

## Yürüyüş Bozuklukları

Halime Arıkan<sup>1</sup>

### Özet

Patolojik yürüyüşü anlamak için öncelikle normal yürüyüşü anlamak gerekir çünkü bu, hastanın yürüyüşünü değerlendirebilmek için bir standart sağlar. Yürüyüş, alt ve üst ekstremitelerin vücudu ileri doğru hareket ettirmeyi amaçlayan döngüsel hareketi olarak tanımlanan bir beceridir. Vücudun ağırlığını desteklerken ve aktarırken bir noktadan diğerine hareket etmek amacıyla bir dizi koordineli hareket kullanılır. İnsan yürüyüşü, vücut bölümlerinin tekrarlayan hareketi olarak tanımlanır ve vücut bölümlerinin periyodik hareketi olarak kabul edilir. Yürüyüşün tüm süreci, yürüyüş aşamaları kullanılarak uygun bir şekilde tanımlanabilir ve periyodik yürüyüş mekanizmalarının daha iyi anlaşılmasını kolaylaştırır. Yanlış biyomekanik nedeniyle disfonksiyonel yürüyüş ortaya çıkmaktadır. Zamanında tanı konulmadığı ve sonraki tedavilere uyulmadığı takdirde ciddi sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Yürüyüş parametrelerinin yürüyüşün doğru analizi için çok önemli olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle yürüyüşü iyice analiz etmek için bu parametrelerin ayrıntılı bir şekilde anlaşılması süreç açısından zorludur. Yürüyüş şekli, lokomotor sistemin birçok nöromüsküler ve yapısal elemanı arasındaki karmaşık etkileşimin sonucudur. Anormal yürüyüş, beyin, omurilik, sinirler, kaslar, eklemler ve iskelet dâhil olmak üzere bu sistemin herhangi bir yerindeki bozukluktan kaynaklanabilir. Anormal yürüyüş aynı zamanda ağrının varlığından da kaynaklanabilir, dolayısıyla kişi fiziksel olarak normal yürüme yeteneğine sahip olmasına rağmen başka bir şekilde yürümeyi daha rahat bulur.

### 1. Yürüyüş ve Tarihçesi

Yürüyüş antropoidlerin sahip olduğu en yaygın özelliklerden biridir (1). İnsan yürüyüşünün özelliklerine ilişkin ilk yorumlar ilk kez M.Ö. 384-322'de kaydedilmiş ve bu bilgiler Aristoteles'e atfedilmiştir (2). Giovanni Borelli (1608-1679) daha sonra deneyler yürütmüş ve teoriler sunarak yürüyüş

1 Dr. Öğr. Üyesi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, halimearikan92@gmail.com, 0000-0003-2381-9978

analizi alanındaki ilerlemelere daha fazla katkıda bulunmuştur. Aydınlanma döneminde pek çok bilim adamı insan yürüyüşü hakkında yazılar yazmıştır. Leipzig’li kardeşler Willhelm (1804–1891) ve Eduard (1806–1871) Weber, basit ölçümlerle bu alanda en dikkate değer katkıları yapmışlardır (3).

Amerika’da Eadweard Muybridge (1830–1904) ve Fransa’da Jules Etienne Marey (1830–1904) çalışmalarıyla yürüyüş ölçüm teknolojisinde önemli ilerlemeler kaydetmişlerdir (4). Otto Fischer (1861–1917), Willhelm Braune’un (1831–1892) yardımıyla çalışmaları daha ileri taşımıştır. Yirminci yüzyılın başlarında kinetik konusunun daha iyi anlaşılması ve kuvvet plakalarının geliştirilmesi, kayda değer ilerlemeye katkıda bulunan en önemli gelişmeler olarak kabul edilmiştir. İkinci Dünya Savaşı’ndan sonra Verne Inman ve Howard başkanlığındaki ekip Amerika’da tanık olunan önemli ilerlemelere öncülük etmişlerdir (5). Modern bilgisayarların devam eden gelişimiyle birlikte klinik yürüyüş analizi yaygın olarak kullanılabilir hale gelmiştir.

## 2. Fizyolojik/ Normal Yürüyüş

Yürüyüş, alt ve üst ekstremitelerin vücudu ileri doğru hareket ettirmeyi amaçlayan döngüsel hareketi olarak tanımlanan bir beceridir. Vücudun ağırlığını desteklerken ve aktarırken bir noktadan diğerine hareket etmek amacıyla bir dizi koordineli hareket kullanılır. Vücut ileri doğru hareket ederken, bir ekstremitte destek sağlarken diğeri bir sonraki destek pozisyonuna doğru ilerler ve daha sonra ekstremiteler amaçlandığı kadar rollerini değiştirir. Bu hareket dizisi, karmaşık bir kinematik zincir oluşturan eklemlerin gerçekleştirdiği bir dizi hareket modeliyle sonuçlanır. Eklemlerin hareket etmesi için kaslar kemikleri çekecek kuvvetler üretir. Bu, somatosensör (proprioseptif), görsel ve vestibüler duyarlar gibi çoklu duyuşsal bilgileri birleştiren ve sürekli uyum sağlamaya olanak tanıyan sinir sisteminden gelen talimatlar altında gerçekleşir (6).

Bu aktivitelerin analizi beyinden gelen komutla başlayarak ayağın yerle temasından kaynaklanan kuvvetlere kadar neden-sonuç yaklaşımına dayandığından buna yukarıdan aşağıya yaklaşım denir (7). Böyle bir yaklaşıma dayanarak yürüyüşün kontrolü şu şekilde açıklanmaktadır:

1. Merkezi sinir sisteminde komutların başlatılması,
2. Türetilen sinyalin periferik sinir sistemine yayılması,
3. Kuvvet oluşturmak için kasların kasılması,
4. Kuvvetlerin kemiklere uygulanması ve eklemler arasında momentlerin oluşturulması,

5. Kuvvet ve momentlerin iskelet segmentlerinin antropometrisine göre düzenlenmesi,

6. Segmentlerin hareketi ve

7. Yer reaksiyon kuvvetlerinin oluşturulması.

Böylece yürüme komutları omuriliğe iletilmeden önce beyin sapının yardımıyla üst merkezlerde (korteks ve bazal ganglionlar) düzenlenir. Omurilikten de katkılar meydana gelir (8). Yürüyüş, kemiklerin pozisyonlandırılması, eklem hareket açıklığı, nöromüsküler aktivite ve hareket için genel kurallar sağlayan mekaniklerin (yani yer çekimi ve sürtünme) etkileşimini içeren çok yönlü bir çabadır (9).

