

HİTİT SAĞLIK DERGİSİ

HITIT HEALTH JOURNAL

e-ISSN: 3023-7297 Sayı|Issue: 3 - Eylül|September 2024

Alt Ekstremitte Amputelerinde Enerji Tüketimi: Derleme Makale

Energy Consumption in Lower Extremity Amputees: Review Article*

Cem SAMUT¹  | Ebru Çalık KÜTÜKÇÜ²  | Semra TOPUZ³ 

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi Havza Meslek Yüksekokulu, Fizyoterapi Programı, Samsun, Türkiye.

²Hacettepe Üniversitesi Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Fakültesi, Kalp ve Solunum Fizyoterapisti ABD, Ankara, Türkiye.

³Hacettepe Üniversitesi Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Fakültesi, Kas İskelet Fizyoterapisti ve Rehabilitasyon Ana Bilim Dalı, Ankara, Türkiye.

Sorumlu Yazar | Correspondence Author

Cem SAMUT

cem.samut@omu.edu.tr

Address for Correspondence: Ondokuz Mayıs Üniversitesi Havza Meslek Yüksekokulu, Fizyoterapi Programı, Samsun, Türkiye.

ROR ID¹: <https://ror.org/028k5qw24> **ROR ID²:** <https://ror.org/04kwvgz42> **ROR ID³:** <https://ror.org/04kwvgz42>

Makale Bilgisi | Article Information

Makale Türü | Article Type: Derleme | Review

Doi: doi.org/10.69563/hititsaglikderg.1433564

Geliş Tarihi | Received: 07.02.2024

Kabul Tarihi | Accepted: 31.05.2024

Yayın Tarihi | Published: 30.09.2024

Atıf | Cite As

Samut, C., et al. (2024). Alt Ekstremitte Amputelerinde Enerji Tüketimi: Derleme Makale. Hitit Sağlık Dergisi, 3, 21-29. <https://doi.org/10.69563/hititsaglikderg.1433564>

Hakem Değerlendirmesi: İki Dış Hakem / Çift Taraflı Körleme.

Etik Beyanı: Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan olunur.

İntihal Kontrolleri: Yapıldı - Turnitin

Çıkar Çatışması: Yazarlar çalışma ile ilgili çıkar çatışması beyan etmemiştir.

Şikayetler: hmj@hitit.edu.tr

Katkı Beyanı: Fikir/Kavram: S.T., C, S. Tasarım: S.T., C,S. Denetleme/ Danışmanlık: S.T., E,Ç,K. Veri Toplama ve/veya İşleme: C,S. Analiz ve/veya Yorum: S.T., E,Ç,K. Kaynak Taraması: C,S. Makalenin Yazımı: C,S., S.T., E,Ç,K. Eleştirel İnceleme: S.T., E,Ç,K.

Finansal Destek: Finansal destek alınmamıştır.

Telif Hakkı & Lisans: Dergi ile yayın yapan yazarlar, CC BY-NC 4.0 kapsamında lisanslanan çalışmalarının telif hakkını elinde tutar.

Peer Review: Double anonymized - Two External.

Ethical Statement: It is declared that scientific and ethical principles have been followed while carrying out and writing this study and that all the sources used have been properly cited.

Plagiarism Check: Yes - Turnitin

Conflict of Interest: The author(s) has no conflict of interest to declare.

Complaints: hmj@hitit.edu.tr

Authorship Contribution: Concept/Idea: S.T., C.S. Design: S.T., C.S. Supervision/Consultation: S.T., E.Ç.K. Data Collection / Data Processing: C.S. Analysis/Interpretation: S.T., E.Ç.K. Literature Review: C.S. Manuscript Writing: C.S., S.T., E.Ç.K. Critical Review: S.T., E.Ç.K.

Informed Consent: Not applicable.

Financial Disclosure: There are no financial funds for this article.

