

ORIGINAL ARTICLE

Transtibial protez kullanan bireylerde sağlam tarafta CAD/CAM tabanlık kullanımının plantar basınç ve postüral stabiliteye anlık etkisi

Onur AKBEN¹, Seval KUTLUTÜRK YIKILMAZ², Esra ATILGAN³

Amaç: Bu çalışmada transtibial protez kullanan bireylerin sağlam ekstremitesinde tabanlık kullanımının plantar basınç ve postüral stabiliteye anlık etkisini incelemek amaçlandı.

Yöntem: Çalışma transtibial protez kullanan 18-65 yaş aralığındaki 16 unilateral transtibial ampute üzerinde yapıldı. Ayak postürü Ayak Postür İndeksi, kalkaneus açısı CJ Ortho mobil uygulaması (Collège des Jeunes Orthopédistes-CJO) ve universal gonyometrik ölçüm, ayak plantar basınç ve postüral stabilite Sensor Medica® sistemi, denge Berg Denge Ölçeği ile değerlendirildi. Tabanlık öncesi ve sonrası yapılan değerlendirmeler anlık olarak kaydedildi. Normal dağılım Shapiro Wilk testi ile yapıldı ve tüm verilerin normal dağılım göstermediği belirlendi. İki bağımlı değişken arasındaki farkı ortaya koymak için non-parametrik testlerden Wilcoxon Signed Ranks Testi kullanıldı. Çalışmanın istatistiksel analizi SPSS 21.00 programı kullanılarak 0,05 anlamlılık sınırında yapıldı.

Bulgular: Bireylerin sağlam ekstremitedeki tabanlık ile plantar basınç kuvvetlerinin (ön ayak yüklenme, toplam yüklenme, ön ayak temas yüzeyi, toplam temas yüzeyi) yükseldiği, maksimum basıncın azaldığı gözlemlendi. Tabanlık ile ayak bileğinin subtalar eklemler açısının azaldığı ve postüral salınım uzunluğunda ve medio-lateral salınımda azalma meydana geldiği görüldü.

Sonuç: Transtibial protez kullanan amputelerde sağlam ekstremitede kişiye özel tabanlık uygulamasının anlık olarak postüral salınımı azalttığı ve ayağın plantar basınç dağılımını iyileştirdiği bulundu. Sağlam tarafta kişiye özel tabanlık kullanımının protez kullanan ampute bireyler için teşvik edilmesi gerektiğini düşünmekteyiz.

Anahtar kelimeler: Ayak, Plantar basınç, Ayak ortezi, Postüral denge, Ampute.

Immediate effect of use of CAD/CAM Insoles at the healthy side on plantar pressure and postural stability in individuals using transtibial prosthesis

Purpose: The aim of this study was to investigate to immediate effect of using insoles on the healthy extremities of individuals using transtibial prosthesis on plantar pressure and postural stability.

Methods: The study was performed on 16 unilateral transtibial amputees aged 18-65 years using transtibial prosthesis. Foot posture, Foot Posture Index, and calcaneus angle were evaluated with the CJ Ortho mobile application (Collège des Jeunes Orthopédistes-CJO) and universal goniometric measurement, foot plantar pressure and postural stability Sensor Medica® system. The evaluations made before and after the insoles were recorded instantly. Normal distribution was done with the Shapiro Wilk test and it was determined that all data did not show normal distribution. Wilcoxon Signed Ranks Test, one of the non-parametric tests, was used to reveal the difference between the two dependent variables. The statistical analysis of the study was performed using SPSS 21.00 at the significance limit of 0.05.

Results: It was observed that the plantar pressure forces (forefoot loading, total loading, forefoot contact surface, total contact surface) on the intact extremity of the individuals increased and the maximum pressure decreased ($p < 0.05$). It was determined that the subtalar joint angle of the ankle decreased with the insoles, and there was a decrease in the length of postural sway and medio-lateral sway ($p < 0.05$).

Conclusion: It was found that the application of personalized insoles on the healthy extremity of amputees using transtibial prosthesis instantly reduces postural sway and improves the plantar pressure distribution of the foot. We think that the use of personalized insoles on the healthy side should be encouraged for amputees using prosthetics.

Keywords: Foot, Plantar pressure, Foot orthoses, Analysis, Postural balance, Amputee.

1: İstanbul Medipol University, Institute of Health Science, İstanbul, Türkiye

2: University of Health Sciences, Faculty of Health Sciences, Department of Physiotherapy and Rehabilitation, İstanbul, Türkiye

3: İstanbul Medipol University, Faculty of Health Sciences, Department of Orthosis and Prosthesis, İstanbul, Türkiye.

Corresponding Author: Seval Kutlutürk Yıkılmaz: seval.kutlurkyikilmaz@sbu.edu.tr

ORCID IDs (order of authors): 0000-0002-8076-9658;0000-0001-9120-7071;0000-0002-6381-5982

Received: March 22, 2022. Accepted: August 11, 2023.