### 3. Yürüyüş Fazları

İnsan yürüyüşü, vücut bölümlerinin tekrarlayan hareketi olarak tanımlanır ve vücut bölümlerinin periyodik hareketi olarak kabul edilir (10). Yürüyüşün tüm süreci, yürüyüş aşamaları kullanılarak uygun bir şekilde tanımlanabilir ve periyodik yürüyüş mekanizmalarının daha iyi anlaşılmasını kolaylaştırır. Daha önce yürüyüş aşamalarının ayrılması için düzenli olaylar dikkate alınırken bu tür bir ayırım, ampute kişiler için sınırlı bir uygulama sağlamış ve inme, artrit veya başka herhangi bir yürüme bozukluğuna sahip hastaları analiz etmekte başarısız olmuştur. Bireysel eklemler ve segmentler tarafından oluşturulan farklı hareket modelleri, yürüyüş aşamaları kullanılarak kolayca tanımlanabilir ve yürüme analizine yardımcı olabilir (11). Yürüyüş siklusu, bir ayağın yere temas etmesiyle başlar ve aynı ayağın tekrar yere temas etmesiyle sona erer. Yürüyüş siklusu, normal ve anormal yürüyüşü belirlemek için dönemlere ve aşamalara bölünebilir (12). Yürüyüşün aşamaları şu şekilde tanımlanmıştır (13) (Şekil 1):

#### 3.1. Basma fazı

##### 3.1.1. İlk Temas (Yürüyüş Siklusunun %0-%2'si)

Ayak yerle temas ettiği anda, esas olarak ilk temas evresini oluştururken, ekstremitenin yüklenme tepkisi bu evrede mevcut olan eklem postürü tarafından belirlenir (14).

##### 3.1.2. Yüklenme (Yürüyüş Siklusunun %2-%12'si)

Bu evre, çift destek periyodunun başlatılması olarak kabul edilir. Aşamanın başlangıcı, ayağın yerle ilk temasıdır ve diğer ayak salınımına hazır olana veya salınım için kaldırılıncaya kadar devam eder. Şok absorpsiyonu için diz fleksiyona getirilerek topukta yuvarlanma meydana gelirken, ön ayağın

temasıyla topuk yuvarlanması ayak bileği plantar fleksiyonu yardımıyla limitlenir (15).

### **3.1.3. Orta Duruş (Yürüyüş Siklusunun %12-%31'i)**

Bu evre, tek ekstremitte destek aralığı olan sürecin ilk yarısını içerir. Burada eksteremitenin ilerlemesi, ayak bileğinin dorsifleksiyonu ve salınımla sabit ayak üzerinde gerçekleşir. Orta duruş, ayağın kaldırılmasıyla başlar ve vücut ağırlık merkezi ayak önüne geçince sona erer (13).

### **3.1.4. Terminal Duruş (Yürüyüş Siklusunun %31-%50'si)**

Tek ekstremitte desteğiyle bu evre tamamlanır. Ayağın topuğunun yükselmesiyle terminal duruş evresi başlar ve diğer ayak yere vuruncaya kadar devam eder. Bu aşamada topuk yükselir ve ön ayağın sallanması ekstremitte ilerlemeyi sağlar. Bu evrede vücut ağırlık merkezi ayağın önüne kaymıştır (14).

## **3.2. Salınım fazı**

### **3.2.1. Salınım Öncesi (Yürüyüş Siklusunun %50-%60'ı)**

Yürüyüş döngüsünde salınım öncesi evre, yürüyüşün ikinci çift destek dönemidir. Diğer ekstremitenin ilk temasıyla başlar ve ayak parmağının kalkışıyla sona erer. Bu evrenin temel işlevi, ekstremiteleri salınım için pozisyonlandırmaktır (13).

### **3.2.2. Erken Salınım (Yürüyüş Siklusunun %60-%73'ü)**

Salınım evresinin üçte birini oluşturur. Ayağın yerden kaldırılmasıyla başlar ve yerdeki ayağın salınımdaki ayağın karşısına gelmesiyle sona erer. Diz fleksiyonu ve kalça fleksiyonu artışı fleksiyonla ekstremitenin ilerlediği bu evrededir (14).

### **3.2.3. Orta Salınım/ Salınım Ortası (Yürüyüş Siklusunun %73-%85'i)**

Bu evrenin başlangıcı, duruş evresindeki ekstremitenin salınımdaki ekstremitenin karşısında olmasıyla gerçekleşir. Tibianın dikey ve salınımdaki ekstremitenin öne doğru gelmesi bu evrenin bitişini gösterir (13).

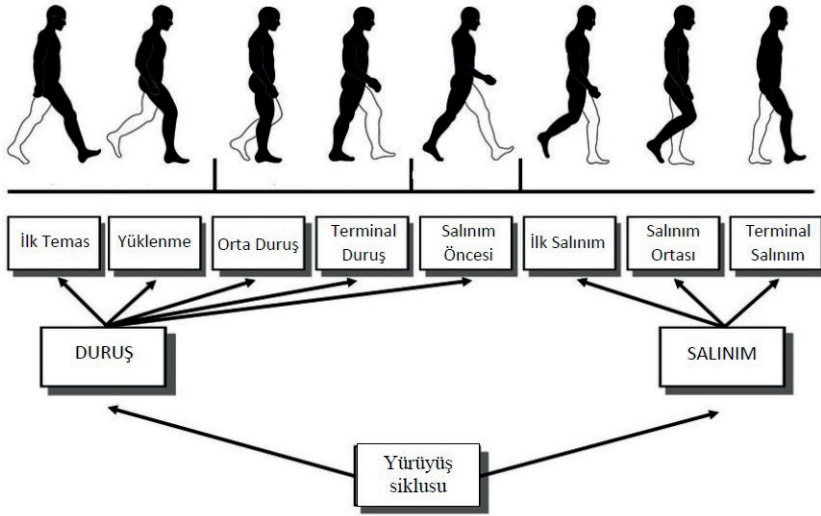
### **3.2.4. Terminal Salınım (Yürüyüş Siklusunun %85-%100'ü)**