Copyright & License: Authors publishing with the journal retain the copyright of their work licensed under CC BY-NC 4.0.

Alt Ekstremitte Amputelerinde Enerji Tüketimi: Derleme Makale

Öz

Amaç: Bu derlemenin amacı; alt ekstremitte amputasyonu olan bireylerin enerji tüketimini araştıran çalışmalarını özetlemek ve sonuçlarını bildirmektir.

Yöntem: Çalışmamızın amacına uygun olarak seçilmiş olan “Diz altı amputasyon, enerji tüketimi ve ampute” anahtar kelimeleri kullanarak enerji tüketiminin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerin, enerji tüketimine etki eden faktörlerin, sağlıklı ve alt ekstremitte amputasyonu olan bireylerin enerji tüketimi açısından farklılıkların ortaya konulması açısından alt ekstremitte amputelerinde enerji tüketimi ile ilgili yapılmış 20 bilimsel çalışma incelendi.

Bulgular: Amputasyon sonrası protezlerin kullanılması vücutta, mevcut amputasyonun seviyesine bağlı olarak bir takım biyomekaniksel değişiklikler gösterebilmekte ve bunun sonucunda hem sağlıklı hem de ampute tarafta değişen oranlarda adaptasyon mekanizmaları geliştirmektedir. Temel amacı kaybedilmiş olan eklem, kas ve sensorimotor girdileri kompanse etmek olan bu adaptasyonlar, özellikle alt ekstremitte gerçekleştirilen amputasyonları takiben gerçekleşmekte ve uzun vadede bütün kinetik zinciri etkileyen sekonder patolojilerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Alt ekstremitesinde amputasyonu olan bireyler yürüyüş sırasında biyomekanik değişiklikler ve fiziksel uygunluktaki yetersizlikler ile dinamik dengede meydana gelen azalmaya bağlı olarak gelişen fonksiyonel anlamdaki yetersizliklerini kompanse edebilmek amacıyla aşırı enerji harcamaktadırlar.

Sonuç: Değişen fiziksel parametreler ağırlık merkezini, yürüebilme yeteneğini ve yürüyüşün doğal kinematığını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu değişiklikler bireylerin fiziksel kapasitesine, günlük yaşam aktivitelerine katılımına, hangi tip protez veya yardımcı cihaz kullandıklarına ve hangi hızda yürüdüklerine bağlı olarak değişen oranlarda enerji tüketiminde artışa neden olabilmektedir. Enerji tüketimi açısından protez kullanan bireyler sağlıklı bireylerle karşılaştırıldığında, protez kullanan bireylerin daha düşük hızda yürürken daha yüksek enerji harcadıkları tespit edilmiştir. Amputasyonlu kişilerin kendi seçtikleri yürüyüş hızlarındaki azalmanın, artmış metabolik harcamaların önüne geçmek için geliştirdikleri bir kompensasyon yöntemi olduğu belirtilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Diz altı amputasyon, Enerji tüketimi, Ampute.

Energy Consumption in Lower Extremity Amputees: Review Article

Purpose: The aim of this review is to summarise and report the results of studies investigating the energy consumption of individuals with lower limb amputation.

Methods: Using the keywords selected in accordance with the purpose of our study, scientific studies on energy consumption in lower extremity amputees were identified and analysed in order to reveal the methods used in the evaluation of energy consumption, the factors affecting energy consumption, and the differences between healthy individuals and individuals with lower extremity amputation in terms of energy consumption.

Results: The use of prostheses after amputation may show some biomechanical changes in the body depending on the level of the existing amputation and as a result, adaptation mechanisms develop at varying rates on both healthy and amputee sides. These adaptations, whose main purpose is to compensate for the lost joint, muscle and sensorimotor inputs, occur especially following lower limb amputations and cause secondary pathologies that affect the entire kinetic chain in the long term. Individuals with lower limb amputation expend excessive energy during walking in order to compensate for biomechanical changes and functional inadequacies due to inadequacies in physical fitness and decreased dynamic balance.

