



Farklı yaş gruplarında üç boyutlu yürüme analizi normalizasyon verileri oluşturmak gerekli midir?

Is generating normalization data in three-dimensional gait analysis of different age groups a necessity?

Kubilay Beng,¹ Sebahat Aydil,² Osman Lapçın,¹ Pınar Özkan,² Yasin Şahin,¹ Yavuz Selim Kabukçuoğlu¹

¹Metin Sabancı Baltalimanı Kemik Hastalıkları Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, İstanbul, Türkiye

²Metin Sabancı Baltalimanı Kemik Hastalıkları Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Yürüme Analizi Laboratuvarı, İstanbul, Türkiye

Geliş tarihi / Received: Mayıs 2015 Kabul tarihi / Accepted: Eylül 2015

ÖZ

Amaç: Bu çalışmada farklı yaş gruplarında üç boyutlu yürüme analizi normalizasyon verileri oluşturmanın gerekli olup olmadığı araştırıldı.

Hastalar ve yöntemler: Çalışmaya yürüme patolojisi yaratabilecek herhangi bir hastalığı olmayan ve yaşları 5 ila 21 arası değişen 59 sağlıklı katılımcı dahil edildi. Katılımcılar üç gruba ayrıldı. Grup 1'de 5-8 yaş arası 19 kişi, grup 2'de 9-13 yaş arası 21 kişi ve grup 3'te 14-21 yaş arası 19 kişi yer aldı. Katılımcıların tümüne üç boyutlu yürüme analizi uygulandı. Gruplar arasında zaman-mesafe, kinematik ve kinetik parametreler karşılaştırıldı.

Bulgular: Yürüme hızı dışındaki tüm zaman-mesafe değişkenlerinde gruplar arasında anlamlı derecede fark saptandı. Boy ve bacak uzunlukları ile çift adım zamanı, çift adım uzunluğu, adım genişliği arasında orta derecede; dakikadaki adım sayısı arasında orta derecede ve ters orantılı ilişki saptandı. Diğer yaş gruplarından farklı olarak, grup 1'de ilk teması artmış diz fleksiyonu (K1, p=0.00) ile yaptıkları, basma ortası fazında diz ekstansiyonunun (K2, p=0.026) daha az olduğu ve ilk salınım fazında tepe diz fleksiyonunun (K3, p=0.00) yüksek olduğu saptandı.

Sonuç: Çalışma bulgularımız, farklı yaş gruplarında üç boyutlu yürüme analizi normalizasyon verilerinin oluşturulmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Anabtar sözcükler: Yürüme analizi; kinematik; kinetik.

ABSTRACT

Objectives: This study aims to investigate whether generating normalization data of three-dimensional gait analysis of different age groups is a necessity.

Patients and methods: Fifty-nine healthy participants aged between 5 to 21 years without a precursor disorder for gait pathology were included in the study. The participants were divided into three groups. Group 1 consisted of 19 subjects aged 5 to 8 years, group 2 of 21 subjects aged 9 to 13 years, and group 3 of 19 subjects aged 14 to 21 years. Three-dimensional gait analysis was performed on all participants. Temporo-spatial, kinematic, and kinetic variables were compared among the groups.

Results: Except the gait velocity, all temporo-spatial variables differed significantly among the groups. A moderate correlation was detected between the individuals' height and limb length and stride time, stride length, and step width, while there was a moderate and inverse correlation between the individuals' height and limb length and cadence. Compared to the other age groups, the knee flexion was significantly higher during the heel strike (K1, p=0.00), the knee extension was lower during the terminal stance phase (K2, p=0.026), and peak knee flexion was significantly higher in during the initial swing phase (K3, p=0.00) in group 1.

Conclusion: Our study results emphasize the necessity of generating normalization data of three-dimensional gait analysis of different age groups.

Keywords: Gait analysis; kinematic; kinetic.

İletişim adresi / Corresponding author: Dr. Kubilay Beng, Metin Sabancı Baltalimanı Kemik Hastalıkları Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, 34470 Baltalimanı, İstanbul, Türkiye. e-posta / e-mail: kubilaybeng@yahoo.com

Cite this article as:

Beng K, Aydil S, Lapçın O, Özkan P, Şahin Y, Kabukçuoğlu YS. Is generating normalization data in three-dimensional gait analysis of different age groups a necessity?. [Article in Turkish] Turk J Phys Med Rehab 2016;62(3):240-7.

Nöromusküler hastalığı olan bireylerin değerlendirilmesinde görsel yürüme analizi tüm dünyada çok eski yıllardan beri yaygın olarak kullanılmaktadır. 1990'lı yıllardan itibaren hızla gelişen üç boyutlu yürüme analizi değerlendirme ve tedavi karar süreçlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntemle nöromusküler hastalığı bulunan çocukların yürüyüş özellikleri hakkında hem daha öznel veriler elde edilebilmekte hem de hareket bozukluğu yaratan birincil ve kompensatuar ikincil patolojiler saptanabilmektedir. Bir yürüyüşün patolojik olduğunu saptayabilmek için sağlıklı bireylerden alınan normalizasyon verileri gerekmektedir.^[1]

Üç boyutlu yürüme analizi bilgilerimize göre eklem kinematikleri, ilgili eklemlerdeki üç farklı planda açısal değişiklikleri; eklem kinetikleri ise ilgili eklemlerdeki moment ve güç değişiklikleri hakkında bilgi verir. Bu eklemlerdeki hangi kasın daha baskın olduğunu, moment grafikleri ve amplitüdü ile; kasların güç üretimi mi yoksa güç absorpsiyonu mu yaptığını ise güç grafikleri ve amplitüdü ile görebiliriz.^[2-4]

Süt çocuklarının altı aylık iken oturmaya, dokuz aylık iken emeklemeye, bir yaşında destekli yürümeye, 15 aylık iken desteksiz yürümeye başladığı bilinmektedir. Bağımsız yürümeye ilk başlayan çocuk geniş adımla, diz ve kalça hiperfleksiyonda yürümektedir. Yaş ilerledikçe adım genişliği daralır, adım uzunluğu ve yürüme hızı artar ve beş yaşında yürüme yeteneği tamamlanır.^[5,6] Fakat bu dönemde çocuğun yürüme şekli aynı gün içinde bile değişkenlik gösterebilmektedir. Yürümenin değişkenlik göstermediği ve erişkin döneme geçtiği yaş sekiz yaştır.^[2] Sekiz yaşından sonra yürümenin maturasyonu tamamlanmış olsa bile kas-iskelet sistemi gelişimi (bacak uzunluğu) devam ettiği için adım genişliği, dakikadaki adım sayısı değişkenlik gösterir.

