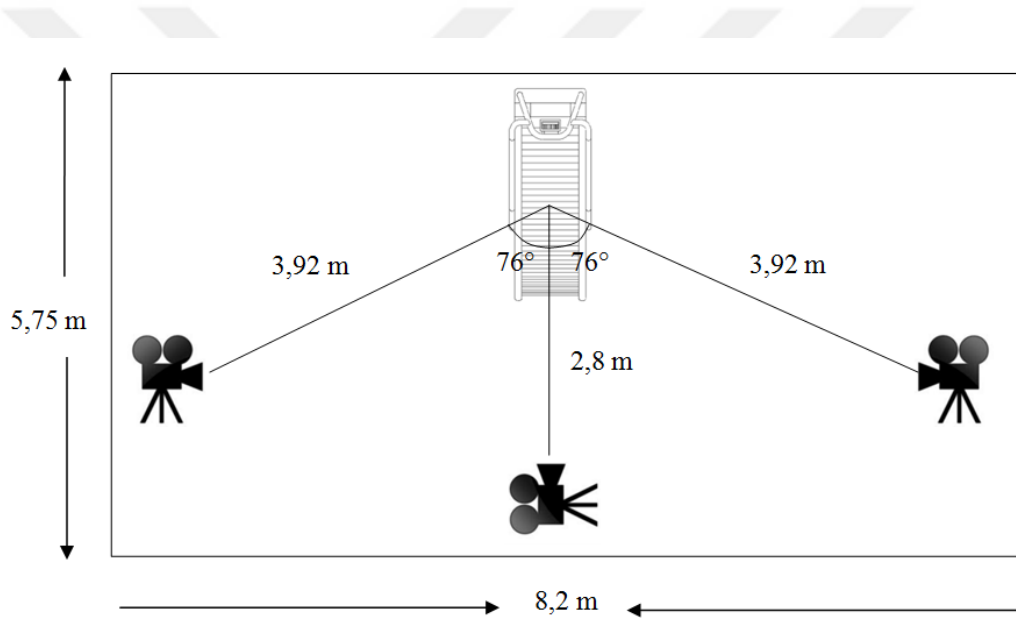
Bireylerin istirahat ve yürüme enerji tüketimi kayıtlarında günlük enerji tüketimleri (kcal/gün), dakikada tüketilen O_2 miktarı VO_2 (l/dk), dakikada üretilen CO_2 miktarı VCO_2 (l/dk), ve solunumsal değişim oranı (RQ) parametreleri değerlendirmeye alınmıştır. İET kaydının ilk 5 dakikasının verileri alışma süreci olarak nitelendirilip değerlendirme dışı bırakılmıştır (97). Yürüme enerji tüketimi kayıtlarının ise 7 dakikalık yürüme protokollerinin kararlı seviyeye ulaşılan son 2 dakika verileri değerlendirmeye alınmıştır. Kayıt sırasında egzersiz yoğunluğunun takibi için RQ değeri dikkate alınmıştır. Verilerin ortalamaları alınmadan önce 10 saniyelik aralıklarla **averajlama** işlemi yapılmıştır (98).

İstirahat sırasında tüketilen enerji ölçümü yazılım tarafından kısaltılmış Weir eşitliği kullanılarak hesaplandı. (99,100).

3.5. Yürüme Analizi

3.5.1. Yürüme Analizi Sistemi

Bireylerin 3 boyutlu yürüme analizi protokolleri Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı Yürüme Analizi ve Egzersiz Laboratuvarında gerçekleştirildi. Laboratuvarın yürüme analizi yapılan bölümü 8,20 m x 5,75 m ölçülerinde olup koşu bandı ve kameraların yerleşimi Şekil 3.2’de gösterildiği gibidir. Kameralar yerden 0,9 m yüksekliğe yerleştirilmiştir.

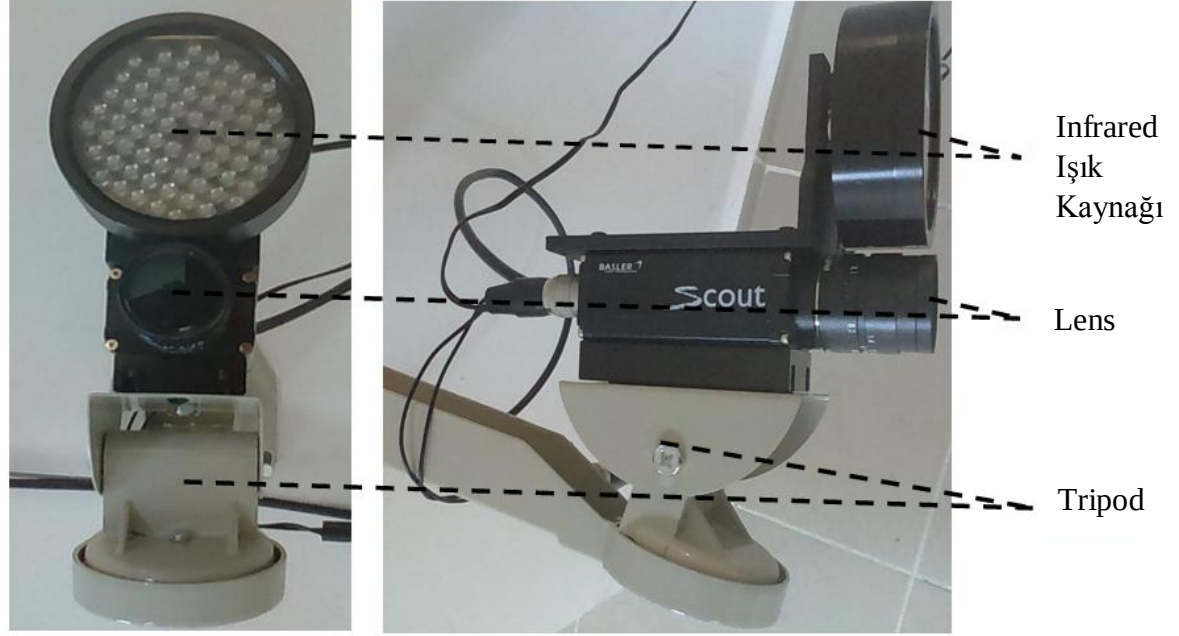


Şekil 3.2. Yürüme Analizi Laboratuvarı Kamera Yerleşim Şeması

3.5.2. Yürüme Analizi Sistemi Donanımı

Bireylerin 3 boyutlu yürüme analizi protokolleri laboratuvarımızda 3 adet yüksek hızlı CCD (charge-coupled device:yük-bağlaşık aygıt) kamera (scA640-120gm GigE, BASLER Vision Technologies, Germany) ile gerçekleştirildi (Şekil 3.3). 3 kamera birbirine senkronizasyon kabloları ile bağlıyken, sistem bilgisayarına bağlantı ethernet kablolarıyla sağlandı. Kameralar saniyede 122 kare kayıt hızına sahipken lens olarak 8 mm endüstriyel lensler (Kowa, Japan) tercih edildi. Kameraların üstüne infrared ışık

kaynağı sabitlenip bireye yapıştırılan yansıtıcı özellikteki özel işaretleyicilerden yansıyan ışık, kameraların infrared geçiren filtresi ile tespit edilebildi.



Şekil 3.3. Yürüme Analizi Kamerası

Yürüme analizi protokollerimiz boyunca kullanılan işaretleyicilerin çapları 20 mm olup plastik malzeme üstüne yansıtıcı özellikteki bir bandın sarılmasıyla elde edilmişlerdir (Şekil 3.4.). İşaretleyicilerin tabanında yer alan siyah daire ise işaretleyicinin bireye flaster bant yardımı ile kolaylıkla çıkarılabilir bir şekilde yapıştırılması için kullanılır.



Şekil 3.4. Farklı boyutlarda işaretleyiciler

Yürüme analizi kayıtlarına başlamadan önce kalibrasyon yapılabilmesi için kalibrasyon çubuğu ve kalibrasyon aparatı kullanıldı. Kalibrasyon çubuğu T şeklinde olup çubuğun iki ucunda birbirinden 509 mm uzaklıkta iki adet işaretleyici yer almaktaydı (Şekil 3.5.). Kalibrasyon aparatı ise L şeklinde olup 3 köşesinde birer işaretleyici ve uzun kolun üstünde de bir işaretleyici daha olmak üzere toplam 4 adet işaretleyici taşıyordu (Şekil 3.5.). Kalibrasyon aparatının kısa kolu 552 mm olurken, uzun kolu 752 mm'ydi. Uzun kolun üstünde yer alan işaretleyici kısa kola 200 mm uzaklıktayken, kolun sonuna 552 mm uzaklıktaydı.



Şekil 3.5. Kalibrasyon aparatları

3.5.3. Yürüme Analizi Sistemi Yazılımları

MaxPRO® ve MaxTRAQ® (Innovision Systems, USA) yazılımları kameraların birbirileri ile senkronizasyonunu sağlamak, kalibrasyon yapmak, yürüme protokollerinin kaydetmek, ve veri analizi yapmak amacıyla kullanıldı. Bu yazılımlardan MaxPRO® 3 boyutlu kayıt yaparak VKM'nin koordinat düzleminin 3 ekseninde yer değişimi, hız, ve akselerasyon verilerinin ölçülmesi için kullanılırken, MaxTRAQ® ise 2 boyutlu kayıt yaparak bireylerin adım genişliği, adım uzunluğu, çift adım uzunluğu, kadans gibi spasyotemporal verilerini kaydetmek için kullanıldı. Bu yazılımlarla elde edilen veriler, MaxMATE® (Innovision Systems Inc., USA) adlı programla excel verileri haline getirilip, istenilen analizler gerçekleştirildi.

3.5.4. Kalibrasyon

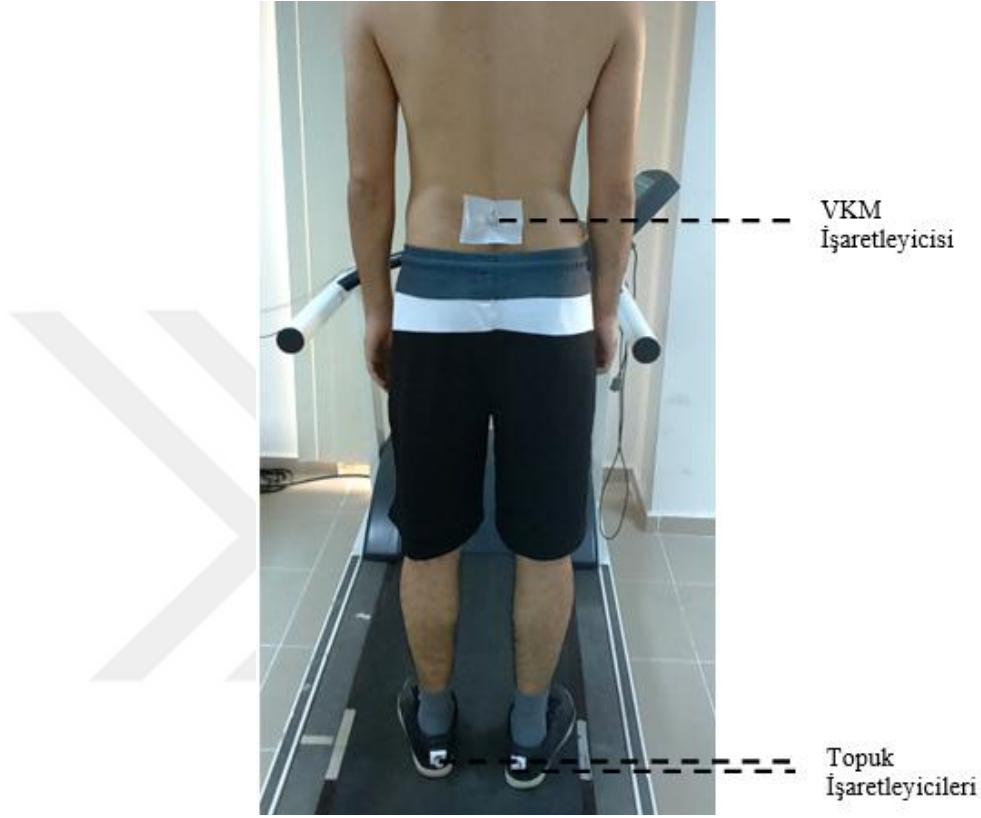
Bireylerin yürüme analizi protokollerine başlamadan önce yürüyecekleri hacimi sisteme tanıtmak için kalibrasyon gerçekleştirildi. MaxPRO® sisteminin kalibrasyonu için her çalışma öncesinde yapılmak üzere kalibrasyon ayarları yüklendi. Bu adımda sisteme kalibrasyonu hangi obje ile gerçekleştireceğimiz, kalibrasyon çubuğunun uzunluğu, kalibrasyon aparatının koyulduğu yöne bağlı olarak koordinat düzlemindeki pozisyonu ve ilgili eksen kolunun uzunluğu, kalibrasyon hızı ve süresi gibi bilgiler yazılarak tüm kalibrasyon protokollerinde kullanılmak üzere kaydedildi. Ardından kalibrasyon aparatı kısa kolu Y eksen ve uzun kolu X eksen olacak şekilde koşu bandı üzerine konulup uzun ve kısa kolun kesişim noktası orijin olarak kabul edildi. Sonrasında kalibrasyon çubuğu koşu bandı üzerinde bireyin yürüyeceği hacimde elle döndürülerek kalibrasyon gerçekleştirildi.

MaxTRAQ® programı için kayıt sonrası görüntüde uzunluğu bilinen bir nesnenin belirtilip uzunluğunun sisteme girilmesi ile kalibrasyon gerçekleştirildi.

3.5.5. İşaretleyicilerin Sabitlenmesi

Kalibrasyonun ardından bireylerin VKM'lerine bir adet ve ayakkabılarının topuk kısımlarını orta noktasına birer adet olmak üzere toplamda 3 adet işaretleyici flaster

bant yardımıyla yapıştırıldı (Şekil 3.6). Bireylerin VKM'lerinin tespiti için *posterior superior iliac spine* çıkıntıları elle palpe edilip orta noktaları bulundu (Plug-in Gait Model, UK).