Ampütasyon, fiziksel bozukluğa yol açarak günlük yaşam aktivitelerini etkileyen ve fonksiyonel sınırlılıklara neden olan bir dizi cerrahi yöntemdir. Amputasyon sonrası postür, denge bozukluğu, ambulasyon ve transfer yeteneğinde değişimler meydana gelmektedir.^{1,2,3}

Uzun süre protez kullanımı, sağlam alt ekstremitte kalça ve diz eklemlerinde osteoartrit ile osteoporoz, postüral değişiklikler ve ağrıya yol açtığı bildirilmektedir.⁴ Sağlam ekstremitte üzerindeki aşırı yüklenme ve komplikasyonların önlenmesi için yürüyüşün etkili ve simetrik olması gerekmektedir. Amputelerde düzensiz ve verimsiz yürüyüş, plantar basıncı artırarak sağlam ekstremitte yumuşak doku hasarına yol açabilmektedir.^{5,6} Kişiyeye özel tasarlanmış Etilen Vinil Asetat (EVA) malzemesinden üretilen tabanlıkların subtalar pronasyonu azaltarak alt ekstremitte kinetik ve kinematik analiz sonuçlarını normalleştirdiği yapılan kinezyolojik çalışmalarda gösterilmektedir.^{7,8,9} Tüm bu durumlara bağlı olarak, ayak ve ayak bileği ortezlerinden olan tabanlıkların amputasyonu olmayan bireylerde yumuşak doku hasarının önlenmesinde etkili olduğu düşünülmektedir.⁹

Rezaeian vd.'nin transfemoral amputelerde tabanlıkların ayakta durma dengesi ve yürüme biyomekaniği üzerine etkisini inceledikleri çalışmalarında, sağlam uzvun yürüme ile ayakta durma dengesinde baskın rolü olduğu ve tabanlıkların kullanımının sağlam ayakta tekrarlayan strese maruziyeti azaltabileceği ifade edilmiştir.¹⁰ Bildiğimiz kadarıyla literatürde transtibial ampute bireylerde sağlam alt ekstremitte tabanlıkların etkinliğini inceleyen çalışma bulunmamaktadır. Bu alanla ilgili literatürdeki boşluğu doldurmak amacıyla ampute bireylerde sağlıklı alt ekstremitte bütünlüğünü korumaya yönelik yapılan kişiyeye özel bilgisayar destekli tasarım / bilgisayar destekli üretim (CAD/CAM - Computer Aided Design-Computer Aided Manufacturing) yöntemiyle yapılan tabanlıkların, plantar basınç ve postüral stabilite üzerine etkisi ile ilgili olarak daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğu düşünülmektedir. Ülkemizdeki protez kullanan bireyler göz önüne alındığında, transtibial protez kullanan bireylerde sağlam alt ekstremitte tabanlıkların kullanımının yaygın olmadığı görülmektedir. Bu çalışmada,

transtibial protez kullanan bireylerde sağlam alt ekstremitte için kişiyeye özel tasarlanan CAD/CAM tabanlıkların uygulamasının postüral stabilite ve plantar basınç dağılımı üzerine anlık etkisini araştırmak amaçlandı. Hipotezimiz transtibial protez kullanan amputelerde sağlam tarafta CAD/CAM tabanlıkların uygulamasının anlık olarak postüral salınımı azaltacağı ve sağlam ayağın plantar basınç dağılımını düzenleyerek maksimum basınca maruz kalan ayak bölümlerindeki plantar basıncı azaltacağı yönündedir.

YÖNTEM

Çalışma, Ocak-Şubat 2021 tarihleri arasında Aktif Ortez Protez Yapım ve Uygulama Merkezi'nde takip edilen unilateral transtibial ampute bireyler üzerinde gerçekleştirildi. İstanbul Medipol Üniversitesi Girişimsel Olmayan Etik Kurul tarafından 10.03.2020 tarihli 10840098-604.01.01-E.12130 dosya numarası ve 225 numaralı karar ile etik açıdan uygun bulundu. Gönüllülük esasına dayalı olarak yapılan bu çalışmaya katılmayı kabul eden tüm bireylere, çalışma hakkında sözlü ve yazılı bilgilendirme yapıldı. Katılımcılardan imzalı aydınlatılmış onam formu alındı.

Çalışmanın dahil edilme kriterleri; katılımcıların 18-65 yaş aralığında olması, yardımcı bir cihaz kullanmadan ambulasyonun sağlanması, the Medicare Functional Classification Level System'e göre aktivite seviyesinin K3-K4 düzeyinde olması ve en az 1 yıl deneyimli protez kullanıcısı olmasıydı.¹¹ Çalışmamızın dışlanma kriterleri; kognitif fonksiyonları etkileyen herhangi bir hastalığın bulunması, yürüme sırasında yardımcı araç gereç kullanması, sağlam tarafta cerrahi operasyon geçirmiş olması, nörolojik açıdan kronik hastalık varlığı, görsel veya vestibüler sistemi ilgilendiren bozukluğa sahip olunmasıydı.