Çalışmamızda yürümede yaşla beraber oluşan bu değişiklikleri dikkate alarak birbirine yakın üç farklı yaş grubunda zaman-mesafe, kinematik ve kinetik değişkenler arası farkları incelemeyi ve farklı yaş gruplarında üç boyutlu yürüme analizi normalizasyon verileri oluşturmanın gerekliliğini göstermeyi amaçladık.

HASTALAR VE YÖNTEMLER

Çalışma Metin Sabancı Baltalimanı Kemik Hastalıkları Eğitim ve Araştırma Hastanesi Yürüme Analizi Laboratuvarında tek merkezli olarak yapıldı. Çalışmada tabakalı rastgele örnekleme yöntemi

kullanıldı. Şubat 2013 - Kasım 2013 tarihleri arasında hastanemiz polikliniklerine başvuran, yürüme bozukluğuna neden olacak herhangi bir hastalığı olmayan ve yaşları 5-21 arası değişen, sağlıklı bireyler yapılacak olan bu çalışma hakkında bilgilendirildi. Çalışmaya katılmayı kabul eden gönüllü bireylerin yürüme analizi yapıldı ve sonuçlar değerlendirildi. Çalışmaya katılan çocukların ailelerinden, yetişkinlerin ise kendisinden yazılı onamları alındı. Veriler retrospektif olarak değerlendirildi ve bireyler üç gruba ayrıldı. Grup 1'de 5-8 yaş arası 19 birey, grup 2'de 9-13 yaş arası 21 birey ve grup 3'te 14-21 yaş arası 19 birey yer aldı. İstatistiksel değerlendirme tamamlandıktan sonra veriler üzerinden standart etki büyüklüğü hesaplandı. Yüzde beş hata payı, %80 güç ile standart etki büyüklüğü 1.00 olacak şekilde her grup için 16 olgunun yeterli olacağı düşünüldü. Bu değerlendirme sonrasında çalışmanın yayınlanması planlandı.

Yürüme analizinden önce çalışmaya dahil edilen her bireyin antropometrik ölçümlerden boy ve alt ekstremitelere uzunluğu ölçüldü.

Yürüme analizi bireylere Vicon Bonita Sistemi (Oxford Metrics Ltd., Oxford, England) ile uygulandı. Analiz için sekiz adet 100 Hz infrared kamera ve iki adet Bertec kuvvet platform (Bertec Corp. Columbus, OH, USA) kullanıldı. Bireylerin belirli anatomik noktalarına 34 adet retroreflektif belirteç modifiye Helen Hayes modeline göre yerleştirildi.^[7-9] Bireylerden 9 m yürüme yolunda çıplak ayakla günlük hayattaki yürüme paterni ve hızıyla yürümleri istendi. Alınan yürüme kayıtları Vicon Nexus 1.8.2 versiyon (Vicon Motion Systems, Ltd., Oxford, UK) programında işleminden geçirildi. Daha sonra Polygon 4.0.1 yazılımı (Vicon Motion Systems, Ltd., Oxford, UK) ile zaman-mesafe parametreleri ile kinematik ve kinetik grafikler elde edildi. Tüm ölçümler tek bir araştırmacı tarafından yapıldı.

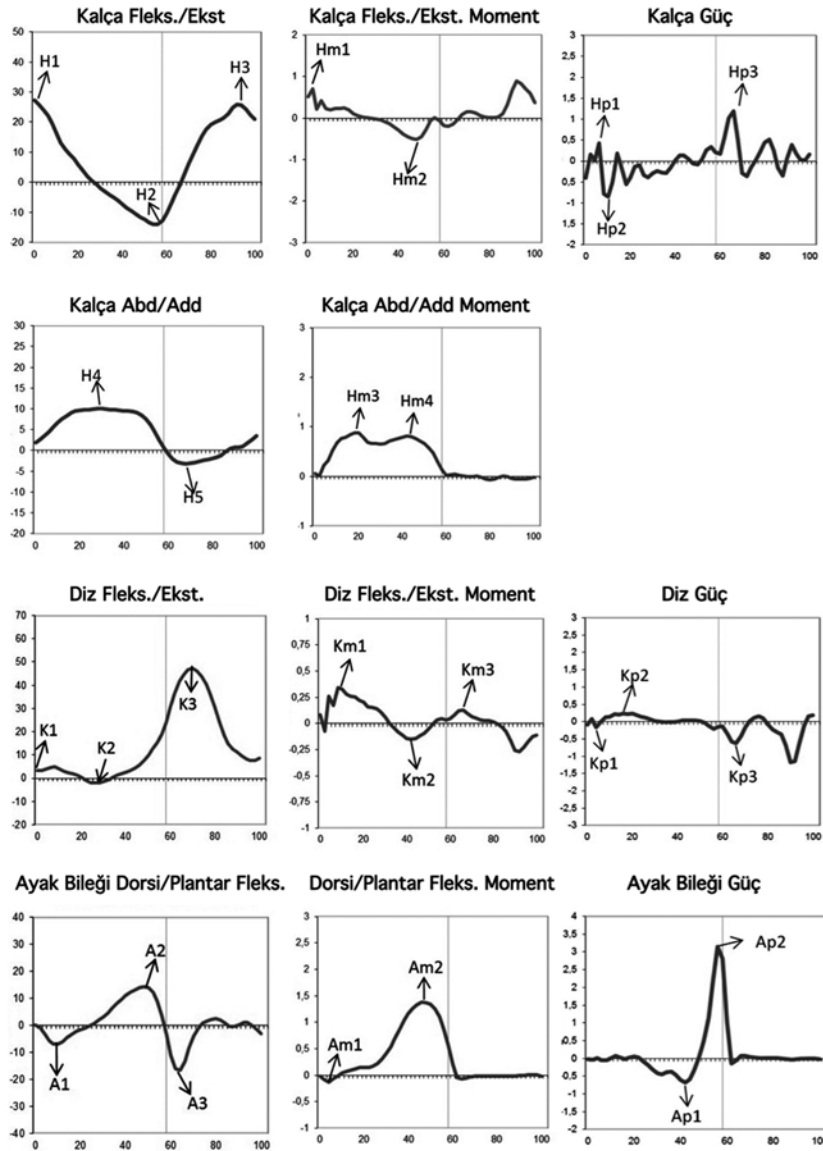
Bireylerin her iki ayağının sırasıyla kuvvet platformuna tam bastığı yürüme siklusları sağlıklı veri olarak kabul edildi. Bu şekilde sağ ve sol alt ekstremitenin ayrı ayrı yürüme siklusları çıkarılarak bireylerden 2-6 arası yürüme siklusu elde edildi. Daha sonra her bireyden elde edilen siklusların ortalamaları alındı. Bu şekilde her bir bireyin ortalama bir yürüme siklusu oluşturuldu ve bu sikluslar istatistiksel olarak değerlendirildi.