Şekil 3.6. İşaretleyicilerin Yerleştirilmesi

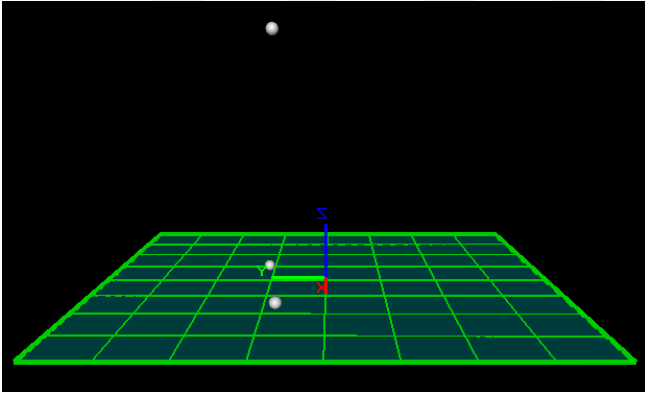
3.5.6. Yürüme Analizi Protokolü

Bireyler yürüme protokollerine başlamadan önce 2 dk duruş fazında enerji tüketim ölçümleri alınırken, aynı anda 5'er saniye MaxPRO® ve MaxTRAQ® programları ile kayıt yapıldı. Böylece söz konusu işaretleyicilerin duruş fazında pozisyonları değerlendirilebilecek olup analizler için referans değerler olarak kullanıldı.

Ardından bireylerin yürüme enerji tüketim ölçümleri devam ederken, her yürüme protokolünün son 2 dakika kararlı evresinde önce 2 dakika MaxPRO® ile sonra 1 dakika MaxTRAQ® programları ile video kaydı yapıldı (Şekil 3.7).



Şekil 3.7.a. MaxTRAQ® görüntüsü



Şekil 3.8.b. MaxPRO® görüntüsü

3.5.7. Ham Verinin İşlenmesi

MaxPRO® kaydı tamamlandıktan sonra açılan analiz ekranında görülen işaretleyicilerden VKM işaretleyicisine tıklanarak isimlendirilip kaydedildi. Ardından işlenmiş kayıt MaxMATE® programında açılarak VKM işaretleyicisinin her karede anteroposterior, mediyolateral ve vertikal eksenlerinde pozisyonlarına ulaşıldı. Öncelikle duruş fazı olmak üzere, 3 yürüme protokolü sırasında (yavaş, normal, hızlı)

işaretleyicinin 3 eksenindeki pozitif, negatif ve toplam yer değişimleri her adım için hesaplanıp ortalamaları alındı. Ayrıca, kadans ve çift adım sayısı kayıt izlenerek hesaplandı. Bireyin ift adım uzunluğu $[120 \times \text{Hız(m/sn)}]$ / Kadans formülü kullanılarak hesaplandı (54). MaxTRAQ® kaydı bitiminde ise yine açılan analiz ekranında iki topuk işaretleyicisi ayrı ayrı isimlendirilip kaydedildi. Sonrasında, işlenmiş kayıt MaxMATE® programında açılarak iki işaretleyicinin her karede mediyolateral ve vertikal eksenlerindeki pozisyonları değerlendirildi. Sistem hassasiyeti 0,001 mm'ydi. İşaretleyicilerin vertikal eksenindeki pozisyonlarına bakılarak her ayak için minimum değerine ulaştığı anlar basma anları olarak değerlendirilip, o pozisyonda mediyolateral eksenlerinin pozisyonları arasındaki fark adım genişliği olarak hesaplandı (101,102).

3.6. İstatistiksel Analiz

Sürekli ölçümlere ait normallik kontrolleri Shapiro Wilk testi ile test edilmiştir. Gruplar arası farklılıklar için Student t testi kullanılmıştır. Normal ve Obez gruplarında tekrarlanan ölçümler arası farklılıklar için tekrarlanan ölçümlü varyans analizi (Repeated Measures) ile test edilmiştir. İgili karşılaştırmalar için Bonferroni testi kullanılmıştır. Tanımlayıcı istatistikler olarak ortalama ve standart sapma değerleri verilmiştir. İstatistik anlamlılık olarak $p < 0.05$ alınmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Gruplar Arası Antropometrik ve Demografik Özelliklerin Karşılaştırılması

Bir obez katılımcının İET ölçümü sırasında maskeye alışmakta güçlük çekmesi ve 3 obez bireyin de dinlenim sistolik basınç değerlerinin yüksek bulunması nedeniyle çalışmaya dâhil edilemedi. Sonuç olarak çalışma, normal grupta 14 ve obez grubunda da 13 birey olmak üzere 27 kişinin katılımıyla gerçekleştirildi. Çizelge 4.1.'de gruplar arası demografik ve antropometrik özelliklerin ortalamalarının karşılaştırılması görülmektedir. İki grubun bireyleri yaş ve boy uzunluğu bakımından oldukça benzer olurken, beklenildiği üzere obez grupta vücut ağırlığı, VKİ, yağ yüzdesi, yağsız vücut kütlesi anlamlı derecede yüksek bulunmuştur ($p<0,001$).

Çizelge 4.1. Grupların demografik ve antropometrik ortalamalarının karşılaştırılması

	Normal (n=14)	Obez (n=13)	P-değeri
Yaş (yıl)	23,29±3,63	23,38±3,12	0,940
Boy (cm)	176,24±6,02	177,83±4,53	0,447
Vücut Ağırlığı (kg)	67,98±8,64	107,99±12,54	<0,001
VKİ (kg/m ²)	21,83±2,14	34,08±3,69	<0,001
Yağ Yüzdesi (%)	13,57±5,89	29,95±3,38	<0,001
Yağsız Vücut Kütlesi (kg)	58,44±5,47	75,36±6,46	<0,001

VKİ: Vücut Kitle İndeksi

4.2. Enerji Tüketimi Parametrelerinin Karşılaştırılması

4.2.1. İstirahat Enerji Tüketiminin Karşılaştırılması

Normal kilolu ve obez gruplarının İET ölçümleri kıyaslandığında, aradaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,001$). Aynı şekilde, enerji tüketiminin bir diğer ifadesi olan dakikada tüketilen O_2 miktarı (VO_2) istirahat sırasında değerlendirildiğinde, gruplar arası fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,001$).

Çok geniş örneklem alımının mümkün olmadığı durumlarda, metabolik olarak aktif kütleyi daha doğru şekilde hesaplamak için yağsız kütle ve İET arasında kurulan lineer regresyon modeli sonucu elde edilen regresyon değerinin kullanılması önerilmektedir (121). Bizim modelimiz ise:

$$\text{İET} = 164,548 + [(27,293) \times \text{Yağsız Kütle}] \text{ şeklinde bulunmuştur.}$$

Bu modelin x-ekseni yağsız vücut kütlesi ve y-ekseni İET olan grafiğinde x-ekseninin - 6,03 kg ve y-ekseninin 164,548 kkal/gün gibi kesişimleri olması nedeniyle grafiği O noktasına taşıyabilmek için tüm yağsız vücut kütlesi değerlerine 6,03 kg eklenmiştir. Bunun sonucunda, istirahat sırasında tüketilen O_2 miktarları düzeltilmiş yağsız vücut kütlesi ile normalize edildiğinde, her iki grup arasında anlamlı bir fark görülmemektedir ($p=0,552$), (çizelge 4.2.).

Çizelge 4.2. Gruplar arasında İET ortalamalarının karşılaştırılması

	Normal (n=14)	Obez (n=13)	P-değeri
İET (kkal/gün)	1737,83±247,70	2244,68±280,55	<0,001
İET VO_2 (l/dk)	0,25±0,04	0,32±0,04	<0,001
İET VO_2 / Düzeltilmiş Yağsız Vücut Kütlesi (ml/kg/dk)	3,83±0,45	3,94±0,45	0,552

İET: İstirahat Enerji Tüketimi
 VO_2 : Oksijen Tüketimi

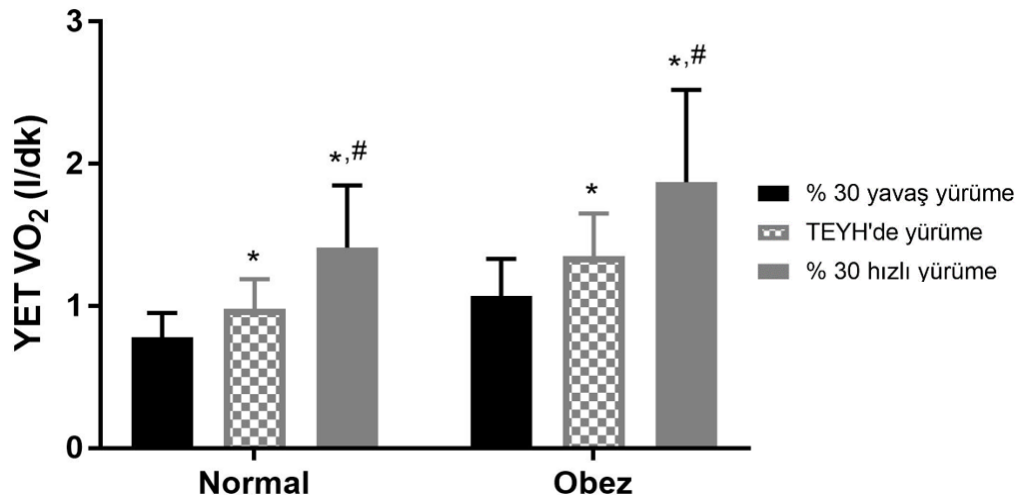
4.2.2. Yürüme Enerji Tüketimlerin Karşılaştırılması

Gruplar TEYH'nin %30 az hızında, TEYH'de ve TEYH'nin %30 fazla hızında yürüdükleri sırada tüketilen O₂ miktarları açısından değerlendirildiğinde, 3 hızda da obez bireyler ve normal kilolu bireyler arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır (p<0,05), (çizelge 4.3.). Bununla birlikte, her iki grup bireylerinin de her yürüme hızı artışıyla kullandıkları O₂ miktarı anlamlı olarak artmıştır (p<0,001) (şekil 4.1.).

Çizelge 4.3. Gruplar arasında YET VO₂'lerin karşılaştırılması

<u>YET VO₂ (l/dk)</u>	Normal (n=14)	Obez (n=13)	P-değeri
% 30 yavaş yürüme	0,78±0,17	1,07±0,26	0,002
TEYH'de yürüme	0,98±0,21	1,35±0,30	0,001
% 30 hızlı yürüme	1,41±0,44	1,87±0,65	0,039

YET: Yürüme Enerji Tüketimi
VO₂: Oksijen Tüketimi



Şekil 4.1. Grup içi YET VO₂ değerlerinin karşılaştırması.

(*: % 30 yavaş yürümeden farklı (p<0,05), #: TEYH'de yürümeden farklı (p<0,05))

4.3. Yürüme Parametrelerinin Karşılaştırılması

4.3.1. Yürüme Hızlarının Karşılaştırılması

Her iki grubun TEYH ortalamaları karşılaştırıldığında, gruplar arası istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır ($p=0,377$), (çizelge 4.4.).

Çizelge 4.4. Gruplar arasında yürüme hızlarının karşılaştırılması

<u>Yürüme Hızı (m/dk)</u>	Normal (n=14)	Obez (n=13)	P-değeri
% 30 yavaş yürüme	55,18±10,31	50,96±8,33	0,256
TEYH’de yürüme	77,02±13,89	72,56±11,68	0,377
% 30 hızlı yürüme	98,99±18,02	94,23±14,74	0,459

TEYH: Tercih Edilen Yürüme Hızı

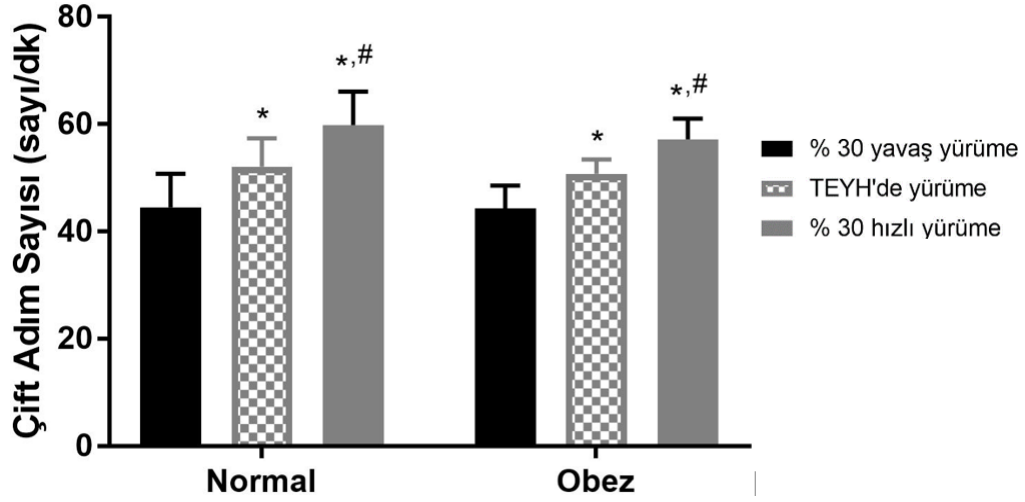
4.3.2. Çift Adım Sayılarının Karşılaştırılması

Bireyler TEYH’nin %30 az hızında, TEYH’de ve TEYH’nin %30 fazla hızında yürüdükleri sırada, grupların çift adım sayısı ortalamaları kıyaslandığında gruplar arası anlamlı bir fark bulunamamıştır ($p>0,05$), (çizelge 4.5.). Buna karşın, her iki grupta da hız artışı ile çift adım sayısı anlamlı olarak artmıştır ($p<0,001$), (şekil 4.2.).