Transtibial protez kullanan 16 unilateral transtibial ampute birey çalışmaya dahil edildi. Tüm katılımcıların sağlam taraf alt ekstremitesine kişiyeye özel, CAD/CAM yöntemiyle tabanlıklar yapıldı. Bireylerin denge değerlendirme sonuçları ile tabanlıklar ve tabanlıksız olmak üzere ayak postürü, subtalar

eklem açısı, denge, plantar basınç ve postüral stabiliteledeki değişim incelendi.

Değerlendirme yöntemleri

Katılımcıların; yaş, boy, kilo, cinsiyet, beden kütle indeksi, amputasyon süresi, protez kullanım süresi, kullandığı protez sistemine ait bilgileri kaydedildi.

Ayak postürü değerlendirmesi

Redmond vd. tarafından 2001 yılında geliştirilen ve geçerlilik-güvenilirliği yapılan Ayak Postür İndeksi (APİ) ayak postürünün değerlendirilmesinde kullanıldı.¹² Ampute bireylerin sağlam ekstremitedeki ayak ve ayak bileğindeki deformasyonları APİ'nin 6 alt bölümüyle incelendi. Ayak postürü transvers, sagittal ve frontal olmak üzere her 3 düzlemde değerlendirildi. Bölümlerde puanlama olarak +2 ile -2 arasında puanlar verilerek, her bölümden aldığı puanlar toplandı. Toplam puan üzerinden elde edilen skorlar değerlendirildiğinde -12 ile -5 arası değerler ileri derece supinasyon, -4 ile -1 arası değerler supinasyon, 0 ile +5 arası değerler normal, +6 ile +9 puan arası pronasyon ve +10 ile +12 arası değerler ise ileri derece pronasyon olarak kabul edildi.¹³

Subtalar eklem açısı ölçümü

Subtalar ölçüm sırasında kalkaneusun longitudinal eksenini ile alt bacağın 1/3'lük vertikal orta hattı arasındaki açı CjOrtho Mobil uygulamasıyla tabanlı öncesi ve sonrasında ölçüldü.¹⁴ CjOrtho Mobil uygulamasıyla ölçüm yapılabilmesi için akıllı telefon tripodun üzerine yerleştirildi ve 30 cm mesafeden fotoğraf çekildi. Fotoğrafın değerlendirmesinde referans noktalar olarak belirlenen alt bacağın 1/3'lük vertikal orta hattı sabit kol, aşıl tendonu ortası pivot nokta ve kalkaneusun longitudinal eksenini hareketli kol olarak belirlendi. Referans noktaları arasında ölçülen negatif değerler "subtalar varus", pozitif değerler "subtalar valgus" olarak kaydedildi.^{14,15}

Denge değerlendirmesi

Çalışmamızda denge, yürüme kabiliyeti ve düşme riskinin değerlendirilmesinde Berg vd. tarafından geliştirilen, Şahin vd. tarafından Türkçe geçerlilik ve güvenilirliği yapılan Berg Denge Ölçeği (BDÖ) kullanıldı.^{16,17} Major vd.'nin yaptığı çalışmada bu ölçeğin ampute bireyler üzerinde güvenilirliği ve geçerliliği doğrulanmıştır.¹⁸ BDÖ, performansın direkt olarak gözlenmesine dayalı 14 maddeden oluşmaktadır. Her bir madde hastanın teste ait zaman ve mesafe şartlarını karşılama

yeteneğine göre 0-4 arasında puanlanır. Dört puan görevi bağımsız bir şekilde tamamlayabilme yeteneğini gösterir. En yüksek skor 56 olup 0-20 arası skorlar denge bozukluğunu, 21-40 arası skorlar denge kabul edilebilir olduğunu, 41-56 arası skorlar dengeyi iyi olduğunu göstermektedir.¹⁹

Postüral stabilite ve plantar basınç

Stabilometrik platform, hastanın bir bilgisayara bağlı, dik pozisyonda ayaklarını dinlendirmesi gereken, uzay ve zamandaki postüral salınımları kaydeden ve bunların tipik salınım frekansı ile tutarlılığının kontrol edildiği gelişmiş bir değerlendirme aracıdır. İnsan vücudunun denge ve plantar basıncını değerlendirmek için açık ve kapalı gözlerle yapılır. Stabilometrik analiz, bireyin dik duruş pozisyonunda ağırlık merkezinin normalden sapmasının değerlendirildiği bir yöntemdir. Cihaz üzerinde birey gözler açık ve gözler kapalı olarak iki farklı durumda değerlendirilir. Stabilometrik analiz sonucunda elips yüzey değerleri (mm²), salınım uzunlukları(mm), Delta X (M-L salınım değişimleri) (mm), Delta Y (A-P salınım değişimleri) değerleri elde edilir.^{20,21}