Conclusions: Changing physical parameters negatively affect the centre of gravity, the ability to walk and the natural kinematics of gait. These changes may cause an increase in energy consumption at varying rates depending on the physical capacity of the individuals, their participation in activities of daily living, the type of prosthesis or assistive device they use and the speed at which they walk. When individuals using prostheses were compared with healthy individuals in terms of energy consumption, it was found that individuals using prostheses spent more energy while walking at a lower speed. It has been stated that the decrease in self-selected walking speeds of people with amputation is a compensation method developed to prevent increased metabolic expenditure.

Keywords: Adolescent, adolescent health, risky health behaviors, nursing.

Giriş

Amputasyon, kas ve iskelet sisteminin biyomekanik durumunu büyük ölçüde bozarak ciddi fiziksel ve psikolojik kayıplara yol açan major bir travmadır (Gailey ve Clark, 1992). Günümüzde tıbbi tedavilerin gelişmesi ve ulaşım olanaklarının kolaylaşması; hastalıkların ve yaralanmaların ardından hayatta kalma şansını yükseltirken, ampute sayısının da artmasına yol açmaktadır (Butler vd., 2014).

Amputasyonun ardından yardımcı cihaz ve protez kullanımı ile birlikte amputasyon seviyesine bağlı olarak vücutta biyomekaniksel değişiklikler gözlenmekte ve bunun neticesinde hem sağlıklı hem ampute tarafta bazı adaptasyon mekanizmaları geliştirmektedir (Gailey vd., 2008). Esas amacı kaybedilen eklem, kas ve sensorimotor girdileri kompanse etmek olan bu adaptasyonların, özellikle alt ekstremitte amputasyonlarından sonra gerçekleştiği ve bütün kinetik zinciri etkileyerek uzun dönemde sekonder patolojilerin ortaya çıkmasına sebep olduğu bildirilmiştir (Silverman vd., 2008).

Alt ekstremitte amputasyonu olan bireyler protez ve yardımcı cihazlar ile yürüyüş sırasında biyomekanik ve fiziksel uygunluktaki yetersizlikler ve ayrıca dinamik dengenin azalmasına bağlı olarak bütün fonksiyonel yetersizliklerini kompanse edebilmek amacıyla aşırı enerji harcamakta ve kısa sürede yorgunluk geliştiğinden yakınmaktadır (Panesar vd., 2001). Bu nedenle, bu derleme literatürdeki alt ekstremitte amputelerinde enerji tüketimi ve değerlendirme yöntemlerini özetlemek ve sonuçlarını bildirmek amacıyla yapılmıştır.

Amputasyon Tanımı

Kesme yoluyla çıkarma anlamına gelmekte olan ve latince'de "amputare" ifadesinden türeyen ve bütün tedavi yöntemlerinin en eskilerinden olan amputasyon; başka herhangi bir şekilde tedavisi yapılamayacak düzeyde hasar almış kemik doku ve uzuvları diğer anatomik yapılarla beraber vücuttan ayıran bir operasyon olarak tanımlanmaktadır (Sellegren, 1982).

Amputasyon Nedenleri

Amerika Birleşik Devletleri'nde alt ekstremitte amputasyonların insidansı 100,000'de 2.80 - 43.90 arasında değişmektedir (Ziegler-Graham vd., 2008) ve etiyojilerine bakıldığında % 80 vasküler patolojiler, % 16 travma, % 0.90 kanser ve % 0.80 konjenital anomaliler olarak görülmektedir (Şimşek vd., 2010). Travmatik, tümör ve doğumsal anomali nedeni ile gerçekleşen amputasyonların çoğunluğunun 30 yaşın altındaki bireylerde görüldüğü belirtilmiştir (Sümer vd., 2008).