Çizelge 4.5. Gruplar arası çift adım sayısı ortalamalarının karşılaştırılması

<u>Çift Adım Sayısı (sayı/dk)</u>	Normal (n=14)	Obez (n=13)	P-değeri
% 30 yavaş yürüme	44,50±6,27	44,31±4,23	0,927
TEYH’de yürüme	52,07±5,31	50,77±2,68	0,426
% 30 hızlı yürüme	59,86±6,24	57,15±3,87	0,187

TEYH: Tercih Edilen Yürüme Hızı



Şekil 4.2. Grup içi çift adım sayısı değerlerinin karşılaştırması
(*: % 30 yavaş yürümeden farklı ($p<0,05$), #: TEYH'de yürümeden farklı ($p<0,05$))

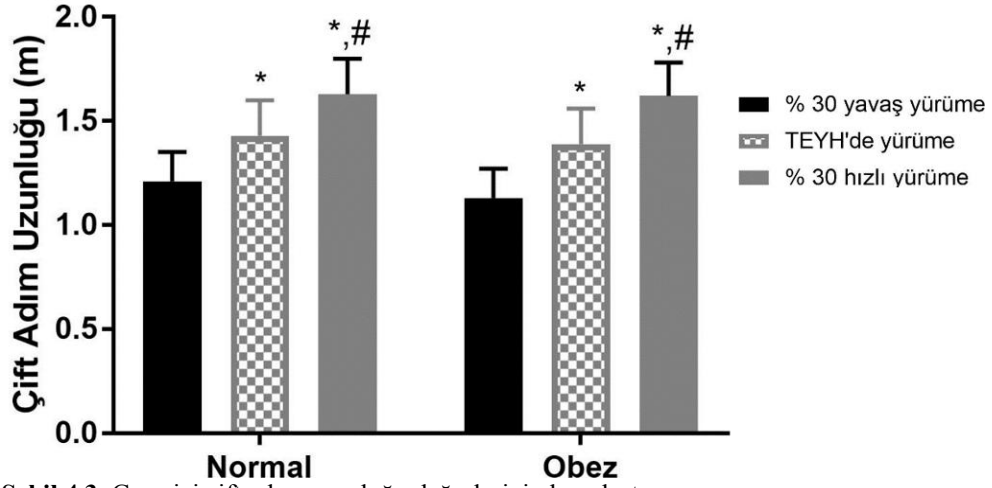
4.3.3. Çift Adım Uzunluklarının Karşılaştırılması

Bireylerin TEYH'nin %30 az hızında, TEYH'de ve TEYH'nin %30 fazla hızında yürüdükleri sırada hesaplanan ortalama çift adım uzunlukları değerleri her iki grup arasında anlamlı derecede farklı bulunmamıştır ($p>0,05$), (çizelge 4.6.). Buna karşın, her iki grubun bireyleri de hız artışı ile çift adım uzunluklarını arttırmıştır ($p<0,001$), (şekil 4.3.).

Çizelge 4.6. Gruplar arası çift adım uzunluğu ortalamalarının karşılaştırılması

Çift Adım Uzunluğu (m)	Normal (n=14)	Obez (n=13)	P-değeri
% 30 yavaş yürüme	1,21±0,14	1,13±0,14	0,139
TEYH'de yürüme	1,43±0,17	1,39±0,17	0,583
% 30 hızlı yürüme	1,63±0,17	1,62±0,16	0,845

TEYH: Tercih Edilen Yürüme Hızı



Şekil 4.3. Grup içi çift adım uzunluğu değerlerinin karşılaştırması.

(*: % 30 yavaş yürümeden farklı ($p < 0,05$), #: TEYH'de yürümeden farklı ($p < 0,05$))

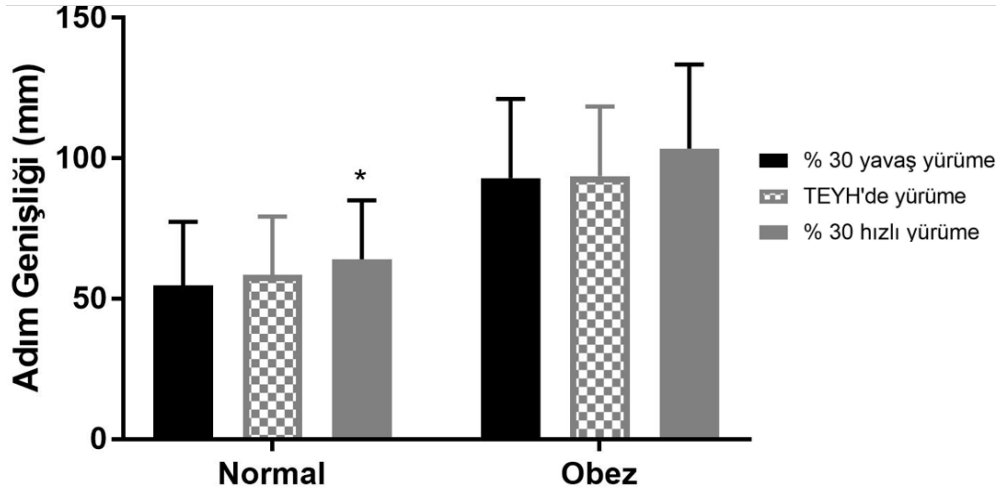
4.3.4. Adım Genişliğinin Karşılaştırılması

Obez bireylerin normal kilolu bireylere göre, TEYH'nin %30 az hızında, TEYH'de ve TEYH'nin %30 fazla hızında yürüdükleri sıradaki adım genişlikleri anlamlı derecede fazla bulunmuştur ($p \geq 0,001$), (çizelge 4.7.). Diğer taraftan, normal kilolu bireylerin % 30 yavaş hızda yürüdükleri sıradaki adım genişliği ve %30 hızlı yürümede adım genişliği arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p = 0,038$), (şekil 4.4.).

Çizelge 4.7. Gruplar arası adım genişliği ortalamalarının karşılaştırılması

Adım Genişliği (mm)	Normal (n=14)	Obez (n=13)	P-değeri
% 30 yavaş yürüme	54,82±22,62	92,90±28,32	0,001
TEYH'de yürüme	58,61±20,68	93,65±24,76	<0,001
% 30 hızlı yürüme	64,07±20,93	103,41±30,04	0,001

TEYH: Tercih Edilen Yürüme Hızı



Şekil 4.4. Grup içi adım genişliği değerlerinin karşılaştırması.
(*: % 30 yavaş yürümeden farklı ($p<0,05$))

4.3.5. Vücut Kütle Merkezi İşaretleyicisinin Mediyolateral ve Vertikal Yer Değişiminin Karşılaştırılması

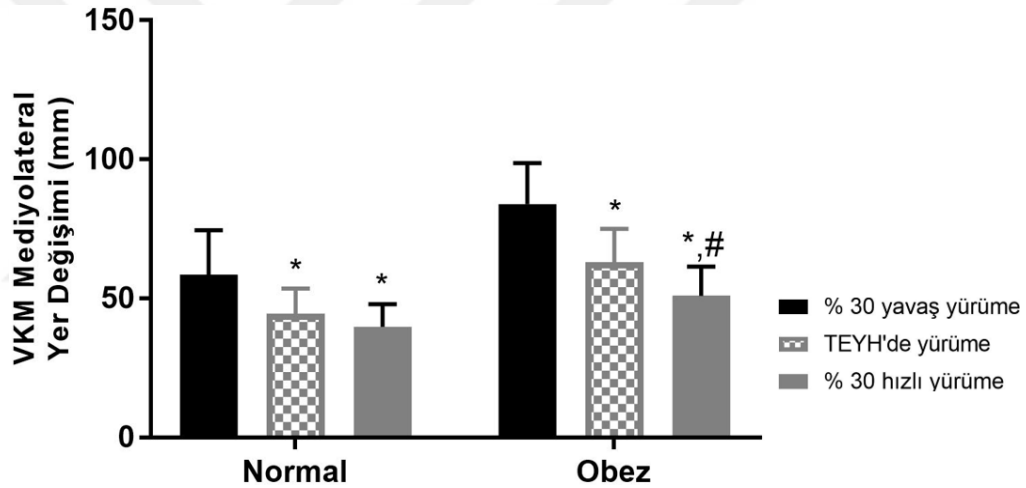
Bireyler TEYH'nin %30 az hızında, TEYH'de ve TEYH'nin %30 fazla hızında yürüdükleri sırada VKM işaretleyicisinin mediyolateral eksenindeki yer değişim değerleri gruplar arası kıyaslandığında, gruplar arası fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,05$), (çizelge 4.8.). Ayrıca, normal kilolu bireyler %30 yavaş yürüme hızında yürüdükleri sırada VKM işaretleyicisinin mediyolateral eksenindeki yer değişimi, TEYH ve % 30 hızlı yürüme hızında yürümeleri sırasındaki VKM işaretleyicisinin mediyolateral eksenindeki yer değişimi değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p=0,004$). Buna ek olarak obez bireylerin, her bir hız artışı protokolü ile VKM işaretleyicisinin mediyolateral eksenindeki yer değişimi artışı istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,001$), (şekil 4.5.).

Çizelge 4.8.Gruplar arasında VKM işaretleyicisinin değişen hızlarda mediyolateral eksenindeki yer değişimi (mm) ortalamalarının karşılaştırılması

VKM İşaretleyicisinin Mediyolateral Yer Değişimi (mm)	Normal (n=14)	Obez (n=13)	P-değeri
% 30 yavaş yürüme	58,43±16,19	83,93±14,77	<0,001
TEYH'de yürüme	44,61±9,01	63,07±12,04	<0,001
% 30 hızlı yürüme	39,84±8,08	50,90±10,48	0,005

VKM: Vücut Kütle Merkezi

TEYH: Tercih Edilen Yürüme Hızı



Şekil 4.5. Grup içi VKM mediyolateral yer değişimi değerlerinin karşılaştırması.

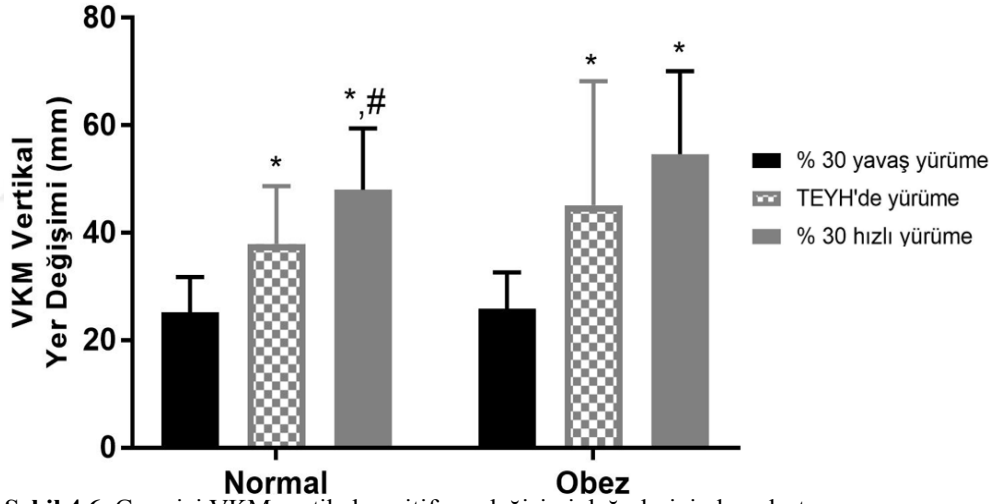
(*: % 30 yavaş yürümeden farklı ($p<0,05$), #: TEYH'de yürümeden farklı ($p<0,05$))

Diğer taraftan, VKM işaretleyicisinin vertikal eksenindeki pozitif yer değişimi değerleri gruplar arasında fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0,05$), (çizelge 4.9.). Buna karşılık her iki grubun bireylerinin de % 30 yavaş yürümede VKM işaretleyicisinin vertikal eksenindeki pozitif yer değişimi, TEYH'de ve % 30 hızlı yürüme hızında yürümelerindekilerle arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,001$). Ayrıca, normal kilolu bireyler TEYH'de yürüdükleri sırada VKM işaretleyicisinin vertikal eksenindeki pozitif yer değişimi ve % 30 hızlı yürümedeki yer değişimi arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,001$), (şekil 4.6.).

Çizelge 4.9. Gruplar arasında VKM işaretleyicisinin değişen hızlarda vertikal eksenindeki pozitif yer değişimi (mm) ortalamalarının karşılaştırılması

VKM İşaretleyicisinin Vertikal Yer Değişimi (mm)	Normal (n=14)	Obez (n=13)	P-değeri
% 30 yavaş yürüme	25,24±6,51	25,83±6,81	0,820
TEYH'de yürüme	37,98±10,71	45,19±23,06	0,301
% 30 hızlı yürüme	48,04±11,36	54,60±15,52	0,219

VKM: Vücut Kütle Merkezi
TEYH: Tercih Edilen Yürüme Hızı



Şekil 4.6. Grup içi VKM vertikal pozitif yer değişimi değerlerinin karşılaştırması.
(*: % 30 yavaş yürümeden farklı (p<0,05), #: TEYH'de yürümeden farklı (p<0,05))

5. TARTIŞMA

Obezite, enerji alımı ve enerji tüketimi arasındaki dengesizlikten kaynaklanan fazla yağ depolanması ile karakterize bir sağlık problemidir (103). İET, aktivite sırasında kullanılan enerji tüketimi, diyetle indüklenen termogenez ya da tüm bu bileşenlerin toplamının, obeziteye yatkın bireylerde normal kilolu kişilere göre daha düşük olması enerji dengesini pozitif tarafa kaydırıp kilo alımına neden olur (104).