Statik plantar basınç analizi sonucunda, her iki ekstremitede ve destek yüzeyinde oluşan; ön ve arka ayaktaki plantar temas yüzeyi (cm²), ön ve arka ayaktaki toplam plantar temas yüzeyi (cm²), ön ve arka ayaktaki yüklenme (%), ön ve arka ayaktaki toplam yüklenme (%), arka ve ön ayaktaki ağırlık oranı (%), maksimum basınç (kg/cm²) ve ortalama basınç (kg/cm²) değerleri elde edilir.²² Postüral stabilite ve plantar basıncı değerlendirmek için alüminyum tabakadan oluşan, üzerinde 3.000 basınç sensörü bulunan, maksimum 150 N/cm² basınç ölçebilen, 2,5 dpi XY, 8 bit Z çözünürlükte, 1.000.000 devirlik sensör ömrüne sahip 60x50 cm boyutuna sahip olan Sensor Medica Maxi pedobarografik değerlendirme cihazı kullanıldı. Bireylerden önce gözleri açık olacak şekilde 5 saniye süren statik plantar basınç analizi, daha sonra postüral stabiliteye yönelik stabilometrik ölçüm için 52 saniye boyunca gözler açık ve kapalı olmak üzere tabanlı ve tabanlıksız ölçümler yapıldı.^{21,22}

Tabanlık üretimi

Çalışmamızda yapılan değerlendirmeler rehberliğinde kişiye özel tasarlanan CAD/CAM tabanlık uygulaması kullanıldı. Tabanlık üretimi sırasında öncelikle bireylerin tabanlık

üzerine sağlam taraf ayağını yerleştirmeleri istendi ve ölçümler yapıldı. Tabanlığın kalınlığı nedeni oluşabilecek kısıklık farkından dolayı, tabanlığın kalınlığı kadar EVA (Etilen Vinil Asetat) malzeme protezli tarafın altına yerleştirildi. Tabanlığın zemin üzerinde sabit kalabilmesi için çift taraflı bant tercih edildi. Bireylerin kişiye özel tabanlıklarında medial, lateral ve transvers ark desteği kullanıldı. Deformitenin durumuna göre kullanılan desteklerin yüksekliği ayarlandı. Pes planovalgus deformitesine sahip bireylerde medial ark desteği ve medial kama birlikte kullanıldı. Pes planus ve pes planovalgus deformitesine sahip bireylerde lateral ark desteği daha düşük uygulandı. Transvers ark desteği bütün bireylerde tercih edildi. Vulcan Computer Numerical Control (CNC) freze makinesi kullanılarak, blok halinde yerleştirilen EVA malzemesine şekil verme işlemi tamamlandı. Bireyin ayağına göre üretilen tabanlığın uyumu kontrol edildi. (Şekil 1) Esnek pes planuslu hastalarda CAD/CAM ve prefabrik ayak ortezlerinde plantar basınç dağılımının incelendiği çalışmalar mevcuttur.^{23,24}

İstatistiksel analiz

Çalışmaya dahil edilecek birey sayısını belirlemek üzere G Power programı 3.1.9.5 versiyonu kullanılarak örneklem büyüklüğü hesaplandı. Tip-1 hata oranı 0,05 ve güç oranı %95 olarak kabul edildi. Referans çalışmada²⁵ etki büyüklüğü 0,954 olarak bildirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre 0,05 anlamlılık düzeyinde ve 0,954 etki büyüklüğünde örneklem büyüklüğü 14 kişi olarak belirlendi (df=13; t=1,771). Uygulama esnasındaki veri kayıpları da dikkate alınarak 16 transtibial ampute bireyin katılımı ile çalışma yapıldı.

Çalışmamızın veri analizinde "Statistical Package for Social Sciences" (SPSS) Version 20.0 (SPSS inc. Chicago, IL, ABD) istatistik programı kullanıldı. Tüm analizlerde p<0,05 değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi. Yaş, boy, kilo, VKİ, cinsiyet gibi demografik verilerin değerlendirilmesinde ortalama, standart sapma, minimum, maksimum ve yüzdelik hesaplamaları yapıldı. Normal dağılım Shapiro Wilk testi ile sınıandı ve tüm verilerin normal dağılım göstermediği belirlendi. İki bağımlı değişken arasındaki farkı ortaya koymak için non-parametrik testlerden Wilcoxon Signed Ranks testi kullanıldı.

BULGULAR

Çalışmaya 18-65 yaş aralığında 16 (K:1, E:15) unilaterale transtibial amputasyonu olan bireyler üzerinde yapıldı. Çalışmaya dahil edilen ampute bireylerin demografik özellikleri Tablo 1'de gösterildi.

APİ total skor sınıflamasına göre bireylerin 5'i normal, 4'ü pronasyon ve 7'si ileri pronasyonda ayak postürüne sahipti. Bireylerin BDÖ toplam skor sonuçları ortama 53,31±1,85 (Min:49, Max:56) idi. Bireylerin Cjortho subtalar eklem açısı ölçüm sonuçlarına göre tabanlığın subtalar valgus açısını azalttığı görüldü (p<0,05) (Tablo 2).

Bireylerin sağlam taraf gözler açık stabilometrik ölçüm sonuçlarına göre tabanlık; salınım uzunluğu ve medio-lateral salınımdaki değişimi azalttı (p<0,05). Bireylerin sağlam taraf gözler kapalı stabilometrik ölçüm sonuçlarına göre tabanlık; salınım uzunluğu değişimini azalttı (p<0,05) (Tablo 2).