Literatürde alt ekstremitte amputasyonlarının yaygın nedeni periferik vasküler hastalıklar olmasına karşın ülkemizde ilk sırayı trafik kazaları oluşturmaktadır (Şimşek vd., 2010; Sümer vd., 2008).

Amputasyon Seviyeleri

Amputasyon seviyesi aşağıdaki açıklanan üç ana duruma göre belirlenmektedir. Bunlar:

1. İnsizyon bölgesinin iyileşebilme durumu (Vasküler dolaşımın yeterliliğine bağlı),
2. Canlılığını kaybetmiş dokuların alınması,
3. Hastayı, en iyi fonksiyonel seviyeye çıkarabilecek, uzun süreli fonksiyonel bir güdüğün sağlanmasıdır (Lagana ve Weiner, 2000).

Bu faktörlerin dışında kalan amputasyonun seviyesini etkileyecek diğer faktörler anatomik, prostetik, patolojik ve kişisel faktörler olarak sıralanabilir (Algun, 1998).

Amputasyon seviyeleri, genellikle ampute olmuş eklem ve kemiğe göre isimlendirilmektedir. Eklem seviyesinden gerçekleştirilen amputasyonlar "dezartikülasyon" olarak ifade edilir (Sümer vd., 2008).

Alt ekstremitte amputasyon seviyeleri aşağıdaki şekilde adlandırılmaktadır (Sümer vd., 2008):

- a. Parmak amputasyonu
- b. Ray rezeksiyonu (metatarsla birlikte parmağın alınması)
- c. Transmetatarsal amputasyon
- d. Syme amputasyonu (ayak bileği dezartikülasyonu)
- e. Transtibial (diz altı) amputasyon (orta ve alt üçte birlik bölümün kesiştiği seviye)

- f. Diz dezartikülasyonu
- g. Transfemoral (diz üstü) amputasyon (diz eklemine 8 cm veya daha fazla yukarıdan)
- h. Kalça dezartikülasyonu (büyük trokanter seviyesi ve üzerinde yapılan kısa transfemoral amputasyon fonksiyonel olarak kalça dezartikülasyonudur)
- ı. Hemipelvektomi

Literatürde, alt ekstremitte amputasyonlarında en fazla transtibial ve transfemoral amputasyonların varlığı göze çarpmaktadır (Isakov vd., 1996; Yavuzer, 2014). Ayrıca diz altı amputasyonlar, diz üstü olanlara göre iki kat fazla yapılmaktadır (Ülger vd., 2009).

Amputelerde Enerji Tüketimini Etkileyen Faktörler

Amputasyon sonrasında ekstremitte kayıpla birlikte vücut ağırlık merkezi hem yukarı hem arkaya hem de sağlam ekstremitte tarafına doğru yer değiştirmektedir. Ağırlık merkezindeki değişimlerin derecesi, ampute edilmiş olan ekstremitenin büyüklüğüne bağlıdır (Luserdi ve Owens, 2000). Ekstremitenin ampute edilmesi ve ağırlık merkezinin yer değiştirmesi ile eklem kapsülü, ligament, tendon, kas ve derideki propriyoseptif girdilerin azalması sonucunda denge bozulmakta, postural salınımlar ve enerji harcaması artmaktadır (Isakov vd., 1996; Seth ve Lamberg, 2017). Amputelerdeki enerji harcamaları sağlıklı kişilere oranla daha fazladır. Amputasyon seviyesi, güdüğün uzunluğu, güdük kaslarındaki kuvvet, ampute bireyin kişisel becerisi, protezi kullandığı süre, koltuk değneği kullanıp kullanmaması hem fonksiyonel kapasiteyi hem de enerji harcamasını etkilemektedir (Algun, 1998).