Üç gruptaki bireylerin zaman-mesafe değişkenlerinden; adım genişliği, çift adım uzunluğu, çift adım zamanı, dakikadaki adım sayısı ve yürüme hızları değerlendirmeye alındı. Gruplar arasında anlamlı fark olup olmadığı değerlendirildi. Boy ve bacak uzunluğu

ile zaman-mesafe değişkenleri arasındaki ilişkiye bakıldı.

Değerlendirme için seçilen kinematik ve kinetik değişkenler yürümenin fazları dikkate alınarak belirlendi. Tüm eklemlerin ilk temas, basma ortası, basma

sonu ve salınım fazlarındaki; kalça fleksiyon/ekstansiyon, kalça abdüksiyon/adduksiyon, diz fleksiyon/ekstansiyon, ayak bileği dorsi/plantar fleksiyon değerleri çalışmaya dahil edildi. Eklemlerin (dorsi) fleksiyon ve adduksiyon değerleri pozitif, ekstansiyon (plantar



Şekil 1. İstatistiksel analiz için seçilen kinematik ve kinetik değişkenler. H1: Topuk vuruşundaki maksimum kalça fleksiyonu; H2: Basma fazındaki maksimum kalça ekstansiyonu; H3: Salınım fazındaki maksimum kalça fleksiyonu; H4: Maksimum addüksiyon; H5: Maksimum abdüksiyon; K1: Topuk vuruşundaki maksimum diz fleksiyonu; K2: Basma fazındaki maksimum diz ekstansiyonu; K3: Salınım fazındaki maksimum diz fleksiyonu; A1: Topuk vuruşundan sonraki ayak bileği plantar fleksiyonu; A2: Maksimum ayak bileği dorsifleksiyonu; A3: Maksimum ayak bileği plantar fleksiyonu; Hm1: Maksimum kalça ekstansör momenti; Hm2: Maksimum kalça fleksör momenti; Hm3: İlk kalça abdüktör momenti; Hm4: İkinci kalça abdüktör momenti; Km1: İlk diz ekstansör momenti; Km2: Maksimum diz fleksör momenti; Km3: İkinci diz ekstansör momenti; Am1: Maksimum ayak bileği dorsifleksör momenti; Am2: Maksimum ayak bileği plantar fleksör momenti; Hp1: Kalçadaki ilk güç oluşumu; Hp2: Kalça güç absorpsiyonu; Hp3: Kalçadaki ikinci güç oluşumu; Kp1: Dizdeki ilk güç absorpsiyonu; Kp2: Dizdeki güç üretimi; Kp3: Dizdeki ikinci güç absorpsiyonu; Ap1: Ayak bileği güç absorpsiyonu; Ap2: Ayak bileği güç oluşumu.

Tablo 1. Şekil 1’de gösterilen ve istatistiksel analiz için seçilen kinetik ve kinematik değişkenlerin tanımlamaları

Kinematik değişkenler		Moment değişkenleri		Güç değişkenleri	
H1	Topuk vuruşundaki maksimum kalça fleksiyonu	Hm1	Maksimum kalça ekstansör momenti	Hp1	Kalçadaki ilk güç oluşumu
H2	Basma fazındaki maksimum kalça ekstansiyonu	Hm2	Maksimum kalça fleksör momenti	Hp2	Kalça güç absorpsiyonu
H3	Salınım fazındaki maksimum kalça fleksiyonu	Hm3	İlk kalça abdükör momenti	Hp3	Kalçadaki ikinci güç oluşumu
H4	Maksimum adduksiyon	Hm4	İkinci kalça abdükör momenti	Kp1	Dizdeki ilk güç absorpsiyonu
H5	Maksimum abduksiyon	Km1	İlk diz ekstansör momenti	Kp2	Dizdeki güç üretimi
K1	Topuk vuruşundaki maksimum diz fleksiyonu	Km2	Maksimum diz fleksör momenti	Kp3	Dizdeki ikinci güç absorpsiyonu
K2	Basma fazındaki maksimum diz ekstansiyonu	Km3	İkinci diz ekstansör momenti	Ap1	Ayak bileği güç absorpsiyonu
K3	Salınım fazındaki maksimum diz fleksiyonu	Am1	Maksimum ayak bileği dorsifleksör momenti	Ap2	Ayak bileği güç oluşumu
A1	Topuk vuruşundan sonraki ayak bileği plantar fleksiyonu	Am2	Maksimum ayak bileği plantar fleksör momenti		
A2	Maksimum ayak bileği dorsifleksiyonu				
A3	Maksimum ayak bileği plantar fleksiyonu				

fleksiyon) ve abduksiyon değerleri negatif değerlerdir. Yerçekimi ve eylemsizlik kuvvetlerinin oluşturduğu momente karşı gelişen eklem momentleri net momentlerdir (belli bir eklemden ve belli bir düzlemdeki internal momentlerin ortalaması). Ekstansör ve abdükör moment değerleri pozitif, fleksör ve addüktör moment değerleri negatiftir. Her bireyden alınan 28 kinetik ve kinematik değişken (Şekil 1, Tablo 1) incelendi. Her bir değişken için gruplar arasında anlamlı fark olup olmadığı değerlendirildi.