2008 yılında WHO hazırladığı rapora göre yetişkin popülasyonunun % 10'undan fazlası obez olarak kaydedilmiştir (2). Vücut ağırlığı fazla ve obez bireylerin dünyadaki görülme oranlarını değerlendiren bir diğer çalışmada, VKİ'si ≥ 25 kg/m² olan birey sayısının 1980'den günümüze erkeklerde %28.8'den %36,9'a ve kadınlarda da %29.8'den %38.0'a çıktığı tespit edilmiştir (18). Türkiye'de de benzer şekilde obezite görülme oranları gün geçtikçe artmaktadır. Türkiye Beslenme ve Sağlık Araştırması 2010 ön çalışması verilerine göre ülkemizde obezite sıklığı erkeklerde % 20,5 kadınlarda ise % 41,0'dır (105). Obezite görülme sıklığının bu artışı, yönetimleri obezitenin önlenmesi için çeşitli uygulamalar geliştirmeye teşvik etmiştir. Ancak, günümüzde obezitenin önlenmesi ile ilgili geliştirilen birçok yaklaşım çok etkili olmamakla birlikte, çoğu uygulamadan kısa bir süre sonra obez bireyler kaybettikleri kiloları tekrar almaktadır (107). Bu konuda başarılı bir metot geliştirebilmek için obezitenin fizyolojik etkenleri derinlemesine incelenmelidir (108). Özellikle, bu bireylerin istirahat ve çeşitli aktiviteler sırasında tükettikleri enerjilerin belirlenmesi ve yürüme parametrelerinin normal kilolu bireyler ile karşılaştırılıp yorumlanması, obez bireyler için uygun rehabilitasyon ve egzersiz programlarının oluşturulmasında önemli olmaktadır.

Farklı hızlarda yürüme sırasında tüketilen enerji miktarının değişmesi gibi yürümenin stereotipik kalıbı da, değişen yürüme şartlarına uyum sağlar. Örneğin; adım uzunluğu, adım genişliği gibi spasyal parametreler ve kadans, çift adım sayısı gibi temporal parametreler bireyin değişen yürüme hızına göre düzenlenir. Bunların yanı sıra, yürüme sırasında VKM işaretleyicisinin yer değişim paterni de bireyin yürüme hızındaki değişikliğe bağlı olarak farklılık gösterebilir (54,56).

Biz çalışmamızda, obez bireylerin istirahat ve üç farklı yürüme hızındaki enerji tüketimi değerlerinin kontrol grubu bireylerden farklı olup olmadığını tespit edip, bu değerlerin temporaspasyal parametreler ve VKM işaretleyicisinin mediyolateral ve vertikal eksenlerde yer değişim paterninde meydana gelen değişimler açısından açıklamayı ve yorumlamayı amaçladık.

5.1. İstirahat Enerji Tüketimi

Günlük enerji tüketimi; dinlenim metabolizması, yiyeceklerin termik etkisi, egzersiz veya egzersiz dışı hareketlerde kullanılan fiziksel aktivite enerji tüketimi şeklinde farklı bölümlere ayrılabilir (109,110). Yapılan çalışmalar, batılı ülkelerin günlük enerji tüketimi değerlerinin İET ölçümlerine ortalama oranının 1,66 olduğunu, yani toplam enerjinin %40'ının aktivite sırasında harcanıp, yüzde %60'ının ise dinlenim durumunda kullanıldığını göstermiştir (111). İET'nin günlük enerji tüketiminin en büyük bileşeni olması, İET ölçümünün obezitenin önlenmesinde ve kilo kontrolünde son derece önemli bir parametre olarak ortaya çıkmasına neden olur.

Her ne kadar önceki yıllarda yapılan çalışmalar ile araştırmacılar obez bireylerin daha yavaş metabolizmaları olduğunu savunsalar da (112) son 30 yıldır gerçekleştirilen çeşitli araştırmaların raporları bunun tam aksini göstermiştir (113,114). Obez bireylerin normal kilolu bireylere oranla daha yüksek enerji tüketimi değerlerinin olduğu bulunmuştur. Çalışmamızın verileri de bu sonuçları destekler nitelikte olup, obez katılımcılarımızın İET değerlerinin normal kilolu bireylere göre yaklaşık %30 daha fazla olduğu hesaplanmıştır. Weijs ve ark.'larının toplam 536 kadın üzerinde gerçekleştirdiği çalışmada benzer şekilde, normal kilolu kadınlarda indirekt kalorimetre ile ölçülen ortalama İET ölçümlerinin 1331 ± 150 kkal/gün gibi bir değerden, VKİ'si 30 kg/m^2 ve üstü kadınlarda ortalama 2000 kkal/gün ve üstü değerlere kadar ulaştığı tespit edilmiştir (115).

Vücut kompozisyonu, daha özel olarak belirtmek gerekirse yağsız vücut kütlesi gibi metabolik olarak aktif dokular ise İET'yi belirlemede en etkin faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Yağsız vücut kütlesi; kemik, iskelet kası ve beyin, kalp, karaciğer, böbrek ve sindirim sistemi organları gibi metabolik aktivitesi yüksek

organları içerir (116). Obez bireylerde artan yağ kütlesi ile birlikte fazla olan vücut ağırlığını taşıyabilmek için artış gösteren yağsız vücut kütlesi, bu bireylerin normal kilolu bireylere oranla neden daha fazla İET değerlerine sahip olduğunu büyük ölçüde açıklamaktadır (113). Ayrıca, İET yağsız vücut kütlesi ile normalize edildiğinde obezler ve obez olmayan bireyler arasındaki bu farkın kaybolması da bu iddiayı kuvvetlendirir niteliktedir (113, 114, 118). Bizim verilerimizde de enerji tüketiminin bir diğer ifadesi olan dakikada tüketilen O₂ miktarı yağsız vücut kütlesi ile normalize edildiğinde, obez bireyler ve kontrol grubu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Çalışmamızı destekler nitelikte, Carrasco ve ark.'ların VKİ değerleri 18,5-69,7 kg/m² arasında değişen 816 kadın ve 441 erkek üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada, bireyin vücut ağırlığı arttıkça İET değerleri de artmıştır. Ancak, İET değerleri bireyin yağsız vücut kütlesi ile normalize edildiğinde gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (119). Benzer şekilde Verga ve ark.'larının farklı VKİ gruplarından erkek ve kadın bireylerle gerçekleştirdikleri çalışmalarında, İET yağsız vücut kütlesi ile normalize edildikten sonra gruplar arası istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir (117). Buna karşın, Delany ve ark.'larının normal ve obez bireyler üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmalarında, obezlerin İET değerleri yağsız vücut kütlesi ile normalize edildikten sonra bile normal kilolu bireylere göre fark istatistiksel olarak anlamlıdır (120).

Ancak Heymsfield ve ark.ları, obez ve obez olmayan bireyler arasında İET karşılaştırılırken, İET'nin yağsız vücut kütlesi ile normalizasyonunu kullanmanın çok doğru bir yöntem olmadığını iddia etmişlerdir. Çünkü bu yöntemle göre yağsız vücut kütlesi, metabolik aktivite olarak homojen bir yapı olarak düşünülürken, gerçekte yağsız vücut kütlesini oluşturan yapılar metabolik olarak eşit derecede aktif değildir. Bireyin vücut ağırlığının artmasıyla birlikte yağsız vücut kütlesindeki metabolik olarak daha az aktif dokular (kemik ve iskelet kası), daha aktif dokulara oranla daha fazla artar. Çünkü kalp, beyin, karaciğer, vs. gibi metabolik olarak aktif olan organlar, kilo alımı ile birlikte kemik ve iskelet kasına oranla hacimsel olarak çok değişmezler. Bu nedenle, İET'nin yağsız vücut kütlesi ile normalizasyonu obez bireylerde diğer gruplara oranla daha düşük çıkmaya eğilimli olacaktır (116). Bunun yerine örneklem sayısının az olduğu çalışmalarda enerji tüketimini, enerji tüketimi ve yağsız vücut kütlesi ile oluşturulan regresyon formülü sonucu elde edilen regresyon sabiti ile toplanarak,

düzeltilmiş yağsız vücut kütlesi ile normalize etmek alternatif bir yaklaşım olarak kullanılabilir. Örneğin, Ravussin ve Bogardus'a göre yağsız vücut kütlesi ile regresyon formülü ile elde edilen 18 kg değerinin toplanması, metabolik olarak aktif kütleye daha yakın bir tahmin olmaktadır (121). Bizim çalışmamız için hesaplanan regresyon sabiti 6,03 kg'dı.

5.2. Yürüme Enerji Tüketimi

Obez çocuklar ve gençler normal kilolu yaşlılarına göre yürüme gibi hafif fiziksel aktivitelerde daha az zaman harcarken, sedanter aktivitelere gün içinde daha çok yer verirler (8). Bu durum, bir açıdan obez insanların daha büyük olan vücut kütlelerini yer çekimine karşı kaldırmaları veya hareket ettirmeleri gereken aktiviteleri gerçekleştirmekte zorlanmalarından kaynaklanabilir (123). Yapılan çalışmalarla da, obez bireylerin belli bir yürüme hızında diğer gruplara göre maksimal O₂ alımının ve metabolik enerji tüketimi değerlerinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir (7,8,123). Ayrıca, kas iskelet yapılarına normalden daha fazla binen yük, obez bireylerin normal kilodaki bireylere oranla daha fazla ortopedik problemler yaşamasına neden olur (125).

Yürüme sırasında tüketilen enerji, fiziksel aktivitenin şiddeti ile ilişkili olup yürüme hızı değişimlerinden etkilenir (126). Diğer bir ifadeyle; daha yüksek hızda yürüme, daha fazla kas performansı ve sonunda daha fazla enerji tüketimi demektir (127). Dolayısıyla, yürüme hızı, yürüme enerji tüketimi ölçümü testlerini en çok etkileyen faktör olarak düşünülebilir. Teixeira-Salmela ve ark.'larının yaptıkları çalışmanın sonucunda TEYH'nin bireyin genel yürüme performansının değerlendirilmesinde ve lokomotor becerilerinin tayin edilmesinde önemli bir parametre olduğunu belirtmişlerdir (128). Örneğin Norris ve ark.'ları, yaşlılarda görülen azalmış plantarfleksiyon aktivitesinin, bu bireylerin daha düşük TEYH'de yürümelerine neden olduğunu göstermiştir (129). Benzer şekilde, laboratuvarımızda 2011 yılında 15 fibromiyalji hastası ve 15 sağlıklı kadın üzerinde gerçekleştirilen çalışmada (130) ve yine 2012 yılında 12 intermittan klodikasyon hastası ve 12 sağlıklı katılımcı ile gerçekleştirilen çalışmada, hasta bireyler daha düşük TEYH'de yürümeyi tercih etmişlerdir (131).

Çalışmamızda yürüme enerji tüketimleri, bireyler TEYH'lerinde ve bu hızın %30 az ve %30 fazla hızlarında koşu bandında tam koşuya geçmeden yürüdükleri sırada ölçüldü. Obez bireyler ve kontrol grubu arasında TEYH değerleri bakımından anlamlı bir fark saptanmadı. Bazı çalışmalarda obez bireyler normal kilodaki kişilere göre daha yavaş yürümeyi tercih etmelerine rağmen (132,133), Browning ve ark.'ları obez ve normal kilolu kadınların TEYH'leri arasında anlamlı bir fark olmadığını göstermiştir. Bu çalışmada, eğer birey morbid obez ($VKİ \geq 40 \text{ kg/m}^2$) değilse, birim yer değişimi başına harcanan enerji tüketiminin yürüme hızı ile ilişkisi, normal kilolu kişilerden istatistiksel olarak farklı olmadığı bildirilmiştir. Dolayısıyla, sınıf 1 ($30 \text{ kg/m}^2 \leq VKİ \leq 34,9 \text{ kg/m}^2$) ve sınıf 2 ($35 \text{ kg/m}^2 \leq VKİ \leq 39,9 \text{ kg/m}^2$) obezite gruplarındaki bireylerin TEYH'lerinin, normal kilolu bireylerle benzer çıkması son derece olasıdır (134, 135). Çalışmamızdaki obez grubunun da VKİ değerleri ortalamasının $34,08 \pm 3,69 \text{ kg/m}^2$ olması ve söz konusu çalışmalarda obez bireylerden daha genç olmaları nedeniyle, TEYH'ler arasında anlamlı bir farklılık gözlenmemiş olabilir.

Çalışmamızda her ne kadar gruplar arası TEYH'ler arasında anlamlı bir fark bulunamamışsa da, üç hızda yürüme sırasındaki VO_2 değerleri obez bireylerde kontrol grubuna göre yüksek bulunmuştur. Çalışmamızda bireyler TEYH'lerinde yürüdükleri sırada, obez katılımcılar normal kilodaki bireylere göre dakikada ortalama % 38 daha fazla O_2 tüketmişlerdir. Bizim verilerimizle benzer şekilde DeLany ve ark.'larının 177 kişi ile gerçekleştirdikleri çalışmada da, obezlerin yürüme enerji tüketimi değerleri diğer VKİ gruplarındaki (zayıf, normal, vücut ağırlığı fazla gibi) bireylerden daha fazla bulunmuştur. Ayrıca, obez bireylerin TEYH'lerinde yürüdükleri sırada hesaplanan enerji tüketimi değerleri de normal kilolu bireylerin enerji tüketimi değerlerinin yaklaşık 2 katı bulunmuştur (120). Yine, Lazzer ve ark.'ları tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada, 1,1'den 1,7 m/sn'e kadar olan hızlarda yürüme sırasında, obez adolesanların %71-84 daha fazla metabolik hıza ve % 25 daha fazla enerji tüketimine sahip olduğu gösterilmiştir (8). Bloom ve ark.'ları tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise, obez grubun 0,7-1,4 m/sn hızları arası yürüme sırasında ölçülen net metabolik enerji tüketimlerinin normal kilodaki bireylere göre % 45 daha fazla olduğu kaydedilmiştir (136).

Çalışmamızda grup içi VO_2 tüketimleri karşılaştırıldığında, normal kilolu bireylerin % 30 yavaş hızda yürüdükleri sırada tükettikleri O_2 değerlerinin, TEYH ve %

30 fazla hızda yürümeleri sırasındaki değerlerden daha düşük olduğu hesaplanmıştır. Obez grubu içinde ise, her bir yürüme hızı artışında VO_2 değeri anlamlı olarak yükselmiştir. Benzer şekilde Lazzer ve ark.larının 3 farklı yürüme hızında normal kilolu ve obez adolesanlarla gerçekleştirdikleri çalışmada, her iki grup içinde de yürüme hızı artışı ile enerji tüketiminin arttığı gösterilmiştir (8). Buna ek olarak, Ehlen ve ark.'larının 12 obez yetişkin üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada 0,5 m/sn'den 1.75 m/sn'ye kadar olan hızlarda ve 0°'den 9°'ye kadar olan koşu bandı eğim artışlarında, bireylerin net enerji tüketimi artmıştır (137).