Bireylerin gözler açık sağlam taraf plantar basınç ölçüm sonuçlarına göre tabanlık; ön ayak yüklenme, toplam yüklenme, ön ayak temas yüzeyi, toplam temas yüzeyinde arttırırken maksimum basınç değerini azalttı (p<0,05) (Tablo 3).

TARTIŞMA

Çalışma, unilaterale transtibial amputelerde sağlam ekstremitede tabanlık kullanımının ayak-ayak bileği biyomekaniği ve postürsal salınımı anlamlı olarak değiştirdiğini gösterdi. Tek taraflı transtibial amputelerde uzun süreli protez kullanımına bağlı olarak sağlam ekstremitede aşırı yüklenme ve postürsal salınımdaki bozulma nedeni oluşabilecek komplikasyonların önlenmesinde, kişiye özel tabanlığın ayak arklarını destekleyerek plantar basınç dağılımının düzenlenmesinde faydalı olabileceği düşünüldü. Bahsedilen bu ölçümler sonrasında sağlam tarafta kişiye özel tabanlık uygulamasının, tek taraflı transtibial protez kullanan bireylerin ayak deformiteleri üzerindeki etkisi incelenerek sonuçlar literatüre kazandırıldı.

İdeal ayak postürü, ayakta dik duruş pozisyonunda iken ayağın aşırı supinasyon veya pronasyonda olmadığı nötral pozisyonudur.²⁶ Çalışmaya katılan bireylerin çoğunluğunda

Tablo 1. Transtibial protez kullanan amputelerin demografik özellikleri.

	X±SD
Yaş (yıl)	40,00±13,57
Boy (cm)	171,43±7,58
Vücut ağırlığı (kg)	76,18±16,02
Beden kütle indeksi (kg/m ²)	25,29±3,72
Amputasyon süresi (yıl)	13,43±12,45
Protez kullanım süresi (yıl)	12,43±12,18
	n (%)
Amputasyon nedenleri	
Travma	11 (68,8)
Diyabet	3 (18,8)
Periferik vasküler hastalık	2 (12,5)
Kullanılan protez süspansiyon sistemi	15 (93,8)
Aktif vakum sistemi	1 (6,2)
Pasif vakum sistemi	

sağlam taraf ayak-ayak bileğinde pronasyon görülmesi, yapılan CAD-CAM tabanlık sonrasında gonyometrik ölçümlere göre kalkaneovalgus açısının azalması kişiye özel medial longitudinal ark destekli CAD-CAM tabanlık kullanımının pronasyonu önlemek amacıyla gerekliliğini öne çıkarmıştır. Braga vd.'nin aşırı ayak pronasyonu olan koşucularda medial ark destekli tabanlıkların ayak biyomekaniğine etkisini inceledikleri çalışmalarında, tabanlığın subtalar ekleme eversiyon yönündeki açışmayı ve pronasyonu azalttığı bulundu.²⁷ Rodrigues vd.'nin anterior diz ağrısı olan ve olmayan bireylerde medial ark destekli tabanlığın ayak pronasyonuna etkisini araştırdıkları çalışmalarında ise ayak bileği pronasyon açısında azalma tespit edildi.²⁸ Bildiğimiz kadarıyla literatürde daha önce transtibial amputelerde kişiye özel ark destekli CAD-CAM tabanlığın etkinliğini inceleyen bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada, transtibial protez kullanan bireylerin sağlam ekstremitesinde tabanlık kullanımının subtalar eklemin pronasyon derecesini azalttığı bulundu.

Bateni vd.'nin alt ekstremitte amputeleri, geriatric ve sağlıklı bireylerin postüral stabiliteilerini karşılaştırdığı çalışmalarında ampute bireylerin sağlıklı ve geriatric bireylere göre gözler kapalı pozisyonda postüral salınım uzunluğunun ve medio-lateral stabilitesinin daha az olduğu bildirildi.²⁹ Tek taraflı transtibial amputelerin farklı zeminlerde protez ayak tiplerinin postüral stabilite üzerine