Amputasyon cerrahisinin ardından, uzuv eksikliğine nedeniyle günlük yaşam aktivitelerinde kısıtlılık, dengede problemler ve enerji tüketiminde artış gibi bazı olumsuz durumlar ortaya çıkmaktadır (Yavuzer, 2014). Standart yürüme döngüsü bozulduğunda, gövdede ve bacaklarda kompensatuvar hareketler meydana gelmektedir (De Frang vd., 1991). Asimetrik yürüyüşün ortaya çıkmasıyla metabolik enerji tüketiminde artış söz konusu olmaktadır. Yürüyüş paternindeki değişim enerji harcamasının artmasına neden olurken, denge kontrolünü sağlamada oluşan problemler düşme riskini artırmaktadır. Düşme riskindeki artma, amputenin fonksiyonel hareketliliğini azaltarak yaşam kalitesini düşürmektedir (Ülger vd., 2009; Swanberg vd., 2011).

Tek taraflı diz altı amputelerde yer değiştirme sırasında enerji tüketimi % 10 ila % 40 oranında artarken, diz üstü amputelerde bu oran % 50 ila % 70 arasında değişmektedir (Mutlu vd., 2017). Bu fark diz altı amputasyonlarına oranla diz üstü amputasyonlarında rehabilitasyondaki başarı oranının neden daha düşük olduğunu açıklayabilmektedir.

Enerji Tüketimi Ölçüm Yöntemleri

Enerji tüketimini ölçmede kullanılan yöntemler aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir.

- Direkt Kalorimetre Yöntemi,
- İndirekt Kalorimetre Yöntemi,
- Nabız Ölçüm Yöntemi,
- Fizyolojik Tüketim İndeksi.

Direkt Kalorimetre Yöntemi

Direkt kalorimetre yöntemi, te

rml olarak izolasyonu yapılmış kapalı bir ortamda kişinin vücudunda meydana gelen ısının direkt ölçülmesidir. Duyarlılığı yüksek olmasına rağmen uygulaması zor bir yöntemdir (Rose vd., 1991).

İndirekt Kalorimetre Yöntemi

Harcanan enerji miktarını saptamak için kullanılan en geçerli yöntem; bireyin tükettiği oksijen miktarını belirlemektir. Tüketilen oksijen ile beraber üretilen karbondioksit miktarının da hesaplanması, hareketin hangi tür enerji metabolizması (aerobik-anaerobik) ile gerçekleştirildiğini belirlemede etken olmaktadır (Hagberg vd., 2007). İndirekt kalorimetre yöntemi basit bir yöntemdir. Koşu bandında yürümekte olan kişinin ekspiriyum havası Douglas torbasında biriktirilmektedir (Balaban, 2016). Toplanan gazlar analizör yardımıyla sıcaklık, basınç ve nem düzeltilmesi uygulandıktan sonra oksijen tüketim miktarı hakkında doğru tespitler yapılabilmektedir (Hagberg vd., 2007).

Nabız Ölçüm Yöntemi

Kalp atım hızı ile tüketilen oksijen miktarı açısından yakın bir ilişkinin olduğu, buna bağlı olarak enerji tüketiminin tespitinde kalp hızının (KH) belirleyici bir yöntem olarak kullanılabilir (Strath vd., 2000). Kalp atım hızını izlemede kullanılan sistemlerin tümü, indirekt kalorimetre ölçüm yöntemini kullanarak kişiye özel kalp atım hızı ile alınan/tüketilen oksijen arasında bir ilişkilendirme yapılmasını gerektirir (Brychta vd., 2010).

Fizyolojik Tüketim İndeksi

Geleneksel olarak enerji tüketimi; inspirasyon ile elde edilen havadan kullanılan oksijen miktarının tayini ile hesaplanabilmektedir. Ancak, özel düzenekler gerektirmesi sebebiyle, klinik ortamda bu hesaplamalar çok kolay olmamaktadır. Aşağıda gösterilen KH ve yürüme hızı yardımıyla hesaplanan Fizyolojik Tüketim İndeksi (Physiological Cost Index-PCI) formülü klinisyenlere büyük kolaylıklar sağlamaktadır (King ve Chris, 2007).