Birçok çalışma neticesinde obez bireylerin; ekstra yük, yürüme paterninde meydana gelen değişiklikler, kasların daha az etkin çalışması ve kardiyorespiratuar sistemlerde kondisyon kaybı gibi nedenlerle daha fazla yürüme enerji tüketimine sahip olduğu ileri sürülmüştür (7,123,134,138). Özellikle artmış vücut ağırlığı, daha ağır alt ekstremiteler, denge sağlamada güçlük ve artmış adım genişliği gibi biyomekanik faktörlerin obez bireylerin artmış yürüme enerji tüketiminden temel olarak sorumlu oldukları düşünülmüştür (134).

5.3. Yürüme Parametreleri

5.3.1. Çift Adım Sayısı ve Uzunluğu

Uzun yıllar yapılan araştırmalar neticesinde insanların hareket ettikleri sırada alt ekstremitelerini metabolik enerji tüketimini minimize edecek şekilde kullandıkları bulunmuştur. Yürüme hızı, adım sayısı ve adım uzunluğu gibi temel yürüme parametrelerinin spesifik fonksiyonel bir ilişki içinde düzenlenmesi, yürüme sırasındaki metabolik enerji tüketimini azaltmada bir yol olarak ortaya çıkmaktadır (60). Örneğin Gordon ve ark.'larının belli bir yürüme hızında farklı adım uzunluğu protokollerinde ölçtükleri enerji tüketimi ölçümleri sonucunda, tercih edilen adım uzunluğunun altındaki ve üstündeki adım uzunluklarda yürüme sırasındaki enerji tüketiminin istatistiksel olarak farklı olduğunu tespit etmişlerdir. Öyle ki, tercih edilen adım uzunluğunun % 20 fazlasındaki adım uzunluğunda yürüme sırasında, enerji tüketimi % 36 oranında artmıştır. Diğer yandan, belli bir yürüme hızı için yürüyebilecekleri

minimum adım uzunluğunda yürüme sırasında ise, kalçada oluşan moment ve yapılan iş yaklaşık olarak iki kat artmıştır (140). Ancak birey her zaman kendisi için optimal enerji tüketimini sağlayan kombinasyonun yerine, yürüdüğü çevre koşullarına uygun olarak çok sayıda yürüme hızı, adım uzunluğu ve adım sayısı kombinasyonundan birini seçebilir. Aslında, insan yürüme sistemi önemli derecede davranışsal plastisite özelliğine sahip olup, nöromüsküler sistem ve fiziksel çevre şartlarının entegrasyonu ile birey tarafından en uygun yürüme formuna karar verilir (141).

Çalışmamızın verilerine göre obezler, normal kilodaki bireylere göre daha küçük çift adım uzunluğu ve çift adım sayısına sahip olsalar da aradaki fark istatistiksel olarak anlamlı değildir. Yürüme hızının, adım sayısı ve adım uzunluğunu etkileyen bir parametre olmasından dolayı (54), gruplar arası TEYH'ler arasında anlamlı bir fark gözlenmemiş olması, adım uzunluğu ve çift adım sayısı değişkenlerinin gruplar arasında istatistiksel olarak farklı olmamasına neden olmuş olabilir. Ancak grup içi karşılaştırmalar göz önünde bulundurulduğunda, yürüme hızı arttıkça çift adım sayısı ve adım uzunluğunun arttığı gözlenmiştir.

Literatürde de benzer şekilde sağlıklı bireyler için bu iki parametrenin de hızın yükselmesiyle birlikte artış gösterdiği bildirilmiştir. Öyle ki, artan hızla kadans doğrusal ilişki içindeyken, adım uzunluğunun ise logaritmik ilişki içinde olduğu bulunmuştur (54). Örneğin, Orendurff ve ark.'larının 10 sağlıklı kişi üzerinde 10 m'lik yürüme yolu boyunca gerçekleştirdikleri yürüme analizi çalışmalarına göre, bireyler 0,7 m/sn yürüme hızından TEYH'lerine kadar yürüdükleri hızlarda, her hız artışı ile kadans ve adım genişliği değerleri artmıştır (142).

Yapılan bazı çalışmalarda, obez bireylerin normal kilodaki bireylere oranla daha düşük TEYH'lerde yürüdükleri ve buna bağlı olarak daha düşük adım uzunluğu ve adım sayısına sahip olduklarını gösterilmiştir. Aslında obez bireylerin yürüme paterninde meydana gelen bu değişimler, yürüme sırasındaki dinamik dengeyi sağlamak ve dizler üzerine binen yükü azaltmak esasına dayanmaktadır (143,52,144). Malatesta ve ark.'larının obez ve normal kilodaki erkek ve kadınlarla gerçekleştirdiği çalışmada, bireylerin TEYH'de yürüdükleri sırada ölçülen adım uzunluğu ve adım sayısı değerleri obez bireylerde daha düşük bulunmuştur (7). Ancak DeVita ve ark.'larının yine obez ve normal kilodaki katılımcılarla gerçekleştirdiği çalışmada, bireyler TEYH'lerinde

yürüdükleri sırada, obez bireylerin adım uzunluğu ve adım sayısı beklenildiği gibi düşük çıkarken, TEYH'den daha hızlı yürüme hızlarında obez bireylerin yürüme paterni normal gruba benzemiş ve gruplar arası adım uzunluğu ve sayısı arasında anlamlı fark ortadan kalkmıştır (52). Benzer şekilde Browning ve ark.'larının obez ve normal kilodaki bireyler üzerinde gerçekleştirdiği çalışmada, 0.5 m/sn'den 1.75 m/sn'e kadar olan hızlarda yürüme sırasında, adım uzunluğu ve adım sayısı gruplar arasında anlamlı olarak değişmemiştir (145).

5.3.2. Adım Genişliği

Yürüme hızı, adım uzunluğu, adım sayısı gibi yürüme parametrelerinde olduğu gibi, bireylerin belli bir yürüme hızı için tercih ettikleri bir adım genişliği vardır. Adım genişliği değeri, bireyin frontal düzlem stabilitesini etkileyen en önemli faktör olarak ortaya çıkmaktadır (146). Dolayısıyla adım genişliği değerinin klinik olarak incelenmesi, bireylerin frontal düzlemdeki denge kabiliyetleri ile ilgili önemli bilgiler vermektedir (102). Örneğin yaşlı bireylerde lateral yöndeki dengenin zayıflaması ile birlikte, kompensatuar bir strateji olarak genç bireylere göre daha geniş adım genişliği değerlerinde yürümeyi tercih ederler (147). Benzer şekilde, Down Sendromlu bireylerin ayaklarının yere basması sırasında kontrollerinin daha zayıf olması ve genel olarak yürüme sırasındaki dengelerinin sağlıklı bir şekilde sağlanamamasına bağlı olarak daha geniş adım genişliği değerlerine sahiptirler (148). Obezlerde ise daha ağır alt ekstremiteler ve daha geniş uyluk çapı, bu bireylerin daha geniş adım genişliği değerlerinde yürümelerine ve ayak salınım sirkumdiksiyonlarını arttırmalarına neden olur. Diğer yandan, bireyleri tercih ettikleri adım genişliğinden daha geniş adım genişliğinde yürütüldükleri sırada enerji tüketiminin yaklaşık % 50 oranında arttığı gösterilmiştir (149).

Adım genişliği diğer bir açıdan, VKM'nin hareket ettiği yörüngenin lateral sınırlarını belirler. Yürüme sırasında VKM adım genişliği sınırları dışına çıkarsa, lateral dengenin sağlanabilmesi için birey bunu hemen düzeltecek hareketler yapar. Adım genişliğinin her adımda kontrol edilmesi, VKM için uygun lateral genişliğin sürekli sağlanıp, yürüme sırasındaki dinamik stabilitenin korunmasına katkıda bulunur (150).

Çalışmamızda, obez bireylerin 3 değişen yürüme hızı için de normal kilodaki bireylere oranla daha büyük adım genişliği değerlerine sahip olduğu gösterilmiştir. Ayrıca bireylerin farklı hızlarda tekrarlayan ölçümlerde yapılan analize göre yürüme hızı arttıkça, tercih edilen adım genişliği değerlerinin de arttığı gözlenmiştir. Ancak bu artış istatistiksel olarak anlamlı değildir. Yalnızca kontrol grubu içinde % 30 yavaş hızda yürüme sırasındaki adım genişliği, % 30 fazla hızda yürüme sırasındaki adım genişliğinden küçük bulunmuştur.

Benzer şekilde Browning ve ark.'larının normal kilolu ve obez bireylerle gerçekleştirdikleri çalışmada, obez bireylerin tercih ettikleri adım genişliği değerlerinin normal kilolu bireylerden ortalama % 30 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Buna karşılık, yürüme hızı artışıyla birlikte adım genişliği anlamlı olarak değişmemiştir (145). Spyropoulos ve ark.'ları ise normal yürüme sırasında obez bireylerin adım genişliğinin normal kilolu bireylerin adım genişliğinin yaklaşık iki katı olduğunu göstermişlerdir (144).

5.3.3. VKM Vertikal ve Mediyolateral Yer Değişimi

5.3.3.1. VKM'nin Vertikal Yer Değişimi

VKM'nin vertikal yer değişiminin hesaplanması, yürümenin klinik analizi için değerli bir yöntem olup, bütün vücudun mekanik performansını yansıtarak yürümenin verimliliği hakkında önemli bilgiler verir (150). Çünkü VKM'nin yer değişim paterni temelde, vücudu bir noktadan diğer bir noktaya götürmek için etkili tüm hareket ve kuvvetlerin bir sonucu olarak gerçekleşir.

Saunders ve ark.'ları VKM'nin vertikal yer değişiminin, net yürüme enerji tüketimi ile ilişkisinin önemini ilk tanımlayan grup olmuştur. Bu grup, insanda yürümenin etkinliğinin 6 önemli faktöre bağlı olduğunu ve bunlardan 5 faktörün VKM'nin vertikal yer değişimini azaltmaya çalışıp net yürüme enerji tüketimini azaltmaya yönelik evrildiğini ileri sürmüştür (151). Ayrıca, VKM'nin vertikal yer değişiminin ölçülmesi, bireyin sağ ve sol tarafı veya hasta ve sağlıklı deneklerin yürüme asimetrisini incelemede de kullanışlı bir metot olarak ortaya çıkmaktadır. Benzer

şekilde; bireyin yürüme, koşma veya zıplama gibi çeşitli aktiviteleri sırasında dengesinin değerlendirmesinde de sıklıkla kullanılmaktadır (150).

Çalışmamızın verilerine göre obez bireylerin VKM'lerinin vertikal ekseninde pozitif yer değişimleri, 3 yürüme hızında da kontrol grubuna göre daha fazla olmasına rağmen aradaki fark istatistiksel olarak anlamlı değildir. Ancak, hız artışı yapılarak gerçekleştirilen tekrarlayan ölçümlere göre, kontrol grubu bireylerinde VKM'nin vertikal ekseninde pozitif yer değişimi artmıştır. Obez grubu içinde ise, % 30 yavaş hızda yürüme sırasındaki VKM'nin vertikal ekseninde pozitif yer değişimi, TEYH'de ve % 30 fazla hızda yürüme sırasındakine göre az bulunmuştur.

Gard ve ark.'ları artan yürüme hızı ile birlikte artış gösteren adım uzunluğuna bağlı olarak VKM vertikal yer değişiminin arttığını ileri sürmüşlerdir (152). Saunders ve ark.'ları ise, yürüme hızının artmasıyla VKM'nin vertikal yer değişimi artışına paralel olarak yürüme enerji tüketimi değerlerinin de gruplar içinde arttığını göstermişlerdir (151). Benzer şekilde, Orendurff ve ark.'larının değişen yürüme hızlarında VKM'nin yer değişimini ölçtükleri çalışmada, VKM vertikal yer değişiminin artan yürüme hızı ile artıp, VKM mediolateral yer değişiminin ise azaldığı belirtilmiştir (142). Diğer yandan, Malatesta ve ark.'larının obez ve normal kilolu bireylerin 10 m'lik yürüme yolunda yürüdükleri sırada gerçekleştirilen yürüme analizine göre, obez bireylerin VKM vertikal yer değişimi normal kilolu bireylere göre daha düşük çıkmıştır (7).

Yapılan çalışmalar neticesinde; VKM'nin yer değişiminin saptanmasında kullandığımız sakral işaretleyici metodunun, segmental analiz ve kuvvet levhaları ile VKM yer değişimi analizi metotlarına göre daha zayıf bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Çünkü bu metot temel olarak VKM'nin gövde ve pelvise anatomik olarak oldukça yakın olmasından dolayı, bu bölgelerin hareketinin VKM'nin hareketini taklit ettiğini kabul eder (150). Ancak yapılan bazı çalışmalarda, bütün vücudun kütle merkezinin tek bir işaretleyici ile değerlendirilmesinin çok doğru bir yaklaşım olmadığı ileri sürülmüştür. Özellikle bir hasta grubunun verilerinin kontrol grubu ile karşılaştırıldığı çalışmalarda, hasta grubunda bozulan yürüme paternine bağlı olarak, VKM'nin sakral işaretleyicinin yerleştirildiği noktadan farklı bir bölgeye kaymış olabileceği öne sürülmüştür (150). Benzer şekilde Eames ve ark.'larının sağlıklı ve myelomeningoselli

çocuklarla gerçekleştirdikleri çalışmada, sakral işaretleyici metodunun diğer iki metoda göre hasta grubunda VKM yer değişimini olduğundan fazla ölçtüğü kaydedilmiştir (153). Diğer bir açıdan Racic ve ark.'larının yürüme analizi ile ilgili derlemesinde, obez bireylerin yürüme analizinde daha doğru sonuçlar elde edilmesi için normal kilolu bireylere göre daha çok sayıda işaretleyici kullanılması gerektiği ileri sürülmüştür (56). Malatesta ve ark.'ları da, obez bireylerde daha fazla olan deri altı yağ dokusunun yürüme sırasında, özellikle VKM'nin yön değiştireceği yürüme fazlarında, işaretleyiciyi aşağıya çektiğini ileri sürmüştür (7). Bu nedenler neticesinde obez bireyler ve kontrol grubu arasında VKM'nin vertikal yer değişimi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilememiş olabilir.