etkisinin değerlendirildiği başka bir çalışmada ise gözler kapalı durumda postüral salınım artışı gözlemlenirken, farklı protez ayak kullanımı ile en fazla değişimin anterior posterior yönde meydana geldiği tespit edildi. Ayrıca farklı protez ayak tiplerinde ve farklı duysal durumlarda değişikliğin en çok medio-lateral yönde olduğu bildirildi.³⁰ Tabanlık ve kalın çorapların postüral stabiliteye etkisinin incelendiği başka bir çalışmada ise tabanlığın duysal girdiyi arttırarak postüral stabiliteyi olumlu yönde etkilediği bulundu. Ek olarak kalın çorap giyen bireylerin postüral salınımının daha fazla bozulduğu, tabanlıkla desteklendikten sonra postüral salınımın tekrar iyileştiği bildirildi.³¹ Medial longitudinal ark yüksekliğinin ve medial longitudinal ark destekli tabanlıkların postüral denge üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, medial ark düşüklüğü olan grubun; medio-lateral, anterior-posterior ve total salınım skorlarında olumlu yönde değişiklik olduğu belirtildi.³² Park vd.'nin yaşlı bireylerde tabanlığın etkinliğini inceledikleri çalışmada ise tabanlığın orta düzeyde statik dengeyi ve yürümeyi iyileştirdiği tespit edildi.³³ Çalışmada tabanlık ile amputelerin medio-lateral postüral salınım uzunluğu azalarak olumlu yönde etkilenirken; anterior-posterior yönde bir değişiklik olmadığı görüldü. Gözler kapalı olarak gerçekleştirilen ölçümde ise sadece salınım uzunluğunda fark bulundu. Protez kullanan bireylerin daha iyi bir postüral stabilite için görsel girdinin önemli olduğu, tabanlığın tek taraflı protez kullanan bireylerin sağlam ekstremitesinde ayağın plantar destek yüzeyini arttırdığı ve postüral stabiliteyi iyileştirmede önemli bir faktör olduğunu düşünüldü.

Literatürde, yürüme asimetrisinin unilateral alt ekstremitte amputelerinde önemli bir endişe kaynağı olduğu bildirilmektedir. Sağlam ekstremitte üzerinde oluşabilecek aşırı yüklenmeyi ve komplikasyonları önlemek için yürüyüşün etkili ve simetrik olması gerekmektedir.^{5,6} Borg vd. tarafından yapılan çalışmada, diyabete bağlı transtibial amputelerin sağlam tarafa göre kontralateral ekstremitelerinde ön ayakta yüklenmenin arttığı tespit edildi.²⁷ Luengas vd.'nin tek taraflı transtibial amputasyonlu bireylerde plantar basınç dağılımını inceledikleri çalışmada ise her iki ekstremitte arasında basınç ölçümleri yönünden farklılıklar olduğu belirtildi.³⁴



Şekil 1. CAD/CAM tabanlığın üst, alt ve yandan görüntüsü.

Tablo 2. Cjortho açısı ve postüral stabilitenin tabanlı ve tabanlıksız değerlendirilmesi.

	Tabanlıksız	Tabanlı	p
	X±SD	X±SD	
Cjortho subtalar eklem açısı	7,00±3,16	2,12±1,89	<0,001
Gözler Açık			
Salınım Uzunluğu (mm)	617,06±202,15	523,75±143,51	0,015*
Elips Yüzeyi (mm ²)	193,21±48,86	152,88±161,46	0,215
Delta X	16,96±8,68	13,40±6,84	0,007*
Delta Y	14,42±8,61	12,58±7,14	0,256
Gözler Kapalı			
Salınım Uzunluğu (mm)	722,66±272,94	571,64±170,69	0,005*
Elips Yüzeyi (mm ²)	241,90±242,87	182,87±229,39	0,109
Delta X	17,14±9,65	14,60±8,21	0,134
Delta Y	17,29±11,11	13,6100 7,16	0,121

* p<0,05. Delta X: Medio-lateral ortalama. Delta Y: Anteroposterior ortalama.

Tablo 3. Plantar basıncın tabanlılık öncesi ve sonrası değerlendirilmesi.

	Tabanlıksız	Tabanlı	p
	X±SD	X±SD	
Ön Ayak Yüklenme (kg)	27,93±9,78	33,31±10,17	0,041*
Arka Ayak Yüklenme (kg)	40,12±11,6	39,56±7,63	0,551
Toplam Yüklenme (kg)	68,56±8,83	73,00±10,00	0,007*
Ön Ayak Temas Yüzeyi (cm ²)	74,12±27,08	92,25±30,20	0,009*
Arka Ayak Temas Yüzeyi (cm ²)	64,00± 15,92	66,43±18,48	0,339
Toplam Temas Yüzeyi (cm ²)	139,87±38,16	160,18±45,09	0,039*
Ön Ayak Ağırlık Oranı (%)	40,56±14,14	45,18±11,61	0,170
Arka Ayak Ağırlık Oranı (%)	60,00±13,70	54,81±11,61	0,078
Maksimum Basınç (gr/cm ²)	1025,31±300,13	846,18±229,53	0,007*
Ortalama Basınç (gr/cm ²)	409,62±117,02	368,00±96,63	0,066

* p<0,05.