Bu evre dikey konumdaki tibianın salınımla başlar ve ayağın yere vuruşuyla sona erer. Ekstremitte ilerlemesi, diz ekstansiyonu eşliğinde alt

bacak uyluğun önüne doğru hareket ettiğinde tamamlanır. Yürüyüşün her aşamasının belirli bir hedefi ve hedeflere ulaşmada seçici bir hareket için kritik bir modeli vardır (16). Temel olarak, bu tanımlanmış aşamaların sıralı birleşimi yoluyla üç görev gerçekleştirilir:

- Ağırlık kabulü: Duruş fazındaki ilk temas ve yüklenme tepkisi ile başlar.
- Tek ekstremitte desteği: Orta duruş evresi ve terminal duruş evresi boyunca devam eder.

Ekstremitte ilerlemesi: Esas olarak salınım evresinde meydana gelir, çünkü salınım öncesi evreden başlar ve erken salınım evresi, orta salınım evresi ve terminal salınım evresi gibi tüm salınım evreleri boyunca devam eder (17).



Şekil 1. Yürüyüş siklusu fazları (18)

#### 4. Yürüyüşün Mesafe-Zaman Parametreleri

Yanlış biyomekanik nedeniyle disfonksiyonel yürüyüş ortaya çıkmaktadır. Zamanında tanı konulmadığı ve sonrasındaki tedavilere uyulmadığı takdirde ciddi sağlık sorunlarına yol açabilmektedir (19). Yürüyüş parametrelerinin yürüyüşün doğru analizi için çok önemli olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle yürüyüşü iyice analiz etmek için bu parametrelerin ayrıntılı bir şekilde anlaşılması süreç açısından zorunludur (14).

Atalet sensörleri, zaman serisi verilerini yüksek örnekleme hızında korumak için zamansal bilgileri çıkarır. Verileri klinik sonuçlarla ilişkilendirmek için

daha derinlemesine bilgi gereklidir. Yürüyüş sinyali tekrarlanan olayların özelliğine sahiptir, dolayısıyla yürüyüş sinyalleri sözde periyodik bir yapıya sahiptir. Bu özellik, yürüyüş döngüsü olaylarını ve dolayısıyla yürüyüşün zamansal özelliklerini tespit etmemize yardımcı olur. Mesafe-zaman, yürüyüş parametrelerinin genel kategorisine girer. Bu parametreler objektif yürüyüş değerlendirmesinin temeli olarak kabul edilir (20). Yürüyüşün analizinde mesafe-zaman parametreleri kullanılır. Bunlar şunları içerir: Adım uzunluğu, çift adım uzunluğu, kadans, adım genişliği, hız, topuk vuruşu, parmak kalkışı, ayak paterni (21). Çift adım uzunluğu, yürüyüşün klinik analizi için en kritik parametrelerden biri olarak kabul edilir. Bu parametreler bilgisayar alanında da geniş uygulamalara sahiptir (14). Tablo 1'de yürüyüşün mesafe-zaman parametreleri ve Tablo 2'de de farklı yaş gruplarında sağlıklı yürüyüş parametreleri verilmiştir.

*Tablo 1. Yürüyüşün mesafe-zaman parametreleri (14)*

<b>Yürüyüşün mesafe parametreleri</b>	<b>Yürüyüşün zaman parametreleri</b>
<b>Adım uzunluğu:</b> Karşı ayakların ardışık topuk temas noktaları arasındaki mesafedir. Normal bir yürüyüş durumunda sol tarafın adım uzunluğu sağ tarafın adım uzunluğuna eşittir (22). Eşit olmayan adım uzunlukları, yürüyüşte bir anormallığın göstergesi olabilir. Bu parametre hastanın rahatsızlığı hakkında bilgi edinmek için gereklidir. Diz osteoartritinden muzdarip bir hastanın durumu düşünülünce etkilenen tarafın adım uzunluğu diğer tarafa göre azalacaktır.	<b>Hız:</b> Kişinin birim zamanda kat ettiği mesafe olarak tanımlanabilir. Metre/saniye cinsinden ölçülür. Anormal yürüyüşe sahip kişilerde daha yavaş hız gözlenir (23).
<b>Çift adım uzunluğu:</b> Aynı ayağın birbirini takip eden iki topuk temas noktası arasındaki mesafe olarak tanımlanır. Normal yürüyüş durumunda çift adım uzunluğu ardışık iki adımın uzunluğuna eşittir.	<b>Salınım süresi:</b> Bir ekstremitenin yürüyüş döngüsünün salınım fazını tamamlaması için geçen süredir.
<b>Tek ekstremitte desteği:</b> Bir ekstremitenin duruş fazında, diğer ekstremitenin salınım fazında olduğu durumdur. Yürüyüş hızı arttıkça tek ekstremitte desteği artar. Koşmada çift ekstremitte desteği tamamen kaybolur.	<b>Kadans:</b> Birim zamanda atılan adım sayısı olarak tanımlanır.
<b>Adım genişliği:</b> Sol ve sağ ayak ilerleme hattı arasında hesaplanan mesafe olarak tanımlanır (24).	<b>Çift adım süresi:</b> Aynı ayağın art arda iki adımının ilk teması arasındaki süre olarak tanımlanabilir ve milisaniye cinsinden ölçülür.