5.3.3.2. VKM'nin Mediyolateral Yer Değişimi

Yürüme ya da diğer fiziksel aktiviteler sırasında, VKM'lerinin mediyolateral yer değişiminin daha fazla olması ve daha değişken gövde hareketine sahip olmaları denge sorunu yaşayan hasta gruplarının karakteristik özelliğidir. Örneğin travmatik beyin yaralanması, serebellar patolojiler ve Down Sendromu gibi durumlarda özellikle yüksek yürüme hızlarında, bireylerin mediyolateral stabilitesi azalır ve VKM mediyolateral yer değişimi artar (148). Peyrot ve ark.'ları ise obez bireylerin daha geniş adım genişliğinde yürümeyi tercih etmeleri ile normal kilolu bireylere göre daha fazla VKM mediyolateral yer değişimine sahip olduklarını ileri sürmüştür (154).

Çalışmamızın verilerine göre obez bireylerin VKM mediyolateral ekseninde pozitif yer değişimi 3 yürüme hızı koşulunda da kontrol grubuna göre daha fazla bulunmuştur. Grup içi karşılaştırmalar göz önünde bulundurulduğunda ise, kontrol grubunda % 30 yavaş yürüme sırasındaki VKM mediyolateral ekseninde pozitif yer değişimi, TEYH ve % 30 fazla hızda yürüme sırasındaki değişimden fazla bulunmuştur. Obez grubunda ise, her yürüme hızı artışı protokolü ile VKM mediyolateral ekseninde pozitif yer değişimi azalmıştır.

Benzer şekilde Malatesta ve ark.'larının, obez ve normal kilolu bireyler 10 m'lik yürüme yolunda TEYH'lerinde yürüdükleri sırada gerçekleştirilen yürüme analizi sonuçlarına göre, obez bireylerin VKM'lerinin mediyolateral yer değişimi değerlerinin

normal kilolu deneklere göre % 47 oranında daha fazla olduğu gözlenmiştir (7). Diğer açıdan, Orendurff ve ark.'larının farklı yürüme hızlarında gerçekleştirdikleri yürüme analizi sonuçlarına göre, yürüme hızı arttıkça VKM mediyolateral yer değişimi çalışmamıza benzer şekilde azalmıştır (142). Gordon ve ark.'larının ise bireylerin farklı adım uzunluklarında yürüdükleri sırada gerçekleştirdikleri yürüme analizine göre, tercih edilen adım uzunluğundan % 20 daha fazla adım uzunluğunda yüründüğü sırada VKM mediyolateral yer değişimi, tercih edilen adım uzunluğunda yürüme durumuna göre yaklaşık % 30 oranında artmıştır (140).

Ayrıca Malatesta ve ark.'ları, obez bireylerin artmış yürüme enerji tüketimi değerlerinin, bu bireylerin yürüme sırasında dengelerini sağlamak için daha geniş adım genişliğinde yürümeyi tercih etmelerine ve VKM'lerinin mediyolateral hareket sınırlarının daha geniş olmasına bağlamıştır (7). Benzer şekilde Orendurff ve ark.'ları enerji açısından verimli bir yürümeyi sağlayan faktörlerden birinin, VKM'nin mediyolateral yer değişimini azaltmak olduğunu ileri sürmüşlerdir (142). Saunders ve ark.'ları ise kalça addüksiyon hareketinin ve dizin genu valgum açısının azaltılmasının, pelvisin mediyolateral salınımını azaltmaya yönelik hareketler olduğunu savunmuştur. (151). Spyropoulos ve ark.'ları ise normal yürüme sırasında orta salınım fazında obez bireylerin diz abdüksiyon açısının 19° , normal kilolu bireylerde ise 9° olduğunu göstermişlerdir (144).

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmamızda normal kilolu ve obez bireylerin istirahat ve 3 farklı yürüme hızında enerji tüketimi (VO_2) değerleri değerlendirilmiştir. Bireyler yürüme protokollerini gerçekleştirdikleri sırada VKM ve topuk bölgelerine takılan 3 adet işaretleyici ile temporal ve spasyal parametreleri ile VKM'nin mediolateral ve vertikal yer değişimi hesaplanmıştır. Bulgularımız göz önünde bulundurulduğunda çıkarılan sonuçlar aşağıda yer almaktadır:

1. Obezler normal kilolu bireylere oranla daha fazla İET değerlerine sahiptir. Benzer şekilde, obez bireylerin normal kilolu bireylere göre İET VO_2 seviyeleri de daha fazla bulunmuştur. Ancak tüm bireylerin İET VO_2 (l/dk) değerleri düzeltilmiş yağsız vücut kütlesi ile normalize edildiğinde, gruplar arası fark istatistiksel olarak anlamlı değildir. Magnetik rezonans görüntüleme (MR) veya dual enerji X-ışını absorpsiyometrisi (DEXA) gibi yöntemlerin uygulanmasının mümkün olmadığı ve küçük örneklem sayılı çalışmalarda İET'yi, İET ve yağsız vücut kütlesi ile oluşturulan regresyon formülü sonucu elde edilen regresyon değeri ile toplanarak, düzeltilmiş yağsız vücut kütlesi ile normalize etmek alternatif bir yaklaşım olarak kullanılabilir.

2. Bireyler zeminde yürüdükleri sırada kızılötesi sensörler yardımı ile belirlenen TEYH'leri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Obez katılımcılarımızın oldukça genç olması ve birçoğunun sınıf 1 obez ($30 \text{ kg/m}^2 \leq VKİ \leq 34,9 \text{ kg/m}^2$) olması, yürüme biyomekaniğini daha az oranda etkilemiş olabilir. Obez bireyler, yürüme sırasında normal kilolu bireylere göre daha fazla enerji tüketerek, normal yürüme paternini korumaya çalışmaktadır.

3. Çalışmamızda bireylerin 3 farklı hızda yürüdükleri sırada ölçülen VO_2 değerleri, hızın artmasıyla birlikte artış göstermiştir. Ayrıca, obezler ve normal kilolu bireylerin 3 yürüme hızında kaydedilen VO_2 değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Obez bireylerin artmış vücut kütlelerini yer çekimine karşı hareket ettirmenin normal kilolu bireylere oranla daha güç olması, daha ağır alt ekstremitelere sahip olma, daha geniş adım genişliğinde yürüme, vb. sebeplerle yürüme sırasında normal kilolu bireylerden daha fazla enerji tüketirler. Dolayısıyla obez bireyler

için düzenlenen egzersiz ve rehabilitasyon programlarında bu fark göz önünde bulundurularak, fiziksel aktivite şiddetinin bireye uygun olarak hazırlanması gerekir.

4. Bireylerin 3 farklı yürüme hızında hesaplanan çift adım sayısı ve çift adım uzunluğu gruplar arasında istatistiksel olarak farklı bulunmamıştır. Buna karşılık, hız artışı ile birlikte her iki grupta da çift adım sayısı ve çift adım uzunluğu artmıştır. Gruplar arasında TEYH'nin istatistiksel olarak farklı bulunmaması, çift adım sayısı ve çift adım uzunluğu değerlerinin de gruplar arası farklı değişmemesine yol açmış olabilir. Gruplar arası TEYH, çift adım sayısı ve çift adım uzunluğu parametreleri bakımından anlamlı bir farklılık görülmemiş olması, yürüme sırasında tüketilen enerji miktarları arasındaki farkın gruplar arası istatistiksel olarak farklı parametreler olan adım genişliği ve VKM mediyolateral yer değişimi açısından yorumlanmasına imkân vermektedir.

5. Obez bireylerin 3 yürüme hızında da adım genişliği değerleri normal kilolu bireylerden fazla bulunmuştur. Diğer taraftan, hız artışı ile adım genişliği anlamlı olarak değişmemiş olup, yalnızca normal kilolu bireylerin % 30 yavaş yürüme hızı ve % 30 hızlı yürüme hızındaki adım genişliği arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Obez bireyler normal kilolu bireylerden daha geniş adım genişliğinde yürüyerek, yürüme sırasındaki lateral dengelerini stabilize etmeye çalışıyor olabilir.

6. Çalışmamızda normal kilolu ve obez bireylerin 3 farklı yürüme hızında yürüdükleri sırada VKM işaretleyicisinin mediyolateral eksenindeki yer değişimleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Ayrıca her yürüme hızı artışı protokolü ile VKM işaretleyicisinin mediyolateral eksenindeki yer değişimi azalmıştır. Obez bireyler yürüme sırasındaki dengelerini koruyabilmek için daha geniş adım genişliğinde yürümeyi tercih ederler. Buna bağlı olarak VKM mediyolateral yer değişimi obez bireylerde normal kilolu bireylere göre daha fazla bulunur. Çünkü adım genişliği yaklaşık olarak VKM'nin lateral ekseninde ulaşabileceği maksimum sınırları belirler. Çalışmamızın bulgularına göre, obezler ve normal kilolu bireyler arasında yürüme enerji tüketimleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bulunan farklılık, bir açıdan VKM'nin mediyolateral ekseninde daha çok yer değiştirmesi ile açıklanabilir. Obez bireylerde normal kilolu bireylere göre, VKM'de daha büyük bir kütlenin

mediyolateral ekseninde daha fazla yer değiştirmesi nedeniyle, bu bireylerin yürüme sırasında daha çok enerji harcaması son derece olasılıklı görünmektedir.

7. Çalışmamızdaki bireyler 3 farklı yürüme hızında yürüdükleri sırada VKM işaretleycisinin vertikal eksenindeki yer değişimleri arasındaki fark gruplar arasında istatistiksel olarak farklı bulunmamıştır. Buna karşın, yürüme hızının artmasıyla bireylerin VKM vertikal yer değişimi artmıştır. VKM vertikal yer değişimi, yürüme enerji tüketimini oldukça etkileyen bir parametredir. Vertikal yer değişiminin istatistiksel olarak farklı olmaması gruplar arası benzer olan TEYH'dan kaynaklanabilir. Diğer yandan, bu bireylerin yürüme sırasında daha fazla enerji tüketerek vertikal yer değişimini kısıtlayıp normal yürüme paternlerini korumaya çalıştıklarını söyleyebiliriz.

Çalışmamızın verilerine göz önünde bulundurulduğunda, obez bireylerin yürüme sırasında daha çok lateral dengelerinin etkilendiği ve daha geniş adım genişliğinde yürüyerek VKM'nin mediyolateral eksenindeki hareketini bu sınırlar içinde tutmaya çalıştığını söylenebilir. Bunları yapmak için de normal kilolu bireylere göre yürüme sırasında daha fazla enerji harcadıkları düşünülebilir. Obez bireyler için düzenlenecek egzersiz reçetelerinde ve rehabilitasyon programlarında, ayrıca özellikle ileri yaş obez bireylerin yürüme ve ev kazalarına bağlı yaralanmalarının önlenmesinde bu veriler dikkate alınabilir.

KAYNAKLAR

1. **Semin İ.** Obezite Fizyolojisi. *Archives of Clinical Toxicology*, **2014**;1:2-7.
2. World Health Organization (WHO): Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation. *World Health Organ Tech Rep Ser*, **2000**;894:i-xii, 9, 16–20.
3. **Aditya BS, Wilding JPH.** *An Atlas of Investigation and Management OBESITY*. 1st Ed. Clinical Publishing, Oxford, UK, **2011**.
4. **Guyton AC.** *Textbook of Medical Physiology*, 12th Ed., Berrak Çağlayan Yeğen (çev.), İstanbul, Nobel Tıp Kitabevi, **2013**.
5. World Health Organization. *Obesity and overweight*. FactSheet, **2015**. Erişim: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/en/#>
6. **Slentz CA, Duscha BD, Johnson JL, Ketchum K, Aiken LB, Samsa GP, Houmard JA, Bales CW, Kraus WE.** Effects of the amount of exercise on body weight, body composition, and measures of central obesity: STRRIDE – a randomized controlled study. *Arch Intern Med*, **2004**;164: 31–39.
7. **Malatesta D, Vismara L, Menegoni F, Galli M, Romei M, Capodaglio P.** Mechanical External Work and Recovery at Preferred Walking Speed in Obese Subjects. *Medicine&Science in Sports&Exercise*, **2009**;426-434.
8. **Lazzer S, Boirie Y, Bitar A, Montaurier C, Vernet J, Meyer M, Vermorel M.** Assessment of energy expenditure associated with physical activities in free-living obese and nonobese adolescents. *Am J Clin Nutr*, **2003**;78: 471–479.
9. **McGraw B, McClenaghagh BA, Williams HG, Dickerson J, Ward DS.** Gait and postural stability in obese and nonobese prepubertal boys. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, **2000**; 81:484–489.
10. **Gesta S, Tseng Y, Kahn C.** Developmental Origin of Fat: Tracking Obesity to Its Source. *Cell*, **2007**; 131:241-256.
11. **Fantuzzi G, Mazzone T.** *Adipose Tissue and Adipokines in Health and Disease*. 1st Ed., Humana Press, **2007**.
12. **Cannon B, Nedergaard J.** Brown Adipose Tissue: function and physiological significance. *Physiol Rev*, **2004**;84:277-359.