$PCI = (\text{Yürüme sırasındaki KH} - \text{dinlenme KH}) / \text{Yürüme hızı (m/dk)}$

Amputelerde Enerji Tüketimi İle İlgili Kanıtlar

Wezenberg ve arkadaşları, amputelerde kendilerinin seçtiği yürüyüş hızlarında yürümeleriyle ortaya çıkan metabolik harcamasının sağlıklı bireylerle benzer olduğunu, buna karşın amputelerin kendi belirledikleri yürüme hızlarının sağlıklı olan bireylere kıyasla daha yavaş olduğunu indirekt kalorimetre yöntemi kullanarak rapor etmişlerdir. Yine aynı yöntemle amputelerin kendi seçtiği yürüyüş hızlarından daha hızlı yürüdüklerinde ise sağlıklı bireylerle karşılaştırıldığında daha fazla bir metabolik harcamayı gerçekleştirdikleri bildirilmiştir (Wezenberg vd., 2013).

Sağlıklı ve transfemoral amputasyonu olan katılımcıların değerlendirildiği bir çalışmada; gruplar arasında oksijen tüketimi ortalamalarında anlamlı bir fark var iken, sağlıklı ve transtibial amputasyonu olan katılımcıların oksijen tüketimi düzeylerinin ortalamaları arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Bunun nedeni olarak en yüksek yürüme hızında ölçüm yapılması olarak bildirilmiştir (Genin vd., 2008). Miller ve Russell Esposito, sağlıklı kontrol grubu ile travmatik transtibial amputasyonu olan bireylerde 100 m/dk'ya kadar yürüme hızlarında oksijen tüketimi düzeyini ölçmüşlerdir (Miller ve Russell Esposito, 2021). Sağlıklı bireyler ile transtibial amputasyonu olan bireyler karşılaştırıldığında en yüksek yürüme hızında bile oksijen tüketimi düzeyinde farklılığın olmadığı bildirilmiştir (Duygu ve vd., 2021; Miller ve Russell Esposito, 2021).

Garcia ve arkadaşları, travmatik alt ekstremitte amputelerinde yürüyüş sırasında alt ekstremitte protezi kullanımının enerji tüketimine etkisini araştırdıkları çalışmada 10 transfemoral, 10 transtibial ampute ile 10 sağlıklı bireyi nabız ölçüm ve indirekt kalorimetre yöntemi kullanarak karşılaştırmıştır. Bireyleri kendi seçtikleri yürüme hızı, % 20 yürüme hızının altında ve % 20 yürüme hızının üstünde bir hız olmak üzere üç farklı hızda koşu bandında yürüttükleri zaman; amputelerin daha düşük başlangıç yürüme hızı seçtiklerini ve sağlıklı olanlara göre daha yüksek enerji tüketimlerinin olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca transfemoral amputelerin, transtibial amputelere göre daha yüksek oksijen tüketimi değerlerinin olduğunu tespit etmişlerdir (Garcia vd., 2015). Starholm ve arkadaşları, tüketilen oksijen miktarına bağlı olarak transfemoral amputelerle sağlıklı bireyleri karşılaştırmış ve yürüme yüzeyinden bağımsız olarak transfemoral amputelerin enerji harcamasını kontrol grubuna göre daha yüksek ayrıca kontrol grubu için koşu bandı ve düz zeminde yürüme arasında enerji harcamasında minimum farkların ancak transfemoral amputeler için büyük farkların olduğunu bildirmişlerdir (Starholm vd., 2016). Yürüyüş ve duruş asimetrisinin değerlendirildiği bir çalışmada; transtibial amputasyonu olan yedi bireyin, kontrol grubundaki yedi sağlıklı bireye kıyasla önemli ölçüde daha yüksek duruş süresi asimetrisi ile yürüdükleri belirtilmiştir. Nabız ölçüm ve indirekt kalorimetre yöntemlerinin kullanıldığı bu çalışmada tek taraflı transtibial amputasyonu olan kişilerin sağlam uzuvda protez uzuvdan daha fazla zaman geçirdikleri ve buna bağlı enerji tüketimlerinin de arttığı sonucuna varmışlardır (Van Schaik vd., 2019).