İstatistiksel analiz

Verilerin tanımlayıcı istatistiklerinde ortalama, standart sapma, medyan, en düşük ve en yüksek değerleri kullanıldı. Değişkenlerin dağılımı Kolmogorov-Smirnov testi ile kontrol edildi. Dağılımı normal olan verilerin (kinematik ve kinetik veriler) analizinde üç grup arasında tek yönlü varyans analizi (ANOVA)

kullanıldı. Anlamlı p değeri ($p < 0.05$) bulunan veriler için değişkenlerin homojenitesine bakıldı. Bu verilerin Posthoc analizinde; veriler eğer homojen ise Tukey testi, homojen değilse Tamhane testi yapılarak ikili gruplar arasındaki anlamlı değişiklikler saptandı. Kolmogorov-Smirnov testine göre dağılımı normal olmayan verilerin analizinde ise Kruskal-Wallis testi kullanıldı. Anlamlı p değeri ($p < 0.05$) bulunan veriler için Mann-Whitney U testi yapılarak ikili gruplar arasındaki anlamlı değişiklikler saptandı. Gruplar arası karşılaştırma yapılırken p değerleri Bonferoni düzeltmesi yapılarak yorumlandı. Ayrıca bireylerin boy ve bacak uzunlukları ile zaman-mesafe parametreleri arasındaki ilişkiye; verilerin dağılımının normal olmaması nedeniyle Spearman korelasyon testi ile bakıldı. Analizlerde IBM SPSS 20.0 versiyon (IBM Corporation, Armonk, NY, USA) yazılım programı kullanıldı.

Tablo 2. Zaman-mesafe değişkenleri karşılaştırmaları

Değişkenler	Grup 1 (n=19)			Grup 2 (n=21)			Grup 3 (n=19)			p^*
	Ort.±SS	Min.-Maks.	Medyan	Ort.±SS	Min.-Maks.	Medyan	Ort.±SS	Min.-Maks.	Medyan	
Boy uzunluğu (cm)	121±7	110-134	120	141±9	127-161	139	168±7	153-182	170	0.000†
Bacak uzunluğu (cm)	64±6	55-76	63	77±5	67-90	77	90±4	82-99	91	0.000†
Dakikadaki adım sayısı	131±14	110-154	135	115±13	83-138	113	106±21	86-194	103	0.000‡
Çift adım zamanı (sn)	0.9±0.1	0.7-1	0.9	1±0.1	0.8-1	1	1.1±0.09	1.03-1.39	1.1	0.000†
Çift adım uzunluğu (m)	0.9±0.08	0.8-1	0.9	1±0.09	0.9-1	1	1.1±0.08	1.05-1.38	1.1	0.000†
Adım genişliği (m)	0.09±0.04	0.03-0.1	0.09	0.1±0.02	0.04-0.2	0.1	0.1±0.04	0.06-0.2	0.1	0.000†
Yürüme hızı (m/sn)	1±0.1	0.7-1	1	1±0.1	0.8-1	1	1±0.1	0.7-1.21	1	0.355†

Ort.±SS: Ortalama ± standart sapma; Min.: Minimum; Maks.: Maksimum; * İstatistiksel anlamlılık değeri $p < 0.05$ olarak alınmıştır. † tek yönlü ANOVA testi ile elde edilen değerler; ‡ Kruskal-Wallis testi ile elde edilen p değerleri, anlamlı p değerleri koyu renkle gösterilmiştir.

Tablo 3. Antropometrik ve zaman-mesafe değişkenlerinin ilişkisi

	Boy uzunluğu	Bacak uzunluğu
Dakikadaki adım sayısı		
r^*	-0.683	-0.702
p^*	0.000	0.000
Çift adım zamanı		
r^{\ddagger}	0.728	0.741
p^{\ddagger}	0.000	0.000
Çift adım uzunluğu		
r^{\ddagger}	0.771	0.775
p^{\ddagger}	0.000	0.000
Adım genişliği		
r^{\ddagger}	0.548	0.534
p^{\ddagger}	0.000	0.000
Yürüme hızı		
r^{\ddagger}	-0.150	-0.168
p^{\ddagger}	0.247	0.197

* Spearman korelasyon testinden elde edilen r ve p değerleri; \ddagger Pearson korelasyon testinden elde edilen r ve p değerleri.

BULGULAR

Zaman mesafe değişkenleri

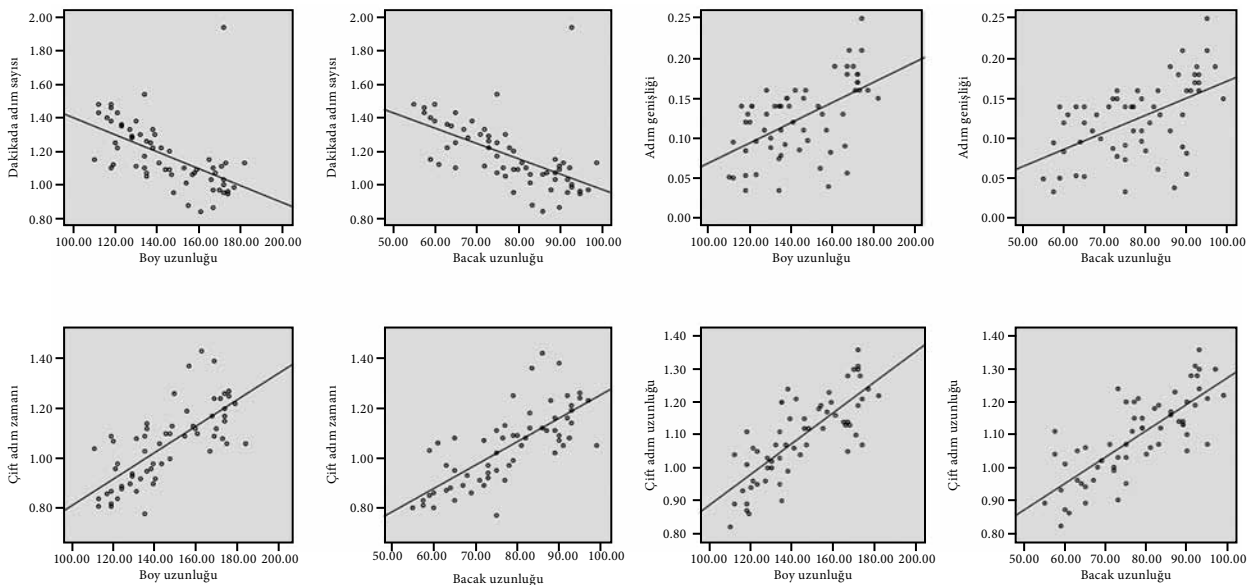
Yürüme hızı dışındaki tüm zaman-mesafe değişkenlerinde gruplar arasında anlamlı derecede fark saptandı (Tablo 2). Boy ve bacak uzunlukları ile çift adım zamanı, çift adım uzunluğu ve adım genişliği arasında orta derecede, dakikadaki adım sayısı arasında orta derecede ve ters orantılı ilişki saptandı. Yürüme hızı ile boy ve bacak uzunlukları arasında ise ilişki saptanmadı (Tablo 3, Şekil 2).