**Tablo 2. Farklı gruplar için sağlıklı yürüyüş parametreleri (14)**

Parametreler	Çocuk	Yetişkin	Yaşlı
Çift adım uzunluğu (metre)	0.23-0.57	1.68-1.72	1.66-1.70
Hız (metre/ saniye)	0.64-1.14	1.30-1.46	Dekadla azalır.
Duruş fazı (saniye)	0.32-0.54	0.62-0.70	0.68-0.72
Salınım fazı (saniye)	0.19-0.27	0.36-0.40	0.42-0.44
Kadans (adım/ dakika)	176-144	113-118	58-70

## 5. Yürüyüş Değerlendirme Yöntemleri

Yürüyüş analizi yeni bir araştırma alanı değildir. Yürüyüşü analiz etmek için geleneksel olarak birçok yaklaşım kullanılmıştır. Yoğun araştırmaların ardından yürüyüş analizi yaklaşımları genel olarak dört ana bölüme ayrılmıştır: Yarı Subjektif Analiz, Objektif Analiz, Makine Öğrenme Teknikleri ve Poz Tahmini. Yürüyüşü analiz etmek için kullanılan geleneksel yöntemler, uygun insan müdahalesini gerektiren Yarı Subjektif Analiz kapsamına girer. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, yürüyüş parametrelerini tahmin etmek ve objektif değerlendirme yapmak için daha az insan müdahalesi gerektiren, dolayısıyla marjinal hataları azaltan, daha verimli ve doğru sonuçlar veren yeni cihazlar kullanıma sunulmuştur. Makine Öğrenme Tekniklerindeki ve Poz Tahmini tekniklerindeki ilerlemeler, yürüyüş analizi alanını geliştirmiştir (14). Tablo 3’de bu tekniklerin sınıflandırılması gösterilmiştir.

**Tablo 3. Yürüyüş analiz teknikleri (14)**

Yarı-Subjektif Analiz	Objektif Analiz	Makine Öğrenme Teknikleri	Diğer/ Hibrid
25 Adım Yürüme Testi	Zemin sensörü <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kistler kuvvet platformu</li> <li>• Mat tarama sistemi</li> <li>• Ayak tarama platformu</li> <li>• FDMT sistemleri</li> </ul>	Denetimli öğrenme	Yürüyüş analizinde poz tahmini
Multiple Skleroz Yürüme Ölçeği	Giyilebilir sensörler <ul style="list-style-type: none"> <li>• Basınç ve kuvvet sensörleri</li> <li>• Atalet sensörleri</li> <li>• Gonyometreler</li> <li>• Ultrasonik sensörler</li> </ul>	Denetimsiz öğrenme	

Tinetti Performans Odaklı Mobilite Değerlendirmesi	Görüntü işleme <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stereoskopik görüş</li> <li>• Uçuş süresi</li> <li>• Yapılandırılmış ışık</li> <li>• Kızılötesi termografi</li> </ul>	Takviyeli öğrenme	
Zamanlı Kalk ve Yürü Testi			
Yürüyüş Anormalliği Derecelendirme Ölçeği			
Laboratuvar Dışı Yürüyüş Değerlendirme Yöntemi			

Bu analiz tekniklerinin yanı sıra işaretleyici tabanlı yaklaşımlar da mevcuttur (14):

- Atalet sensörleri,
- Elektrogonyometreler,
- Hareket yakalama kameraları,
- Optoelektronik sistemler,
- Yürüyüş ve basınç matları,
- Kuvvet ayakkabıları,
- Manyetik sistemler,
- Medikal görüntüleme teknikleri,
- Kuvvet platformu,
- Elektromiyografi.

## 6. Yürüyüş Bozuklukları/ Patolojik Yürüyüş

Patolojik bir yürüyüş şekli sıklıkla nöromusküler patoloji, eklem instabilitesi, ağrı ve diğer klinik durumlara bağlı olarak ortaya çıkar. Aşırı veya azalmış eklem hareketliliği, yürüyüş döngüsü boyunca doğrudan patolojilerle ilişkili veya kompensatuar bir manevranın sonucu olabilecek yürüyüş deviasyonlarına neden olabilir. Yaygın olarak gözlenen birincil yürüyüş deviasyonları arasında ekinovarus, düşük ayak (salınım fazında yetersiz dorsifleksiyona yol açan dorsifleksör kasların zayıflığı), diz hiperekstansiyonu, diz instabilitesi, genu varum ve valgum yer alır. Patolojik yürüyüşte en sık görülen kompensatuar deviasyonlar arasında artan adım genişliği, vaulting



(etkilenen ekstremitenin açıklığını sağlamak için etkilenmemiş ayak bileğinin abartılı plantar fleksiyonu), stepaj yürüyüşü (sallanma aşamasında abartılı kalça ve diz fleksiyonu), hip hiking ve gövdenin farklı yönlere (ön, arka veya yan) fleksiyonu yer alır (25).

*Tablo 4. Yürüyüşteki anormallikler ve bunların özel sınıflarına genel bakış (14)*

Klinik Yürüyüş Anormallikleri		
Muskuloskeletal yürüyüş	Nörolojik bozulmuş ambulasyon	İzole motor zayıflık
Antaljik yürüyüş	Diplejik yürüyüş	Kuadriseps zayıflığı
Kuadriseps yürüyüşü	Hemiplejik yürüyüş	Kalça fleksör zayıflığı
Ördekvari yürüyüş	Ataksik yürüyüş	Gluteus maksimus zayıflığı
Varus itme yürüyüşü	Parkinson yürüyüşü	

Değınilecek patolojik yürüyüş modelleri tek başına veya kombinasyon halinde görülebilir. Kombinasyon durumunda birbirlerini etkileyebilirler, böylece bireysel yürüyüş değışiklikleri açıklamalara tam olarak uymaz. Açıklanacak modeller kapsamlı değildir; bir kişi genel modellerden birinin bir varyasyonunu veya burada listelenmeyen başka bir yürüyüş modelini sergileyebilir (26):