Çalışmada da ampute tarafa göre sağlam taraf alt ekstremiteye daha fazla ağırlık aktardıkları bulundu. Khodei vd'nin esnek pes planusa sahip bireylerde CAD-CAM ve prefabrik tabanlık kullanımının plantar basınç üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında, orta ayak temas alanında artış olduğu gözlemlendi.²³ Sarroca vd.'nin tek taraflı transtibial amputasyonlu hastaların postüral stabilitesi üzerine taban malzemesi yoğunluğunun etkisini inceledikleri çalışma da sert tabanlıkların amputasyonlu kişilerde statik stabiliteyi iyileştirdiği sonucuna varıldı.³⁵ Çalışmada, tabanlık sonrası toplam yüzey alanında artış, maksimum basınçta azalma, ön ayak temas yüzeyinde artış olduğu belirlendi. Yapılan çalışmalarda tabanlık kullanımı ile ön ayak ve arka ayakta yüklenmenin azaldığı bulunsu da bu çalışmada ön ayak yüklenmesinde artış bulundu. Tabanlık sonrası toplam yüzey alanındaki artışın plantar basınç değerlendirmesinde tabanlığın basınç platformu yüzeyi ile kurduğu tam temastan kaynaklandığını düşünmekteyiz. Yapılan diğer çalışmalarda görüldüğü gibi maksimum plantar basınçtaki azalmanın sağlam ekstremitede oluşabilecek aşırı yüklenmeyi ve komplikasyonları önlemede kişiye özel tabanlık kullanımının etkili olabileceği görülmektedir.

Limitasyonlar

Çalışmanın limitasyonu maliyet ve zaman kısıtlılıkları nedenli tabanlığın etkinliği üzerine kinetik ve kinematik analizlerin yapılamaması ile protez kullanıcılarının protez kullanım sürelerinin değişken olmasıdır.

Sonuç

Çalışma, unilateral transtibial amputelerde sağlam ekstremitede tabanlığın ayak-ayak bileği biyomekaniği ve postüral salınımı anlık olarak değiştirdiğini gösterdi. Bireyselleştirilmiş CAD-CAM tabanlık kullanımıyla ayak postürünün, ön-arka yüklenme oranının ve birim yüzeye düşen plantar basınç dağılımının normalleşmesinde olumlu yönde anlık etki gösterdiği bulundu. Sağlam ayağın plantar basınç dağılımını düzenleyerek maksimum basınca maruz kalan ayak bölümlerindeki plantar basıncı azalttığı saptandı. CAD-CAM tabanlık uygulamasının propriosepsiyonu arttırmasıyla birlikte salınım uzunluğu ve mediolateral salınımı azaltarak postüral stabilite üzerinde anlık faydalı etkisi olduğu belirlendi. Sağlam tarafta kişiye özel

tabanlık kullanımının protez kullanan ampute bireyler için teşvik edilmesi gerektiğini düşünmekteyiz.

Teşekkür: Yazarlar, çalışmanın yürütülmesinde klinik destek sağlayan Aktif Protez Ortez Yapım ve Uygulama merkezine teşekkür ederler.

Yazarların Katkı Beyanı: **OA:** Fikir/kavram, tasarım, kaynak taraması, makalenin yazımı; **SKY:** eleştirel inceleme, makalenin yazımı; **EA:** eleştirel inceleme.

Finansal Destek: Yok

Çıkar Çatışması: Yok

Etik Onay: Bu araştırma protokolü İstanbul Medipol Üniversitesi Girişimsel Olmayan Etik Kurulu (sayı: 10840098-604.01.01-E.12130/225, tarih: 10.03.2020) tarafından onaylandı.

KAYNAKLAR

1. Yalçın Pernot HFM, Winnubst GMM, Cluitmans JMM, et al. Amputees in limburg: incidence, morbidity and mortality, prosthetics supply, care utilisation and functional level after one year. *Prosthet Orthot Int.* 2000;24:90-96.
2. Samitier C, Luis G, Maria G. The benefits of using a vacuum-assisted socket system to improve balance and gait in elderly transtibial amputees. *Prosthet Orthot Int.* 2016;40:83-88.
3. Hafner BJ, Smith DG. Differences in function and safety between medicare functional classification level 2 and 3 transfemoral amputees and influence of prosthetic knee. *J Rehabil Res Dev.* 2009;46:417-433.
4. Gailey R, Allen K, Castles J, et al. Review of secondary physical conditions associated with lower-limb amputation and long-term prosthesis use. *J Rehabil.* 2008;45:15-30.
5. Martin AE, Schmeideler JP. Gait differences when maximizing efficiency versus symmetry with a transtibial amputee model. *World congress of biomechanics.* Boston:MA;2014.
6. Eshraghi A, Osman NAA, Karimi M, et al. Gait biomechanics of individuals with transtibial amputation: effect of suspension system. *PLoS One.* 2014;9:1-12.
7. Murley GS, Landorf KB, Menz HB. Do foot orthoses change lower limb muscle activity in flat-arched feet towards a pattern observed in normalarched feet?. *Clin Biomech.* 2010;25:728-736.