13. **Almind K, Manieri M, Siwitz WI, Cinti S, Kahn CR.** Ectopic brown adipose tissue in muscle provides a mechanism for differences in risk of metabolic syndrome in mice. *Proc Natl Acad Sci*, **2007**; 104: 2366-2371.
14. **Villanueva EC, Myers MG.** Leptin receptor signaling and the regulation of mammalian physiology. *Int J Obes*, **2008**;7:8-12.
15. **Elias CF, Kelly JF, Lee CE, Ahima RS, Drucker DJ, Saper CB, Elmquist JK.** Chemical chracterization of leptin-activated neurons in the rat brain. *J Comp Neurol*, **2000**;423:261-281.
16. **Friedman JM, Halaas JL.** Leptin and the regulation of body weight in mammals. *Nature*, **1998**; 395:763-770.
17. **Savaşhan Ç, Sarı O, Aydoğan Ü, Erdal M.** İlkokul çağındaki çocuklarda obezite görülme sıklığı ve risk faktörleri. *Türk Aile Hek Derg*, **2015**;19:14-21.
18. **Ng M, Fleming T, Robinson M, Thomson B, Graetz N, Margono C, Mullany EC, Biryukov S, Abbafati C, Abera SF.** Global, regional, and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *Lancet*, **2014**;384:766–81.
19. T.C.Sağlık Bakanlığı, Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Gıda Güvenliği Daire Başkanlığı, Toplum Beslenmesi Şubesi. *Türkiye’de Obezitenin Görülme Sıklığı*, Ankara, **2004**.
20. **İnal S, Canbulat N.** Çocukluk çağı obezitesine genel bakış. *Güncel Pediatri*, **2013**;11:27-30.
21. T.C. Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Milli eğitim Bakanlığı. *Türkiye’de Okul Çağı Çocuklarında (6-10 yaş grubu) Büyümenin İzlenmesi (TOÇBİ) Projesi Araştırma Raporu*. Sağlık Bakanlığı Yayın. No:834, Ankara, **2011**.
22. **Nieman DC.** Exercise Testing and Prescription. *A Health-Related Approach*. 5th Ed. McGraw-Hill Higher Education, New York, US, **2003**.
23. **Zhang F, Basinski MB, Beals JM.** Crystal structure of the obese protein leptin-E100. *Nature*, **1997**; 387(6629):206-209.

24. **Montague CT, Farooqi IS, Whitehead JP.** Congenital leptin deficiency is associated with severe early-onset obesity in humans. *Nature*, **1997**;387(6636):903-908.
25. **Strobel A, Issad T, Camoin L, Ozata M, strosberg AD.** A leptin missense mutation associated with hypogonadism and morbid obesity. *Nature*, **1998**;18(3):213-215.
26. **Fischer-Posovszky P, Schnurbein J, Moepps B.** A new missense mutation in the leptin gene causes mild obesity and hypogonadism without affecting T cell responsiveness. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, **2010**;95(6):2836-2840.
27. **Klement K, Vaisse C, Lahlou N.** A mutation in the human leptin receptor gene causes obesity and pituitary dysfunction. *Nature*, **1998**;392(6674):398-401.
28. **Miraglia DGE, Santoro N, Cirillo G, D'Urso L, Di Toro R, Perrone L.** Mutational Screening of the CART gene in obese children: identifying a mutation (Leu34Phe) associated with reduced resting energy expenditure and cosegregating with obesity phenotype in a large family. *Diabetes*, **2001**; 50(9):2157-2160.
29. **Miraglia DGE, Santoro N, Fiumani P, Dominguez G, Kuhar MJ, Perrone L.** Adolescents carrying a missense mutation in the cart gene exhibit increased anxiety and depression. *Depression and Anxiety*, **2006**;23(2):90-92.
30. **Speakman JR.** Thrifty genes for obesity and the metabolic syndrome-time to call of the search?. *Diabetes and Vascular Disease Research*, **2006**;3(1):7-11.
31. **Tabor HK, Risch NJ, Myers NM.** Candidate-gene approaches for studying complex genetic traits: practical considerations. *Nature Reviews Genetics*, **2002**;3(5):391-397.
32. **Bell CG, Walley AJ, Froguel P.** The genetics of Human Obesity. *Nature Reviews Genetics*, **2005**; 6(3):221-234.
33. **Vimaleswaran KS, Loos RJ.** Progress in the genetics of common obesity and type 2 diabetes. *Expert Reviews in Molecular Medicine*, **2010**;12:7.
34. **Maures TJ, Kurzer JH, Carter-Su C.** SH2B1 (SH2B) and JAK2: a multifunctional adaptor protein and kinase made for each other. *Trends in Endocrinology and Metabolism*, **2007**;18(1):38-45.
35. **Leibowitz SF, Alexander JT.** Hypothalamic serotonin in control of eating behavior, meal size, and body weigh. *Biological Phychiatry*, **1998**;44(9):851-864.

36. **Tarpey PS, Raymond FL, O'Meara S.** Mutations in CUL4B, which encodes a ubiquitin E3 ligase subunit, cause an X-linked mental retardation syndrome associated with aggressive outbursts, seizures, relative macrocephaly, central obesity, hypogonadism, pes cavus, and tremor. *The American Journal of Human Genetics*, **2007**;80(2):345-352.
37. **Fawcett KA, Barroso I.** The genetics of obesity: FTO leads the way. *Trends in Genetics*, **2010**; 26(6):266-274.
38. **Fredriksson R.** The obesity gene, FTO, is of ancient origin, up-regulated during food deprivation and expressed in neurons of feeding-related nuclei of the brain. *Endocrinology*, **2008**;149:2062-2071.
39. **Gimble JM.** Circadian biology and sleep:missing links in obesity and metabolism. *Obesity Review*, **2009**;10(2):1-5.
40. **Giskes K, Lenthe F, Avendano-Pabon M, Brug J.** A systematic review of environmental factors and obesogenic dietary intakes among adults: are we getting closer to understanding obesogenic environments?. *Obesity Reviews*, **2011**;12:e95-e106.
41. **Swinburn BA, Sacks G, Hall KD, McPherson K, Finegood DT, Moodie ML, Gortmaker SL.** The global obesity pandemic:shaped by global drivers and local environments. *Lancet*, **2011**;378:804-814.
42. **Strong WB, Malina RM, Blimkie CJ, et al.** Evidence based physical activity for school-age youth. *J Pediatr*, **2005**;146:732–737.
43. **Hills AP, Byrne NM.** State of the science: a focus on physical activity. *Asia Pac J Clin Nutr*, **2006**; 15(Suppl):40–48.
44. **Fogelholm M.** Physical activity, fitness and fatness: relations to mortality, morbidity and disease risk factors. A systematic review. *Obes Rev*, **2010**;11:202–21.
45. **Leskinen T, Sipila S, Alen M, Cheng S, Pietilainen KH, Usenius JP, Suominen H, Kovanen V, Kainulainen H, Kaprio J, Kujalo UM.** Leisure-time physical activity and high-risk fat: a longitudinal population-based twin study. *Int J Obes (Lond)*, **2009**;33:1211-1218.
46. **Jeffery RW, Wing RR, Sherwood NE, Tate DF.** Physical activity and weight loss: does prescribing higher physical activity goals improve outcome?. *Am J Clin Nutr*, **2003**;78:684–689.
47. **Donnelly JE, Blair SN, Jakicic JM.** American Collage of Sports Medicine position stand. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Med Sci Sports Exer*, **2009**;41:459-471.

48. **Hootman JM, Macera CA, Ainsworth BE, Addy CL, Martin M, Blair SN.** Epidemiology of musculoskeletal injuries among sedentary and physically active adults. *Med Sci Sports Exerc*, **2002**; 34:838–44.
49. **Maffiuletti NA, Jubeau M, Munzinger U, Bizzini M, Agosti F, De Col A.** Differences in quadriceps muscle strength and fatigue between lean and obese subjects. *Eur J Appl Physiol*, **2007**;101:51–9.
50. **Zajac FE, Neptune RR, Kautz SA.** Biomechanics and muscle coordination of human walking: part II: lessons from dynamical simulations and clinical implications. *Gait & Posture*, **2003**;17:1–17.
51. **Lerner ZF, Board WJ, Browning RC.** Effects of obesity on lower extremity muscle function during walking at two speeds. *Gait & Posture*, **2014**;39:978-984.
52. **DeVita P, Hortobagyi T.** Obesity is not associated with increased knee joint torque and power during level walking. *J Biomech* **2003**;36(9):1355–62.
53. **Whittle MW.** *Gait Analysis, An Introduction*. 4th. Ed., Elsevier, **2007**.
54. **Kirtley C.** *Clinical Gait Analysis. Theory and Practice*. 1st. Ed., Elsevier, **2006**.
55. **Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, Siegelbaum SA, Hudspeth AJ.** *Principles of Neural Science*. 5th. Ed., Mc Graw Hill, **2013**.
56. **Racic V, Pavic A, Brownjohn JMV.** Experimental identification and analytical modelling of human walking forces: Literature review. *Journal of Sound and Vibration*, **2009**;326:1-49.
57. **Murray MP.** Gait as a total pattern of movement. *American Journal of Physical Medicine*, **1967**; 46:290-333.
58. **Baker Y.** *Measuring Walking: A Handbook of Clinical Gait Analysis*. Mac Keith Press, London, **2013**.
59. **Rose-Jacobs R.** Development of gait at slow, free, and fast speeds in 3- and 5-year-old children. *Physical Therapy*, **1983**;63:1251-1259.
60. **O'Connor SM, Donelan JM.** Fast visual prediction and slow optimization of preferred walking speed. *J Neurophysiol*, **2012**;107:2549-2559.
61. **Bertram JE.** Constrained optimization in human walking: cost minimization and gait plasticity. *J Exp Biol*, **2005**;208:979-991.

62. **Smith CA, Rodman JR, Chenuel BJ, Henderson KS, Dempsey JA.** Response time and sensitivity of the ventilatory response to CO₂ in unanesthetized intact dogs: central vs. peripheral chemoreceptors. *J Appl Physiol*, **2006**;100: 13–19.
63. **Hurt CP, Rosenblatt N, Crenshaw JR, Grabiner MD.** Variation in trunk kinematics influences variation in step width during treadmill walking by older and younger adults. *Gait & Posture*, **2010**; 31:461-464.
64. **Perry J.** *Gait Analysis: Normal and Pathological Function*. Thorofare, NJ:Slack Incorporated, **1992**.
65. **Prince F, Winter DA, Stergiou P.** Anticipatory control of upper body balance during human locomotion. *Gait & Posture*, **1994**;2:19-25.
66. **Lobet S, Rodriguez-Merchan EC.** Management strategies for ankle arthropathy. *5th Haemophilia Global Summit*, 13-16, **2015**.
67. **White S, Yack HJ, Tucker CA, Lin HY.** Comparison of vertical ground reaction forces during overground and treadmill walking. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **1998**;30:1537-1542.
68. **Alton F, Caplan S, Morrissey MC.** A kinematic comparison of overground and treadmill walking. *Clinical Biomechanics*, **1998**;13:434-440.
69. **Stolze H, Kuhtz-Buschbeck JP, Mondwurf C.** Gait analysis during treadmill and overground locomotion in children and adults. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **1997**; 105:490-497.
70. **Matsas A, Taylor N, McBurney H.** Knee joint kinematics from familiarised treadmill walking can be generalised to overground walking in young unimpaired subjects. *Gait & Posture*, **2000**;11(1):46–53
71. **Parvataneni K, Ploeg L, Olney SJ, Brouwer B.** Kinematic, kinetic and metabolic parameters of treadmill versus overground walking in healthy older adults. *Clin Biomech*, **2009**;24(1):95–100.
72. **Dal U, Erdoğan T, Resitoglu B, Beydagi H.** Determination of preferred walking speed on treadmill may lead high oxygen cost on treadmill walking. *Gait & Posture*, **2010**;31:366-369.
73. **Messenger N.** Moving the human machine: understanding the mechanical characteristics of normal human walking. *Physics Education*, **1994**;29:352-357.
74. **Davis RB, Ounpuu S, Tybursky D, Gage JR.** A gait analysis data collection and reduction technique. *Human Movement Science*, **1991**;10:575-578.

75. **Sih BL, Hubbard M, Williams KR.** Correcting out-of-plane errors in two-dimensional imaging using nonimage-related information. *Journal of Biomechanics*, **2001**;34:257-260
76. **Cappozzo A, Leardini U, DellaCroce L, Chiari.** Human movement analysis using stereophotogrammetry. Part1:theoretical background. *Gait and Posture*, **2005**;21:186–196.
77. **Braune W, Fischer O.** *The HumanGait*, Springer, Berlin, **1987**
78. **Esquenazi A, Hiari B.** Assessment of gait and orthotic prescription. *Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, **1991**;2:473–485.
79. **Chiari L, Della Croce U, Leardini A, Cappozzo A.** Human movement analysis using stereophotogrammetry. Part2:instrumental errors. *Gait and Posture*, **2005**;21:197–211.
80. **Medved V.** *Measurement of Human Locomotion*, CRC Press, Boca Raton, **2001**.
81. **Bouten CVC, Koekoek KTM, Verduin M, Kodde R, Janssen JD.** A triaxial accelerometer and portable data processing unit for the assessment of daily physical activity. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* **1997**; 44:136–147.,
82. **Zeng H, Zhao Y.** Sensing movement: Microsensors for body motion measurement. *Sensors*, **2011**; 11:638–660.
83. **Catalfamo P, Ghoussayni S, Ewins D.** Gait event detection on level ground and incline walking using a rate gyroscope. *Sensors*, **2010**;10:5683–5702.
84. **Kobayashi K, Gransberg L, Knutsson E, Nolen P.** A new system for three-dimensional gait recording using electromagnetic tracking. *Gait Posture*, **1997**;6:63–75.
85. **Tognetti A, Bartalesi BR, Lorussi F, De Rossi D.** Body segment position reconstruction and posture classification by smart Textiles. *Trans. Inst. Meas. Control*, **2007**;29: 215–254.
86. **Salvadeo D, Lazer S, Busti C.** Gas exchange kinetics in obese adolescents. Inferences on exercise tolerance and prescription. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, **2010**;299(5):1298-1305.
87. **McArdle WD, Katch VI, Katch VL.** *Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance*, 6th Ed. Lippincott Williams & Wilkins, **2006**.
88. **Matarese LE, Fada RD.** Indirect Calorimetry: Technical Aspects. *J Am Diet Assoc*, **1997**;97:154-160.
89. **Weir JB de V.** New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol*, **1949**;109:1-9.