### 6.1. Gövdenin Lateral Fleksiyonu

Duruş fazında gövdenin destekleyici ekstremita tarafına doğru eğilmesi, gövdenin laterale fleksiyonu, ipsilateral eğilme veya daha yaygın olarak Trendelenburg yürüyüşü olarak bilinir. Manevranın amacı genellikle tek bacak duruşu sırasında abdükto kaslar ve kalça eklemindeki kuvvetleri azaltmaktır. Lateral gövde fleksiyonu en iyi önden veya arkadan gözlemlenir. Gövdenin fleksiyonu tek taraflı olabilir, bir bacağın duruş fazıyla sınırlı olabilir veya iki taraflı olabilir, gövde bir taraftan diğerine sallanarak Ördekvari yürüme olarak bilinen bir yürüyüş modeli oluşturabilir. Bu yürüyüş anormalliğinin benimsendiğı bazı durumlar vardır (11,27):

#### 6.1.1. Ağır Kalça

Kalça eklemi, osteoartrit ve romatoid artrit gibi ağrılıysa, yaşanan ağrının miktarı genellikle büyük ölçüde eklem yoluyla iletilen kuvvete bağlıdır. Gövdenin laterale fleksiyonu toplam eklem kuvvetini azalttığı için kalça artritli olan kişilerde 'Trendelenburg yürüyüşü' son derece yaygındır (26).

### 6.1.2. Kalça Abdüktör Zayıflığı

Kalça abdüktör kasları zayıfsa, tek bacak üzerinde duruş sırasında pelvisi stabilize etmek için yeterli kuvvetle kasılmayabilirler. Bu durumda, pelvis yukarıdaki ayak tarafına doğru eğilecektir (Trendelenburg işareti). Zayıflamış kasların yükünü azaltmak için kişi genellikle hem ayakta dururken hem de yürürken eklem momentini mümkün olduğu kadar azaltmak için gövdeyi laterale fleksiyona getirme yöntemini kullanır. Kalça abdüktör zayıflığı, kasları veya onları kontrol eden sinir sistemini etkileyen hastalık veya yaralanmadan kaynaklanabilir (27).

### 6.1.3. Anormal Kalça Eklemi

Kalça eklemi etrafındaki üç durum, abdüktörlerin kullanılarak pelvisin stabilize edilmesinde zorluklara yol açacaktır: Kalçanın konjenital dislokasyonu (aynı zamanda gelişimsel kalça displazisi olarak da bilinir), koks vara ve femoral epifiz kayması. Üçünde de gluteus mediusun etkin uzunluğu azalır çünkü femurun büyük trokanteri proksimale, pelvik kenara doğru hareket eder. Kas kısaldığı için verimli çalışamaz ve dolayısıyla gerginliği azalarak kasılır. Kısalmış kaldıraç kolu ve azalmış kas kuvvetinin birleşimi, gövdenin lateral fleksiyonuyla yürünmesine neden olur (11).

### 6.1.4. Geniş Destek Yüzeyi

Destek yüzeyi anormal derecede genişse tek bacak duruşu sırasında dengede sorun vardır. Dengeyi korumak için tüm vücudu eğmek yerine, vücudun ağırlık merkezini kabaca destek ayağının üzerinde tutmak için gövdenin laterale fleksiyonu kullanılabilir. Çoğu durumda, bunun her iki taraftaki duruş aşamasında yapılması gerekecek, bu da iki taraflı gövde fleksiyonuna ve ördekvari yürüyüşe yol açacaktır (26).

### 6.1.5. Eşit Olmayan Bacak Uzunluğu

Eşit olmayan bacak uzunluğuyla yürürken, vücut ağırlığı kısa ekstremiteye aktarıldığından pelvis kısa ekstremitenin tarafına aşağı doğru eğilir. Bu bazen 'bir çukura adım atmak' olarak tanımlanır. Pelvik tilte gövdenin kompanseuar lateral fleksiyonu eşlik eder (27).

### 6.1.6 Diğer Nedenler

Addüktör kas kontraktürü skolyoz ve inme sonrası vücut imajının bozulması gibi bir dizi neden de gövdenin laterale fleksiyonuna neden olabilir (27).

## 6.2. Gövde Fleksiyonu

Bu yürüyüş bozukluğunda yürüyüş sırasında kişi gövdesini fleksiyona getirir. Yalnızca bir bacak etkilenmişse, gövde ilk temas sırasında düzleştirilir, ancak her iki taraf da etkilenmişse gövde yürüyüş döngüsü boyunca fleksiyonda tutulabilir. Bu yürüyüş anormalliği en iyi yandan görülür. Bu yürüyüş modelinin önemli bir amacı diz ekstansörlerinin yetersizliğini telafi etmektir. Yürüyüş sırasında gövde fleksiyonunun diğer nedenleri ayağın ekin deformitesi, kalça ekstansör zayıflığı ve kalça fleksiyon kontraktürüdür (11).

## 6.3. Gövde Ekstansiyonu

Duruş evresinin erken döneminde, tüm gövde sagittal düzlemde ileri yerine geriye doğru hareket eder. En kolay yandan gözlemlenir. Bu kompensasyonun amacı kuvvetsiz kalça ekstansörlerini telafi etmektir. Duruş fazının başlarında yer reaksiyon kuvveti çizgisi normalde kalça eklemine önünden geçer. Bu kalçada fleksör yönde bir moment oluşturur. Bu momenti dengelemek için kalça ekstansör kas aktivitesi gerekir. Bu kaslar zayıfsa veya paralize olmuşsa, kişi bu sırada gövdesini geriye doğru hareket ettirerek, dış kuvvetin etki hattını kalça eklemi ekseninin arkasına getirerek bunu telafi edebilir. Kalça ankiloze (füzyon) olduğunda, uyluk ileri doğru hareket ederken gövde geriye doğru hareket ettiğinde de gövde ekstansiyona gidebilir (26).