Kinematik ve kinetik

Kinematik ve kinetik değişkenler için ortalama, minimum, maksimum, medyan ve standart sapma değerlerini

içeren tanımlayıcı istatistikler ile üç grup arasında yapılan tek yönlü ANOVA testi ve Kruskal-Wallis testi sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Anlamlı p değeri $p < 0.05$ olarak verilmiştir ve tabloda koyu olarak belirtilmiştir.

Kalça: Kalçada sagittal planda; her üç gruptaki bireylerin ilk teması benzer kalça fleksiyonu ile yaptıkları gözlemlendi [gruplarda topuk vuruşundaki maksimum kalça fleksiyonu (H1) değeri sırasıyla 32°, 30°, 28°]. Kalçada bu fazdan sonra fleksiyonun gittikçe azaldığı ve ekstansiyona gittiği saptandı. Kalçadaki bu ekstansiyona gidiş sırasında ekstansör moment oluştuğu [gruplarda sırasıyla maksimum kalça ekstansör momenti (Hm1)= 0.7 Nm/kg, 0.7 Nm/kg, 0.9 Nm/kg] ve kalçada güç üretimi gerçekleştiği (gruplarda sırasıyla kalçadaki ilk güç oluşumu (Hp1)= 0.7 W/kg, 0.9 W/kg, 0.7 W/kg) gözlemlendi. Bu fazdaki moment ve güç oluşumu değerleri gruplar arasında anlamlı fark göstermedi. Basma ortası fazında net eklem momentinin her üç grupta da ekstansiyondan fleksiyona geçiş yaptığı [gruplarda sırasıyla maksimum kalça fleksör momenti (Hm2)= -0.9 Nm/kg, -0.8 Nm/kg, -0.7 Nm/kg] gözlemlendi. Tam bu aşamada güç absorpsiyonu (Hp2) oluştu. Güç absorpsiyonu 14-21 yaş grubunda diğer gruplardan anlamlı olarak daha fazla bulundu (Tamhane testi; grup 1-2 arası $p=0.385$, grup 1-3 arası $p=0.033$, grup 2-3 arası $p=0.002$). Basma sonu fazındaki maksimum kalça ekstansiyonları (H2) değerlendirildiğinde istatistiksel olarak anlamlı olmasa da ($p=0.108$) moment verileriyle uyumlu olarak 5-8 yaş grubundaki bireylerin diğer iki gruptan daha fazla ekstansiyon yaptığı saptandı (gruplarda H2 değeri sırasıyla -12°, -10°, -8°). Her üç gruptaki bireylerin salınım fazındaki aktif kalça fleksiyonuna (H3) basma



Şekil 2. Antropometrik ölçümler ile zaman-mesafe değişkenleri arasındaki ilişki grafikleri.