8. Mündermann A, Nigg BM, Neil Humble R, et al. Foot orthotics affect lower extremity kinematics and kinetics during running. *Clin Biomech.* 2003;18:254-262.
9. Ahmad A, Jaafar R, Omar AR, et al. Preliminary investigations on the reduction of foot pressure measurement and muscle activity with different insole materials. *Adv Mat Res.* 2012;576:695-699.
10. Rezaeian T. The Effects of Insoles on Biomechanics of Standing Balance and Walking of Trans-Femoral Amputees. PhD thesis, University of Leeds, 2020.
11. Borrenpohl D, Brian K, Matthew JM. Survey of US practitioners on the validity of the Medicare Functional Classification Level system and utility of clinical outcome measures for aiding K-level assignment. *Arch Phys Med Rehabil.* 2016;97:1053-1063.
12. Redmond AC, Crosbie J, Ouvrier RA. Development and validation of a novel rating system for scoring standing foot posture. The foot posture index. *Clin Biomech.* 2006;21:89-98.
13. Redmond AC, Crane YZ, Menz HB. Normative values for the Foot Posture Index. *J Foot Ankle Res.* 2008;1:6.
14. Reina N, Cognault J, Ollivier M, et al. The Cjortho App: a mobile clinical and educational tool for orthopedics. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2018;104:523-527.
15. Smith OK, Harris BA. Interrater reliability of subtalar neutral, calcaneal inversion and eversion. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1990;12:10-15.
16. Razeghi M, Batt ME. Foot type classification: a critical review of current methods. *Gait Posture.* 2002;15:282-291.
17. Berg K, Wood-Dauphine S, Williams JI, et al. Measuring balance in the elderly: preliminary development of an instrument. *Physiother Can.* 1989;41:304-311.
18. Şahin F, Büyükavcı B, Sağ S, et al. Berg Denge Ölçeği'nin türkçe versiyonunun inmeli hastalarda geçerlilik ve güvenilirliği. *J Phys Med Rehabil.* 2013;16:170-175.
19. Major MJ, Fatone S, Roth EJ. Validity and reliability of the Berg Balance Scale for community-dwelling persons with lower-limb amputation. *Arch Phys Med Rehabil.* 2013;94:2194-2202.
20. Wong CK. Interrater reliability of the Berg Balance Scale when used by clinicians of various experience levels to assess people with lower limb amputations. *Phys Ther.* 2014;94:371-378.
21. Scoppa F, Capra R, Gallamini M, et al. Clinical stabilometry standardization: basic definitions acquisition interval sampling frequency. *Gait Posture.* 2013;37:290-292.
22. Sensormedica. <https://www.sensormedica.com/en/pages/hardware-en/cnc-milling-machines>, (Erişim Tarihi: 25 Aralık 2020).
23. Khodaei B, Saeedi H, Jalali M, et al. Comparison of plantar pressure distribution in CAD-CAM and prefabricated foot orthoses in patients with flexible flatfeet. *J Foot.* 2017;33:76-80.
24. Jiang Y, Wang D, Ying J, et al. Design and preliminary validation of individual customized insole for adults with flexible flatfeet based on the plantar pressure redistribution. *Sensors.* 2021;21:1780.
25. Borg J, Mizzi S, Formosa C. Peak pressure data and pressure-time integral in the contralateral limb in patients with diabetes and a trans-tibial prosthesis. *Gait Posture.* 2018;64:55-58.
26. Jael B, Mizzi S, Formosa C. Peak pressure data and pressure-time integral in the contralateral limb in patients with diabetes and a trans-tibial prosthesis. *Gait Posture.* 2018;64:55-58.
27. Reilly K, Barker K, Shamley D, et al. The role of foot and ankle assessment of patients with lower limb osteoarthritis. *Physiotherapy.* 2009;95:164-169.
28. Braga UM, Mendonça LD, Mascaranhas RO, et al. Effects of medially wedged insoles on the biomechanics of the lower limbs of runners with excessive foot pronation and foot varus alignment. *Gait Posture.* 2019;74:242-249.
29. Rodrigues P, Chang R, TenBroek T, et al. Medially posted insoles consistently influence foot pronation in runners with and without anterior knee pain. *Gait Posture.* 2013;37:526-531.
30. Bateni H. Postural sway in lower extremity amputees and older adults may suggest increased fall risk in amputees. *CPOJ.* 2020;3.
31. Mohieldin A, Chidambaram A, Sabapathivinaayagam R, et al. Quantitative assessment of postural stability and balance between persons with lower limb amputation and normal subjects by using dynamic posturography. *Macedonian Journal of Medical Sciences.* 2010;2:138-143.
32. Ma CZH, Wong DWC, Wan AHP. Effects of orthopedic insoles on static balance of older adults wearing thick socks. *Prosthet Orthot Int.* 2018;42:357-362.
33. Karataş L, Vuralı D, Günendi Z. The effect of medial longitudinal arch height and medial longitudinal arch support insoles on postural balance in perimenopausal women. *Turk J Med Sci.* 2019;49:755-760.

34. Park JH, Jeon HS, Kim JH, et al. Immediate effect of insoles on balance in older adults. *Foot (Edinb)*. 2021;47:101768.
35. Luengas LA, Gutierrez MA. Plantar pressure in transtibial amputees. *International Journal of Biology and Biomedicine*. 2019;4:21-25.
36. Sarroca N, Luesma MJ, Valero J, et al. Influence of insole material density in the stability of patients with prosthetic unilateral transtibial amputation. *Sci Rep*. 2022;12(1):7854.