## 6.4. Artmış Lumbar Lordoz

Lumbar lordozun artmasının en yaygın nedeni kalçanın fleksiyon kontraktürüdür. Ankiloz nedeniyle kalça eklemine hareketsiz kalması da bir nedendir. Bu deformitelerin her ikisi de femurun fleksiyon pozisyonundan geriye doğru hareket etmesini engelleyerek adım uzunluğunun çok kısa olmasına neden olur. Femur, kalça eklemine hareketle değil, lumbar lordozun artmasıyla birlikte lumbar omurganın ekstansiyonu ile vertikal pozisyona getirilebilirse bu zorluğun üstesinden gelinebilir (11).

## 6.5. Fonksiyonel Ekstremitte Eşitsizliği

### 6.5.1. Sirkümdüksiyon

Salınım fazında bacağı dışa hareketle açılarak adım almasıdır. En iyi önden veya arkadan görülür. Sirkümdüksiyon, kalça eklemi ekstansiyona alınırken güçlü addüktör kasların zayıf kalça fleksörleri olarak hareket etme yeteneğini geliştirir ve salınımdaki bacağı ilerletmek için kullanılır (26).

### 6.5.2. Hip Hiking

Spinal ve lateral abdominal kasların kasılmasıyla salınım fazındaki ekstremitelerde pelvisin yukarı kaldırıldığı bir yürüyüş modifikasyonudur. Hareket en iyi arkadan veya önden görülür. Zayıf hamstringler bu yürüyüşe sebep olabilir (26).

### 6.5.3. Stepaj

Yerden yüksekliği artırmak için ayağı normalden daha yükseğe kaldırmak amacıyla abartılı diz ve kalça fleksiyonundan oluşan bir salınım fazı modifikasyonudur. En iyi yandan gözlemlenir. Yetersiz dorsifleksiyon kontrolüne bağlı, düşük ayak olarak bilinen plantar fleksiyondaki ayak bileğini kompanse etmek için özellikle kullanılır (26).

### 6.5.4. Vaulting

Salınımdaki ekstremitenin, duruş fazındaki ekstremitenin parmak uçlarında yükselerek ileri atılmasıdır. Gövdenin abartılı vertikal hareketine neden olur. Hem yandan hem de önden görülebilir. Dizin salınım aşamasında çok erken ekstansiyona gelme eğiliminde olduğu hamstring zayıflığı ile birlikte yavaş yürümede yaygın olarak görülür (26).

## 6.6. Anormal Kalça Rotasyonu

Kalça rotasyonunu sağlayan kaslarla ilgili problemler genellikle femurun kalça eklemi etrafında rotasyonunu sağlayan kasların spastisitesini veya zayıflığını içerir. Örneğin, serebral palside kalça ekstansörlerinin aşırı aktivitesi iç rotasyona neden olacaktır. Medial ve lateral hamstringler arasındaki dengesizlik rotasyonun yaygın bir nedenidir, biceps femorisin zayıflığı veya medial hamstringlerin spastisitesi bacağın iç rotasyonuna neden olur. Tersine, biceps femorisin spastisitesi veya medial hamstringlerin zayıflığı dış rotasyona neden olacaktır (11).

## 6.7. Aşırı Diz Ekstansiyonu

Aşırı diz ekstansiyonundan kaynaklanan yürüme anormallüğünde, dizin normal duruş fazı fleksiyonu kaybolur, yerini tam ekstansiyona veya dizin geriye doğru açı yaptığı hiperekstansiyona bırakır. Bu en iyi yandan görülür. Diz hiperekstansiyonuna neden olan kuadriseps zayıflığı, yer reaksiyon kuvveti çizgisinin diz eklemi ekseninin arkasından geçmesini önlemek için bacağın tamamen ekstansiyonda tutulması, gövdenin anteriora eğilmesi, bacağın dış rotasyonu veya her ikisinin birden kullanılmasıyla telafi edilebilir (27).

### 6.8. Aşırı Diz Fleksiyonu

Diz normal yürüyüş döngüsü sırasında iki kez tamamen (veya neredeyse) ekstansiyona gelir: İlk temas ve topuk kalkışında. Aşırı diz fleksiyonu olarak bilinen yürüme anormallığında, ekstansiyona doğru olan bu hareketlerden biri veya her ikisi de gerçekleşmemektedir. Dizin fleksiyonu ve ekstansiyonu en iyi yandan gözlemlenir. Dizin fleksiyon kontraktürü ekstansiyonda normal şekilde uzatılmasını engelleyecektir. Diz fleksörlerinin spastisitesi de aşırı diz fleksiyonuyla yürüyüş şekline neden olabilir. Diz fleksörleri kuadrisepsleri yendiğinden, bu durum kuadrisepslerin göreceli zayıflığını telafi etmek için gövdenin anteriora eğilmesi gibi diğer yürüyüş modifikasyonlarına yol açabilir (11).

### 6.9. Yetersiz Dorsifleksiyon Kontraktürü

Yetersiz dorsifleksiyon kontrolü, anterior tibial kasların zayıflığı veya felcinden veya triseps suraenin spastisitesinden dolayı kaynaklanabilir (27).

### 6.10. Anormal Ayak Teması

Topuk veya ön ayak üzerindeki yüklenme en iyi yandan gözlemlenir ve medial veya lateral taraftaki yüklenme en iyi önden gözlemlenir, ancak bazı otoriteler ayağın her zaman arkadan gözlemlenmesi gerektiğini belirtmektedir. Topukta yüklenme, talipes kalkaneus (pes kalkaneus) olarak bilinen deformitede meydana gelir; burada ön ayağın aşırı dorsifleksiyona gitmesi, genellikle anterior tibial kasların spastisitesinden veya triseps suraenin zayıflığından kaynaklanan kas dengesizliğinin bir sonucu olarak ortaya çıkar. Talipes ekinus (pes ekinus) olarak bilinen deformitede, ön ayak, genellikle plantarfleksörlerin spastisitesi nedeniyle plantarfleksiyondadır. Bazı ayak deformitelerinde aşırı medial temas meydana gelir. İvertörlerin zayıflığı veya evertörlerin spastisitesi ayağın medial tarafının düşmesine ve ağırlığın çoğunu almasına neden olacaktır. Aşırı lateral ayak teması aynı zamanda spastisite veya zayıflık nedeniyle ayağın medial kenarının yükselmesi veya lateral kenarının çökmesi sonucu oluşan talipes ekinovarus ayak deformitesinden kaynaklanabilir. Anormal ayak temasının bir başka şekli de, sifilizin (frengi) son aşaması olan tabes dorsaliste olduğu gibi genellikle ayaktaki his kaybına eşlik eden stampingdir (11).