Tablo 4. Kinematik ve kinetik parametrelerin karşılaştırması

Değişkenler	Grup 1 (n=19)			Grup 2 (n=21)			Grup 3 (n=19)			p*
	Ort.±SS	Min.-Maks.	Medyan	Ort.±SS	Min.-Maks.	Medyan	Ort.±SS	Min.-Maks.	Medyan	
H1°	32±7	14-43	31	30±6	21-44	29	28±6	10-38	30	0.307†
H2°	-12±7	-25-1	-14	-10±5	-21 - -1	-11	-8±5	-19 - -0.6	-8	0.108†
H3°	33±5	20-45	34	33±6	23-48	33	32±6	23-49	33	0.858†
H4	11±3	5-18	12	9±2	5-13	10	8±4	0.4-16	7	0.015†
H5	-2±5	-9-10	-3	-4±3	-10-2	-4	-4±2	-10 - -0.5	-3	0.131†
K1	17±3	12-24	17	12±5	0.8-19	13	9±6	-4-24	9	0.000†
K2	3±4	-3-12	1	2±4	-8-13	2	-0.3±3	-8-9	-0.2	0.026†
K3	65±5	57-72	66	58±5	47-67	61	56±6	45-71	56	0.000†
A1	-2±4	-13-2	-2	-3±5	-10-14	-4	-5±5	-23-1	-4	0.257†
A2	16±1	12-18	16	15±5	6-29	15	14±4	-1-19	15	0.551†
A3	-14±6	-27 - -5	-14	-15±10	-32. 13	-14	-12±6	-26 - -1	-11	0.511†
Hm1 (Nm/kg)	0.7±0.4	-0.01-1.49	0.8	0.7±0.3	0.33-1.43	0.6	0.9±0.5	0.19-2.43	0.8	0.529†
Hm2 (Nm/kg)	-0.9±0.3	-1.7 - -0.47	-0.8	-0.8±0.3	-1.9 - -0.45	-0.7	-0.7±0.2	-1.09 - -0.3	-0.6	0.086†
Hm3 (Nm/kg)	0.7±0.2	0.3-0.1	0.6	0.7±0.2	0.2-1	0.7	0.8±0.1	0.4-1.1	0.8	0.126†
Hm4 (Nm/kg)	0.5±0.2	0.02-0.9	0.5	0.7±0.2	0.2-1.45	0.6	0.8±0.2	0.3-1.2	0.7	0.007†
Km1 (Nm/kg)	0.4±0.2	0.02-0.9	0.3	0.3±0.3	-0.1-1.5	0.3	0.2±0.2	-0.9-0.6	0.1	0.072†
Km2 (Nm/kg)	-0.1±0.1	-0.4-0.4	-0.1	-0.2±0.1	-0.6 - -0.04	-0.2	-0.2±0.1	-0.6-0.07	-0.2	0.003†
Km3 (Nm/kg)	0.3±0.2	0.1-0.8	0.2	0.2±0.2	0.07-0.9	0.1	0.2±0.09	0.1-0.4	0.2	0.341†
Am1 (Nm/kg)	-0.07±-0.1	-0.2-0.2	-0.07	-0.1±0.08	-0.3-0.03	-0.1	-0.07±0.05	-0.1-0.1	-0.07	0.284†
Am2 (Nm/kg)	1.04±0.19	0.7-1	1	1.2±0.2	0.6-1	1	1.4±0.1	1.15-1.69	1	0.000†
Hp1 (w/kg)	0.7±0.6	0.04-2	0.6	0.9±0.4	0.2-1	0.8	0.7±0.3	0.2-1.9	0.6	0.337†
Hp2 (w/kg)	-1±1	-4. -0.3	-0.7	-0.7±0.3	-1 - -0.2	-0.7	-0.4±0.2	-0.8 - -0.02	-0.4	0.004†
Hp3 (w/kg)	1±0.7	0.9-2	0.9	1±0.6	0.3-2	1	1±0.4	0.3-1	1	0.774†
Kp1 (w/kg)	-0.8±0.9	-3-1	-0.6	-0.6±0.4	-1-0.4	-0.6	-0.8±0.4	-2 - -0.1	-0.8	0.336†
Kp2 (w/kg)	0.3±0.8	-2-1	0.3	0.2±0.4	-1-0.8	0.2	0.2±0.1	0.04-0.7	0.1	0.053‡
Kp3 (w/kg)	-0.8±0.5	-1-0.2	-0.9	-1±0.6	-2-0.3	-1	-1±0.3	-1 - -0.6	-1	0.135†
Ap1 (w/kg)	-0.7±0.3	-1 - -0.2	-0.5	-0.8±0.3	-1 - -0.3	-0.7	-0.8±0.2	-1 - -0.5	-0.8	0.281†
Ap2 (w/kg)	3±0.9	1-5	3	3±1	1-5	3	3±0.8	2-5	3	0.991†

Ort.±SS: Ortalama ± standart sapma; Min.: Minimum; Maks.: Maksimum; * İstatistiksel anlamlılık değeri p<0.05 olarak alınmıştır. † ANOVA Testi ile elde edilen p değerleri; ‡ Kruskal-Wallis Testi ile elde edilen p değerleri, anlamlı p değerleri koyu renkle gösterilmiştir; H1: Topuk vuruşundaki maksimum kalça fleksiyonu; H2: Basma fazındaki maksimum kalça ekstansiyonu; H3: Salınım fazındaki maksimum kalça fleksiyonu; H4: Maksimum addüksiyon; H5: Maksimum abdüksiyon; K1: Topuk vuruşundaki maksimum diz fleksiyonu; K2: Basma fazındaki maksimum diz ekstansiyonu; K3: Salınım fazındaki maksimum diz fleksiyonu; A1: Topuk vuruşundan sonraki ayak bileği plantar fleksiyonu; A2: Maksimum ayak bileği dorsifleksiyonu; A3: Maksimum ayak bileği plantar fleksiyonu; Hm1: Maksimum kalça ekstansör momenti; Hm2: Maksimum kalça fleksör momenti; Hm3: İlk kalça abdüktör momenti; Hm4: İkinci kalça abdüktör momenti; Km1: İlk diz ekstansör momenti; Km2: Maksimum diz fleksör momenti; Km3: İkinci diz ekstansör momenti; Am1: Maksimum ayak bileği dorsifleksör momenti; Am2: Maksimum ayak bileği plantar fleksör momenti; Hp1: Kalçadaki ilk güç oluşumu; Hp2: Kalça güç absorpsiyonu; Hp3: Kalçadaki ikinci güç oluşumu; Kp1: Dizdeki ilk güç absorpsiyonu; Kp2: Dizdeki güç üretimi; Kp3: Dizdeki ikinci güç absorpsiyonu; Ap1: Ayak bileği güç absorpsiyonu; Ap2: Ayak bileği güç oluşumu.

sonu fazında başladığı ve salınım ortası fazda tepe kalça fleksiyonuna ulaştıkları ve gruplar arasında fark olmadığı (p=0.858) saptandı. Aktif kalça fleksiyonu esnasında kalçada oluşan güç üretimi (Hp3) değerlendirildiğinde gruplar arasında anlamlı fark olmadığı (p=0.774) saptandı. Frontal planda ise basma fazında 14-21 yaş grubunda kalça addüksiyonu (H4) diğer iki gruba oranla anlamlı olarak daha az (tamhane testi; grup 1-2 arası p=0.093, grup 1-3 arası p=0.035, grup 2-3 arası p=0.002) saptandı, salınım fazındaki abdüksiyon (H5) değerlerinde ise gruplar arası anlamlı fark saptanmadı (gruplarda H5 değeri sırasıyla -2°, -4°, -4°). İkinci kalça abdüktör momenti (Hm4) abdüksiyon momentleri açısından 5-8 yaş grubu bireylerin diğer gruplardaki bireylere kıyasla anlamlı derecede (p=0.007) düşük aplitütte momente sahip oldukları (Tukey testi; grup 1-2 arası p=0.0001, grup 1-3 arası p=0.0001, grup 2-3 arası p=0.540) saptandı.