90. **Wilkin LD, Cheryl A, Haddock BL.** Energy expenditure comparison between walking and running in average fitness individuals. *J Strength Cond Res*, **2012**;26(4):1039-44.
91. **Thomas S, Reading J, Shephard RJ.** Revision of the Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q). *Can J Sport Sci*, **1992**;17(4):338-345.
92. **Dal U, Cimen OB, Incel NA, Adim M, Dag F, Erdogan AT, Beydagi H.** Fibromyalgia syndrome patients optimize the oxygen cost of walking by preferring a lower walking speed. *J Musculoskelet Pain*, **2011**;19(4):212-217.
93. **Dağ F.** Patellafemoral Ağrı Sendromu Olan Sporcuların Yürüme Enerji Tüketimlerinin ve Plantar Basınç Dağılımlarının İncelenmesi, Doktora Tezi. Mersin: Mersin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, **2014**.
94. **Plotnik M, Azrad T, Bondi M, Bahat Y, Gimmon Y, Zeilig G, Inzelberg R, Siev-Ner I.** Self-selected gait speed –over ground versus self-paced treadmill walking, a solution for a paradox. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, **2015**;12:20.
95. **Mellecker RR, McManus AM.** Measurement of Resting Energy Expenditure in Healthy Children. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, **2009**;33:6.
96. **Lavcanska V, Taylor NF, Schache AG.** Familiarization to treadmill running in young unimpaired adults. *Human Movement Science*, **2005**;24:544-557.
97. **Compher C, Frankenfield D, Keim N, Roth-Yousey L.** Best Practice Methods to Apply to Measurement of Resting Metabolic Rate in Adults: A Systematic Review. *J Am Diet Assoc*, **2006**; 106:881-903.
98. **Dal U, Erdogan T, Resitoglu B, Beydagi H.** Determination of preferred walking speed on treadmill may lead to high oxygen cost on treadmill walking. *Gait Posture*. **2010**;31(3):366-369.
99. **Weir JB.** New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism 1949. *Nutrition*, **1990**;6:213-221.
100. **Matarese LE.** Indirect calorimetry: technical aspects. *J Am Diet Assoc*, **1997**;97(2): 154-160.
101. **Agiovlasitis S, McCubbin JA, Yun J, Mpitsos G, Pavol MJ.** Effects of Down syndrome on three dimensional motion during walking at different speeds. *Gait & Posture*, **2009**;30:345-350.
102. **Rosenblatt NJ, Grabiner MD.** Measures of frontal plane stability during treadmill and overground walking. *Gait & Posture*, **2010**;31:380-384.

103. **Faria SL, Faria OP, Menezes CS, de Gouvea HR, de Almeida Cardeal M.** Metabolic profile of clinically severe obese patients. *Obes Surg*, **2012**;22:1257–62.
104. **Roberts SB.** Abnormalities of energy expenditure and the development of obesity. *Obes Res*, **1995**; 3:155–163.
105. **T.C. Sağlık Bakanlığı.** Türkiye Beslenme ve Sağlık Araştırması 2010: Beslenme Durumu ve Alışkanlıklarının Değerlendirilmesi Sonuç Raporu. Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, **2010**.
106. **Ng M, Fleming T, Robinson M, Thomson B, Graetz N, Margono C, Mullany EC, Biryukov S, Abbafati C, Abera SF.** Global, regional, and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *Lancet*, **2014**;384:766–81.
107. **Perri MG, Nezu AM, McKelvey WF, Shermer RL, Renjilian DA, Viegner BJ.** Relapse prevention training and problem-solving therapy in the long-term management of obesity. *J Consult Clin Psychol*, **2001**;69:722–6.
108. **Carneiro IP, Elliott SA, Siervo M, Padwal R, Bertoli S, Battezzati A, Prado CM.** Is Obesity Associated with Altered Energy Expenditure?, *Adv Nutr*, **2016**;7: 476–487.
109. **Jequier E.** Pathways to obesity. *Int J Obes Relat Metab Disord*, **2002**;26: 12–17.
110. **Levine JA.** Non-exercise activity thermogenesis (NEAT). *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab*, **2002**;16:679–702.
111. **Black AE, Coward WA, Cole TJ, Prentice AM.** Human energy expenditure in affluent societies: an analysis of 574 doubly-labelled water measurements. *Eur J Clin Nutr*, **1996**;50:72–92.
112. **Ravussin E, Lillioja S, Knowler WC, Christin L, Freymond D, Abbott WG, Boyce V, Howard BV, Bogardus C.** Reduced rate of energy expenditure as a risk factor for body-weight gain. *N Engl J Med*, **1988**;318:467–72.
113. **Verga S, Buscemi S, Caimi G.** Resting energy expenditure and body composition in morbidly obese, obese and control subjects. *Acta Diabetol*, **1994**;31:47–51.
114. **LeCheminant JD, Heden T, Smith J, Covington NK.** Comparison of energy expenditure, economy, and pedometer counts between normal weight and overweight or obese women during a walking and jogging activity. *Eur J Appl Physiol*, **2009**;106:675–82.
115. **Weijs PJM, Vansant GAAM.** Validity of predictive equations for resting energy expenditure in Belgian normal weight to morbid obese women. *Clinical Nutrition*, **2010**;29: 347–351.

116. Heymsfield SB, Gallagher D, Kotler DP, Wang Z, Allison DB, Heshka S. Body-size dependence of resting energy expenditure can be attributed to nonenergetic homogeneity of fat-free mass. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, **2002**;282:132–8.
117. Verga S, Buscemi S, Caimi G. Resting energy expenditure and body composition in morbidly obese, obese and control subjects. *Acta Diabetol*, **1994**;31:47–51.
- 118.. Dal U, Erdogan AT, Cureoglu A, Beydagi H. Resting energy expenditure in normal-weight and overweight/obese subjects was similar despite elevated sympathovagal balance. *Obes Facts*, **2012**;5: 776–83.
119. Carrasco F, Reyes E, Núñez C, Riedemann K, Rimler O, Sánchez G, Sarrat G. Resting energy expenditure in obese and non-obese Chilean subjects: comparison with predictive equations for the Chilean population. *Rev Med Chil*, **2002**;130:51–60.
120. DeLany JP, Kelley DE, Hames KC, Jakicic JM, Goodpaster PH. High energy expenditure masks low physical activity in obesity, *Int J Obes*, **2013**;37:1006-1011.
121. Ravussin E, Bogardus C. Relationship of genetics, age, and physical fitness to daily energy expenditure and fuel utilization. *Am J Clin Nutr*, **1989**;49:968-75.
122. Lazzer S, Boirie Y, Bitar A, Montaurier C, Vernet J, Meyer M, Vermorel M. Assessment of energy expenditure associated with physical activities in free-living obese and nonobese adolescents. *Am J Clin Nutr*, **2003**;78: 471–479.
123. Wearing SC, Hennig EM, Byrne NM, Steele JR, Hills AP. The biomechanics of restricted movement in adult obesity. *Obes Rev*, **2006**;7:13–24.
124. Malatesta D, Vismara L, Menegoni F, Galli M, Romei M, Capodaglio P. Mechanical external work and recovery at preferred walking speed in obese subjects. *Med Sci Sports Exerc*, **2009**;41: 426–434.
125. Nantel J, Brochu M, Prince F. Locomotor strategies in obese and non-obese children. *OBESITY*, **2006**;14(10):1789-1794.
126. Waters RL, Mulroy S. The energy expenditure of normal and pathologic gait. *Gait & Posture*, **1999**;9(3):207–31.
127. Stoquart G, Detrembleur C, Lejeune T. Effect of speed on kinematic, kinetic, electromyographic and energetic reference values during treadmill walking. *Neurophysiol Clin*, **2008**;38(2):105–16.
128. Teixeira-Salmela LF, Nadeau S, Milot MH, Gravel D, Requiaio LF. Effects of cadence on energy generation and absorption at lower extremity joints during gait. *Clin Biomech*, **2008**;23:769–78.

129. **Norris JA, Granata KP, Mitros MR, Byrne EM, Marsh AP.** Effect of augmented plantarflexion power on preferred walking speed and economy in young and older adults. *Gait & Posture*, **2007**; 25(4): 620-627.
130. **Dal U, Cimen OB, Incel NA, Adim M, Dag F, Erdogan AT, Beydagı H.** Fibromyalgia Syndrome Patients Optimize the Oxygen Cost of Walking by Preferring a Lower Walking Speed. *Journal of Musculoskeletal Pain*, **2011**;19(4): 212-217.
131. **Karaca MK, Dal U, Yılmaz SB, Erdogan AT, Sucu N.** The metabolic efficiency of walking is reduced in patients with intermittent claudication. *Türk Göğüs Kalp Damar Cerrahisi Dergisi*, **2012**;20(4):774-779.
132. **Mattsson E, Larsson UE, and Rossner S.** Is walking for exercise too exhausting for obese women? *Int J Obes Relat Metab Disord*, **1997**;21: 380– 386.
133. **Melanson EL, Bell ML, Knoll JR, Coelho LB, Donahoo WT, Peters JC, and Hill JO.** Body mass index and sex influence the energy cost of walking at self-selected speeds. *Med Sci Sports Exerc*, **2003**;35: 183.
134. **Browning RC and Kram R.** Energetic cost and preferred speed of walking in obese vs. normal weight women. *Obes Res*, **2005**;13: 891–899.
135. **Rose J, Ralson HJ, and Gamble JG.** *Energetics of walking. In: Human Walking*, edited by Rose J and Gamble JG. Baltimore, MD: Williams & Wilkins, **1994**.
136. **Bloom WL and Marshall FE.** The comparison of energy expenditure in the obese and lean. *Metabolism*, **1967**;16: 685–692.
137. **Ehlen KA, Reiser RF, Browning RC.** Energetics and Biomechanics of Inclined Treadmill Walking in Obese Adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **2011**;1251-1259.
138. **Browning RC, Baker EA, Herron JA, Kram R.** Effects of obesity and sex on the energetic cost and preferred speed of walking. *J Appl Physiol*, **2006**;100: 390–398.
139. **Bertram JEA.** Constrained optimization in human walking: cost minimization and gait plasticity. *The Journal of Experimental Biology*, **2005**;208: 979-991.
140. **Gordon KE, Ferris DP, Kuo AD.** Metabolic and Mechanical Energy Costs of Reducing Vertical Center of Mass Movement During Gait. *Arch Phys Med Rehabil*, **2009**;90: 136-143.
141. **Holt KG.** ‘Constraint’ vs ‘choice’ in preferred movement patterns. *Brain Behav Sci*, **1996**;19:76-77.
142. **Orendurff MS, Segal AD, Klute GK, Berge JS, Rohr ES, Kadel NJ.** The effect of walking speed on center of mass displacement. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, **2004**;41:829-834.

143. **de Souza SA, Faintuch J, Valezi AC.** Gait cinematic analysis in morbidly obese patients. *Obes Surg*, **2005**;15(9):1238–42.
144. **Spyropoulos P, Pisciotta JC, Pavlou KN, Cairns MA, Simon SR.** Biomechanical gait analysis in obese men. *Arch Phys Med Rehabil*, **1991**;72(13):1065–70.
145. **Browning RC, Kram R.** Effects of obesity on the biomechanics of walking at different speeds. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **2007**;1632-1641.
146. **Bauby CE, Kuo AD.** Active control of lateral balance in human walking. *J Biomech*, **2000**;33:1433-1440.
147. **Owings TM, Grabiner MD.** Step width variability, but not step length variability or step time variability, discriminates gait of healthy young and older adults during treadmill locomotion. *J Biomech*, **2004**;37(6):935–8.
148. **Agiouvasitis S, McCubbin JA, Yun J, Mpitsos G, Pavol MJ.** Effects of Down syndrome on three-dimensional motion during walking at different speeds. *Gait & Posture*, **2009**, 30:345-350.
149. **Donelan JM, Kram R, Kuo AD.** Mechanical and metabolic determinants of the preferred step width in human walking. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, **2004**;41:829-834.
150. **Thirunarayan MA, Kerrigan DC, Rabuffetti M, Croce UD, Saini M.** Comparison of three methods for estimating vertical displacement of center of mass during level walking in patients. *Gait & Posture*, **1996**;4:306-314.
151. **Saunders JBD, Inman VT, Eberhart HD.** The major determinants in normal and pathological gait. *J Bone Jt Surg*, **1953**;35:543-558.
152. **Gard SA, Miff SC, Kuo AD.** Comparison of kinematic and kinetic methods for computing the vertical motion of the body center of mass during walking. *Human Movement Science*, **2004**;22:597–610.
153. **Eames MHA, Cosgrove A, Baker R.** Comparing methods of estimating the total body centre of mass in three-dimensions in normal and pathological gait. *Hum Mov Sci*, **1999**;18:367–646.
154. **Peyrot N, Thievel D, Isacco L, Morin JB, Duche P, Belli A.** Do mechanical gait parameters explain the higher metabolic cost of walking in obese adolescents?, *J Appl Physiol*, **2009**;106:1763-1170.

ÖZGEÇMİŞ

15 Ağustos 1988 tarihinde Ankara’da doğdu. İlköğretim eğitimini Emek Hamdullah Suphi İlköğretim Okulu’nda tamamlayıp lise eğitimini Mehmet Emin Resulzade Anadolu Lisesi’nde sürdürmüştür. 2007-2012 yılları arasında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Biyoloji Bölümü’nde lisans eğitimini tamamlamıştır. 2013 yılı ile birlikte Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı (ÖYP) bünyesi kapsamında Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı’na araştırma görevlisi olarak atanmıştır. Halen Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı’ndaki görevine devam etmektedir. Yabancı dili ingilizcedir. Evli ve bir çocuk annesidir.