### 6.11. Anormal Ayak Rotasyonu

Patolojik ayak parmağı içeri veya dışarı doğru açılanmaları, kalçanın iç veya dış rotasyonu, femur veya tibianın torsiyonu veya ayağın kendisinin deformitesi nedeniyledir. Anormal ayak rotasyonunun önemli bir sonucu,

yer reaksiyon kuvvetinin bacağına geri kalanına anormal bir şekilde dağılımıdır (27).

### **6.12. Yetersiz İtme**

Normal yürümede, salınım öncesi 'itme' sırasında ağırlık ön ayağa verilir. Yetersiz itme olarak bilinen yürüyüş modelinde ağırlık öncelikle topuğa verilir ve itme aşaması olmadan tüm ayak bir anda yerden kaldırılır. En iyi yandan gözlemlenir. Yetersiz itme işleminin ana nedeni, ön ayağa yeterli ağırlık verilmesini engelleyen triseps surae veya aşıl tendonu ile ilgili bir sorundur (11).

### **6.13. Anormal Adım Genişliği**

Adım genişliğinin artması, kalçanın abduksiyon veya dizin valgus deformitesinden kaynaklanabilir ve bu da ayakların yere normalden daha geniş bir şekilde yerleştirilmesine neden olabilir. Adım genişliğinin artmasının bir sonucu, dengeyi korumak için gövdenin lateral hareketinin artmasıdır. Adım genişliğinin artmasının bir diğer önemli nedeni ise instabilite ve düşme korkusudur. Bu nedenle destek alanını artırmak için ayaklar birbirinden uzakta geniş olarak yerleştirilmiştir. Adım genişliğinin azalması genellikle kalçadaki addüksiyon deformitesinden veya dizdeki varus deformitesinden kaynaklanır. Kalça addüksiyonu, salınım fazındaki bacağına, serebral palside yaygın olarak görülen, makaslama olarak bilinen bir yürüyüş modeliyle orta hattı geçmesine neden olabilir (27).

### **6.14. Yürüyüş Ritminde Bozulma**

Yürüyüş bozuklukları, yürüyüş döngüsünün zamanlamasındaki anormallikleri içerebilir. İki tür ritmik bozukluk tanımlanabilir: Asimetrik ritmik bozukluk, iki bacak arasındaki yürüyüş zamanlamasındaki farkı gösterirken, düzensiz ritmik bozukluk, bir adım ile diğeri arasındaki farklılıkları gösterir. Ritmik bozukluklar en iyi yandan gözlemlenir ve aynı zamanda duyulabilir (11).

### **6.15. Diğer Yürüyüş Bozuklukları**

Tek başına veya kombine yürüyüş bozuklukları da gözlemlenebilir:

1. Anormal hareketler, örneğin intansiyonel tremor ve atetoid hareketler,
2. Kol salınımında düzensizlik de dâhil olmak üzere üst ekstremitenin anormal hareketleri,
3. Baş ve boyunun anormal hareketleri,

4. Topuk vuruşunu takiben ayağın yanlara rotasyonu,
5. Salınım sırasında ayağın aşırı dış rotasyonu,
6. Çabuk yorulma.

Nörolojik rahatsızlıkların neden olduğu ambulasyon bozukluklarına ilişkin yürüyüş bozuklukları da şu şekildedir (14):

### 6.16. Hemiplejik Yürüyüş

Etkilenen tarafta tek taraflı güçsüzlük mevcuttur. Kol fleksiyonda, internal rotasyonda ve addüksiyondadır. Hastanın etkilenen bacağı yürürken semisirküler hareketler yapar. Bu tür hastalarda genellikle tek tarafa fleksiyon görülür. İnmeli hastalarda veya hafif hemiparezisi olanlarda görülür (14).

### 6.17. Diplejik Yürüyüş

Hastalarda alt ekstremiteler üst ekstremitelerden daha kötü etkilenmiştir. Her iki tarafta da tutulum vardır. Hasta parmak ucunda, dar bir adım genişliği ile yürür. Bilateral periventriküler lezyonu veya serebral palsisi olan hastalarda görülür (14).

### 6.18. Nöropatik Yürüyüş

Hastalar ayağın dorsifleksiyon zayıflığı olarak değerlendirilen düşük ayak yaşayabilirler. Böyle bir yürüyüşün arkasındaki temel neden, yürürken ayağın yerde sürüklenmeyeceği kadar bacağı yeterince yükseğe kaldırmaya çalışmaktır. Diyabetli bir hastada görülür (14).

### 6.19. Koreiform Yürüyüş

Hasta tüm ekstremitelerde sarsıntılı, istemsiz, düzensiz hareketler gösterir. Temel hareket bozukluğu yürümeyle daha da belirginleşebilir. Huntington Hastalığı, Sydenham koresi ve diğer kore formları dâhil olmak üzere bazal ganglion bozuklukları gibi bozuklukları olan hastalarda görülür (14).

### 6.20. Miyopatik Yürüyüş

Kalça kuşağı kaslarında zayıflık vardır. Yürürken bacağın bir tarafındaki güçsüzlük nedeniyle pelvisin karşı tarafında düşme görülebilir. Bilateral güçsüzlük durumunda hasta yürürken her iki tarafta pelvisin düşmesiyle karşılaşabilir. Musküler distrofi gibi miyopatisi olan hastalarda görülür (14).

### **6.21. Ataksik Yürüyüş**

Gövde ve ekstremitelerde savrulmalar görülür. Adım eşitsizliği vardır. Temel neden koordinasyonun azalmasıdır. Hastalar için düz bir çizgide veya topuk ve parmakla yürümek zordur. Hastanın yürüyüşü akut alkolik bir kişinin yürüyüşüne benzer. Serebellar hastalığı olanlarda görülür (14).