Diz: Sagital planda; ilk temasta 5-8 yaş arasındaki bireylerin diğer gruplardaki bireylerden anlamlı derecede (p=0.0001) daha fazla diz fleksiyonu (grupların topuk vuruşundaki maksimum diz fleksiyonu (K1) ortalama değerleri sırasıyla 17°, 12°, 9°) ile yürüyüşe başladığı (tamhane testi; grup 1-2 arası p=0.006, grup 1-3 arası p=0.0001, grup 2-3 arası p=0.146) saptandı. Yüklenmenin kabulü ile beraber diz fleksiyonunun bir miktar arttığı gözlemlendi. Bu aşamada dizde güç absorpsiyonu (Kp1) olduğu ve gruplar arasında anlamlı fark olmadığı saptandı (p=0.336). Yüklenmenin kabulü fazında fleksiyondaki dizin kollapsını engelleyen ekstansör momentin (Km1) oluştuğu fakat gruplar arasında anlamlı fark olmadığı gözlemlendi (p=0.072). Basma ortası fazında dizin ekstansiyona (K2) geldiği ve bu fazda 14-21 yaş arası gruptaki bireylerin diğer gruplara göre anlamlı derecede (p=0.026) daha fazla diz ekstansiyonu (grupların K2 ortalama değerleri sırasıyla 3°, 2°, -0.3°) yaptığı (Tukey testi; grup 1-2 arası

$p=0.743$, grup 1-3 arası $p=0.026$, grup 2-3 arası $p=0.003$ saptandı. Bu fazdaki maksimum diz fleksör momentinde (Km2) grup 2 ile 3 arasında anlamlı fark olmasa da bu iki grupta da grup 1'den anlamlı derecede yüksek olduğu gözlemlendi (Tukey testi; grup 1-2 arası $p=0.005$, grup 1-3 arası $p=0.016$, grup 2-3 arası $p=0.905$). Bu faz sırasında dizdeki güç üretimi (Kp2) güç üretimi değerleri üç grup arasında anlamlı fark göstermedi ($p=0.053$). Salınım öncesi fazda her üç grupta da dizin tekrar fleksiyona gittiği, ekstansör momentten fleksör momente doğru bir geçiş olduğu gözlemlendi. İlk salınım fazındaki tepe diz fleksiyonu (K3) 5-8 yaş arası grupta diğer gruplardan anlamlı ($p=0.0001$) derecede yüksek olduğu (tamhane testi; grup 1-2 arası $p=0.0001$, grup 1-3 arası $p=0.0001$, grup 2-3 arası $p=0.006$) saptandı. Aynı fazda moment (Km3) ve güç dizdeki ikinci güç absorpsiyonu (Kp3) değerleri arasında anlamlı fark gözlenmedi.

Ayak bileği: Sagittal planda ayak bileği birinci yuvarlanma sırasındaki plantar fleksiyon (A1) istatistiksel olarak anlamlı bulunmasa da ($p=0.257$) 14-21 yaş grubunda, diğer iki gruba kıyasla daha yüksek (gruplarda A1 değeri sırasıyla, -2° , -3° , -5°) bulundu. Basma sonu fazındaki dorsifleksiyon (A2) ile salınım öncesi fazındaki plantar fleksiyon (A3) değerleri arasında gruplar arasında anlamlı fark saptanmadı. Maksimum ayak bileği dorsifleksör momentte (Am1) ve güç (Ap1) değerlerinde gruplar arasında anlamlı fark saptanmadı. Basma sonu fazındaki plantar fleksör moment değeri (Am2) 5-8 yaş arası grupta diğer gruplardan anlamlı derecede düşük bulundu (Tukey testi; grup 1-2 arası $p=0.005$, grup 1-3 arası $p=0.0001$, grup 2-3 arası $p=0.013$). Basma sonu fazında gruplar arasında güç oluşumu (Ap2) açısından anlamlı fark bulunmadı ($p=0.991$).

TARTIŞMA

Yaş ile yürüme şeklinin değiştiği bilinmektedir.^[5,6] Yürüme sırasındaki değişiklikleri ve patolojileri anlayabilmek için normal yürümeyi anlayabilmemiz gereklidir.^[2,3] Bunun için de normal yürümeye ait verileri; kinetik, kinematik, zaman-mesafe parametrelerini -günümüzde kullanımı giderek artan bilgisayarlı üç boyutlu yürüme analizi ile- elde etmemiz ve verileri yorumlamamız gerekmektedir. Verilerimizin; kas-iskelet sisteminin maturasyonu ile birlikte zaman-mesafe parametrelerinin nasıl değiştiğini göstermesi, kinematik ve kinetik değişkenlerin yaşlara göre nasıl farklılık gösterdiğini ortaya koyması nedeniyle değerli olduğunu düşünüyoruz.

Verilerimiz; literatürle uyumlu olarak^[2,5,6,9] boy ve alt ekstremite uzunluğu arttıkça çift adım zamanı, çift

adım uzunluğu ve adım genişliğinin arttığını, dakika-daki adım sayısının ise azaldığını göstermiştir.

Ounpuu ve ark.^[1] 5-16 yaş grubunda yaptıkları çalışmalarında bu yaş grubu ile yetişkin grup bireylerin kinetik ve kinematik verilerinin benzer olduğunu ve yaşla beraber önemli bir değişim göstermediğini belirtmişlerdir. Oeffinger ve ark.^[10] dört yaş ve üzerinde sagittal planda ayak bileği eksternal dorsifleksör momentin amplitüdünün arttığını bildirmişlerdir. Buna ek olarak ilerleyen yaşla birlikte ayak bileği güç grafiklerinde absorpsiyon bölümünde (Ap1) azalma, güç üretimi bölümünde (Ap2) artma gözlemlendiğini, yine ilerleyen yaşla birlikte kalça hareketi sırasındaki hem başlangıçtaki kalça ekstansör güç üretimi (Hp1) hem de ilk salınım fazındaki kalça fleksör güç üretiminin (Hp3) azaldığını bildirmişlerdir. Bu durumu çocukların güç üretiminde yetişkinlere göre kalça fleksör ve ekstansörlerini, ayak bileği plantar fleksörlerine göre daha fazla kullandıkları yönünde yorumlamışlardır. Chester ve ark.^[11] dört farklı yaş grubunda yaptıkları çalışmada kinetik verileri değerlendirmiş ve ayak bileği plantar fleksör momentin (Am2) yaşla beraber arttığını, diz ekstansör ve fleksör momentlerinin ise 9-13 yaş grubunda 3-6 yaş grubuna kıyasla daha yüksek bulunduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca daha yaşlı grupta kalça ekstansör momentinin diğer gruplara kıyasla daha az ve kalça abdüktör momentinin ise daha fazla olduğunu saptamışlardır. Bu çalışmaların ortak yanı sadece kinetik parametreleri karşılaştırmış olmalarıdır. Bizim çalışmamız ise kinetik, kinematik ve zaman-mesafe parametrelerinin karşılaştırmasını içermektedir.

Bu bağlamda bizim çalışmamızda gruplar arası en önemli farklılık dizin sagittal plan kinematik değerleridir. Diğer yaş gruplarından farklı olarak 5-8 yaş grubundaki bireylerin ilk teması artmış diz fleksiyonu (K1) ile yaptıkları, basma ortası fazında diz ekstansiyonunun (K2) daha az olduğu ve ilk salınım fazında tepe diz fleksiyonunun (K3) yüksek olduğu saptanmıştır ve tüm bu değerler istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Normal bir yürüyüşte ilk temasta dizin tam ekstansiyonda ya da 5° 'lik fleksiyonda olması gerekmektedir.^[2-4] İlk temasta dizin tam ekstansiyonda olması bireyin dizini kilitleyebildiğinin belirtisidir ve bu da bireyin daha stabil bir yürüme paternine sahip olduğunu gösterir. Bizim verilerimiz 5-8 yaş arası çocukların yürüme döngüsü boyunca artmış diz fleksiyonu ile yürüdüğünü göstermektedir. Bu durumun yürüme esnasında diz stabilitesini azalttığını ve bu yaş grubundaki bireylerin gün içinde değişik yürüme paternleri göstermelerine neden olduğunu düşünmekteyiz. Aynı zamanda çalışmamızda yürümenin

bu ilk fazında da 5-8 yaş grubunda ayak bileği plantar fleksiyonu (A1) değerlerinin diğer gruplardan daha düşük olduğu saptandı. Ayak bileğinin kinetik değerlerine baktığımızda ise salınım öncesi evrede oluşan plantar fleksör momentinin (Am2) 5-8 yaş grubunda Chester ve ark.nın^[11] çalışmasına benzer şekilde anlamlı derecede düşük olduğu görüldü. Ayak bileğindeki bu kinetik ve kinematik bulguların 5-8 yaş grubundaki bireylerin diz fleksiyonda yürüyüşünü kanıtlar niteliktedir. Bir başka deyişle diz ve ayak bileğindeki bu yürüme paternini; yürümenin ilk fazında yer tepkime kuvvet vektörünün ayak bileğinin önünden, dizin ise arkasından geçmekte olduğu ve bunun da ayak bileğinin dorsifleksiyonuna ve dizin fleksiyonuna neden olduğu yönünde yorumladık. Bizim çalışmamızda ayak bileği güç grafiklerinde absorbsiyon bölümünde (Ap1), ayak bileği güç üretimi bölümü (Ap2) ile basma fazındaki kalça ekstansör güç üretimi (Hp1) ve ilk salınım fazındaki kalça fleksör güç üretiminde (Hp3); Oeffinger ve ark.nın^[10] çalışmasından farklı olarak gruplar arasında farklılık saptanmadı. Bu farklılıkların kullanılan güç platformu sistemlerinin farklı olmasına bağlıyoruz.

Sonuç olarak, bu çalışma yaşla birlikte değişen boy ve bacak uzunluğuna bağlı olarak zaman-mesafe parametrelerinin değiştiğini, kinematik parametrelerde de özellikle dizde yaşla birlikte fleksiyon derecesinin azalarak daha stabil bir yürüyüşe geçildiğini göstermiştir. Yürümedeki yaşa bağlı değişikliklerin tanımlanması, çocuklarda büyüme ve gelişmenin normal bir parçası olarak ortaya çıkan ve çocukların yürüme analizi için normal sayılacak ancak yetişkinlerin yürüme analizi verilerinde gördüğümüz zaman patolojik olarak değerlendirdiğimiz parametreleri, yanlış değerlendirmemizi engelleyecektir. Bu bilgiler ışığında yürümenin karmaşıklığı, yaşa bağımlı değerlendirme yaklaşımı sergilememizi ve yaşa bağlı normalizasyon verileri oluşturmamızı gerekli kılar.

Çıkar çakışması beyanı

Yazarlar bu yazının hazırlanması ve yayınlanması aşamasında herhangi bir çıkar çakışması olmadığını beyan etmişlerdir.

Finansman

Yazarlar bu yazının araştırma ve yazarlık sürecinde herhangi bir finansal destek almadıklarını beyan etmişlerdir.

KAYNAKLAR

1. Ounpuu S, Gage JR, Davis RB. Three-dimensional lower extremity joint kinetics in normal pediatric gait. *J Pediatr Orthop* 1991;11:341-9.
2. Gage JR. The identification and treatment of gait problems in cerebral palsy. 2nd ed. London: Mac Keith Press; 2009.
3. Miller F. Cerebral Palsy. 1st ed. New York: Springer; 2005.
4. Pery J. Gait Analysis Normal and Pathological Function. 2nd ed. California: Slack Inc.; 2009.
5. Sutherland DH, Olshen R, Cooper L, Woo SL. The Development Mature Gait. *Gait & Posture* 1997;6:163-70.
6. Cupp T, Oeffinger D, Tylkowski C, Augsburg S. Age-related kinetic changes in normal pediatrics. *J Pediatr Orthop* 1999;19:475-8.
7. Hallems A, De Clercq D, Otten B, Aerts P. 3D joint dynamics of walking in toddlers A cross-sectional study spanning the first rapid development phase of walking. *Gait Posture* 2005;22:107-18.
8. Davis RB, Öunpuu S, Tyburski D, Gage JR. A gait analysis data collection and reduction technique. *Hum Mov Sci* 1991;10:575-87.
9. Kadaba MP, Ramakrishnan HK, Wootten ME. Measurement of lower extremity kinematics during level walking. *J Orthop Res* 1990;8:383-92.
10. Oeffinger DJ, Augsburg S, Cupp T. Pediatric kinetics. Age related changes in able-bodied populations. *Gait Post* 1997;5:155-6.
11. Chester VL, Wrigley AT. The identification of age-related differences in kinetic gait parameters using principal component analysis. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2008;23:212-20.