### **6.22. Parkinson Yürüyüşü**

Hasta bradikinezi ve rijiditeden muzdariptir. Hastanın başı ve boynu aşağıya doğru eğilir, dizleri fleksiyona gelebilir. Hastalar yürüyüşe başlamakta zorlanırlar. Yürüyüşe başladıktan sonra hızlarını giderek artırırlar; hızlı ve küçük adımlarla yürürler. Yürüyüşü durdurmaları güçtür. Parkinson hastalığı olan bir bireyde görülür (14).

Yürüyüş şekli, lokomotor sistemin birçok nöromusküler ve yapısal elemanı arasındaki karmaşık etkileşimin sonucudur. Anormal yürüyüş, beyin, omurilik, sinirler, kaslar, eklemler ve iskelet dâhil olmak üzere bu sistemin herhangi bir yerindeki bozukluktan kaynaklanabilir. Anormal yürüyüş aynı zamanda ağrının varlığından da kaynaklanabilir, dolayısıyla kişi fiziksel olarak normal yürüme yeteneğine sahip olmasına rağmen başka bir şekilde yürümeyi daha rahat bulabilir.



## 7. Kaynakça

1. O'Malley MJ, Abel MF, Damiano DL, Vaughan CL. Fuzzy clustering of children with cerebral palsy based on temporal-distance gait parameters. *IEEE Trans Rehabil Eng.* 1997;5(4):300–9.
2. Baker R. The history of gait analysis before the advent of modern computers. *Gait Posture.* 2007;26(3):331–42.
3. Sutherland DH. The evolution of clinical gait analysis: Part II Kinematics. *Gait Posture.* 2002;16(2):159–79.
4. Sutherland DH. The evolution of clinical gait analysis part I: kinesiological EMG. *Gait Posture.* 2001;14(1):61–70.
5. Coutts F. Gait analysis in the therapeutic environment. *Man Ther.* 1999;4(1):2–10.
6. Takakusaki K. Functional neuroanatomy for posture and gait control. *J Mov Disord.* 2017;10(1):1.
7. Vaughan CL, Davis BL, O'CONNOR JC Dynamics of human gait. Kiboho Publishers, Cape Town, Suth Africa; 1999.
8. Nakazawa K, Obata H, Sasagawa S. Neural control of human gait and posture. *J Phys Fit Sport Med.* 2012;1(2):263–9.
9. Chambers HG, Sutherland DH. A practical guide to gait analysis. *JAAOS-Journal Am Acad Orthop Surg.* 2002;10(3):222–31.
10. Popovic DB, Popovic MB. Design of a control for a neural prosthesis for walking: Use of artificial neural networks. In: 2006 8th Seminar on Neural Network Applications in Electrical Engineering. IEEE; 2006. p. 121–8.
11. Whittle MW, Whittle MW. Preface to fourth edition. *Gait Anal.* 2007;
12. Levine D, Richards J. Whittle Mw. Whittle's Gait Anal. 2012;5:11–109.
13. Stergiou N. Biomechanics and gait analysis. Academic Press; 2020.
14. Sethi D, Bharti S, Prakash C. A comprehensive survey on gait analysis: History, parameters, approaches, pose estimation, and future work. *Artif Intell Med.* 2022;129:102314.
15. Tao W, Liu T, Zheng R, Feng H. Gait analysis using wearable sensors. *Sensors.* 2012;12(2):2255–83.
16. Sobral H, Ferreira JP, Vieira A, Coimbra AP, Crisostomo M, Lemos P, et al. Two new indices to assess gait disturbances applied to anterior cruciate ligament reconstructed knees. In: 2018 IEEE 8th Annual International Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER). IEEE; 2018. p. 701–6.
17. Hortal E, Úbeda A, Iáñez E, Fernández E, Azorín JM. Using EEG signals to detect the intention of walking initiation and stop. In: Artificial Computation in Biology and Medicine: International Work-Conference

- on the Interplay Between Natural and Artificial Computation, IWINAC 2015, Elche, Spain, June 1-5, 2015, Proceedings, Part I 6. Springer; 2015. p. 278–87.
18. Cicirelli G, Impedovo D, Dentamaro V, Marani R, Pirlo G, D’Orazio TR. Human gait analysis in neurodegenerative diseases: A review. *IEEE J Biomed Heal Informatics*. 2021;26(1):229–42.
  19. Prentice SD, Patla AE, Stacey DA. Artificial neural network model for the generation of muscle activation patterns for human locomotion. *J Electromyogr Kinesiol*. 2001;11(1):19–30.
  20. Rida I, Bouridane A, Marcialis GL, Tuveri P. Improved human gait recognition. In: *Image Analysis and Processing—ICIAP 2015: 18th International Conference, Genoa, Italy, September 7-11, 2015, Proceedings, Part II* 18. Springer; 2015. p. 119–29.
  21. Riemer R, Shapiro A. Biomechanical energy harvesting from human motion: theory, state of the art, design guidelines, and future directions. *J Neuroeng Rehabil*. 2011;8:1–13.
  22. Sarkar S, Phillips PJ, Liu Z, Vega IR, Grother P, Bowyer KW. The humanoid gait challenge problem: Data sets, performance, and analysis. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*. 2005;27(2):162–77.
  23. Ryu T, Choi HS, Choi H, Chung MK. A comparison of gait characteristics between Korean and Western people for establishing Korean gait reference data. *Int J Ind Ergon*. 2006;36(12):1023–30.
  24. Schöllhorn WI, Jäger JM, Janssen D. Artificial neural network models of sports motions. *Routledge Handb Biomech Hum Mov Sci*. 2008;50–64.
  25. Chockalingam N. *Technologies and Techniques in Gait Analysis: Past, present and future*. IET; 2022.
  26. Richards J, Levine D, Whittle MW. *Whittle’s Gait Analysis-E-Book*. Elsevier Health Sciences; 2022.
  27. Alsancak S. *Patolojik yürüyüş*. 2016;