Göktepe ve arkadaşları, 1.50 km/sa ve 0° eğim, 3 km/sa ve 0° eğim, 1.50 km/sa ve 5° eğim, 3 km/sa ve 5° eğim ile yürümek kaydıyla 64 tek taraflı travmatik erkek amputeyi (transfemoral, transtibial ve kısmi ayak amputasyonları) oksijen tüketimi verileri açısından değerlendirmiş olup, bu dört kombinasyonun hepsinde de transtibial amputelerin enerji harcamasını en düşük ve transfemoral amputelerin enerji harcaması en yüksek bulmuşlardır. Ancak gruplar arasındaki farklar için istatistiksel anlamlılık elde edememişlerdir. Ayrıca kısmi ayak amputelerinde yürümedeki enerji tüketim seviyesinin, yüksek seviye amputelerin enerji tüketiminden daha düşük olmadığını rapor etmişlerdir (Göktepe vd., 2010). Mengelkoch ve arkadaşları, transfemoral amputelerde geleneksel ayak

SACH (Solid Ankle Cushion Heel), enerji depolama ve dönüş ayağı RENEGADE ve koşuya özel enerji depolama ve dönüş ayağı olan NİTRO olmak üzere 3 farklı protez ayak ile yaptığı çalışmada oksijen tüketimi sonuçlarına bakarak enerji tüketiminin farklı ayak kullanan amputelerde benzer sağlıklı kontrol grubunda ise daha düşük olduğunu bulmuşlardır. Kendi seçtikleri yürüme hızını en düşük seçen grubun SACH ayak kullanan grup olduğu, koşu için NİTRO ayağı tercih ettiklerini ve RENEGADE ayağa göre daha yüksek hızlara çıkabildiklerini ayrıca bu tercihlerin enerji maliyetini düşürdüğünü ve ambulatuvar performansı arttırdığını bildirmişlerdir (Mengelkoch vd., 2014).

Protez ağırlığının enerji tüketimine etkisini araştıran Mutlu ve arkadaşları, tek taraflı transtibial, transfemoral ve Syme amputasyonu olan 13 hastayı değerlendirmeye almış ve standart olarak kullanılan en hafif ve en ağır protez arasında tespit edilen 250 gramlık ağırlık farkını yürüyüş değerlendirmesinde kullanmışlardır. Tüm hastaların ölçümlerini önce ağırlıksız olarak, ardından 250 gr ayak bileği eklemine ağırlık verilerek tamamladığını, 6 dakika yürüme testi (6DYT) ve 10 basamak merdiven çıkma ve inme testi öncesinde ve sonrasında hastaların kan basıncı ve nabız değerlerini kaydettiklerini, enerji harcamasını hesaplamak için PCI değerini kullandıklarını bildirmişlerdir. Kalp atış hızının ve enerji tüketiminin, ağırlıksız ve ağırlıklı sonuçları karşılaştırdığında ağırlık ile önemli ölçüde arttığı sonucuna varmışlardır. Protez uzvun segmental ağırlığının KH ve enerji harcaması üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu, ancak alt ekstremitte amputelerinde sistolik ve diyastolik kan basıncı üzerinde hiçbir etkisi olmadığını belirtmişlerdir (Mutlu vd., 2017).

Yapılan çalışmalar amputasyon seviyesinin proksimale çıkmasının yürüme hızının düşmesi ve yürümedeki enerji harcamasının artması ile sonuçlanacağını rapor etmektedir. Etiyolojisine ve amputasyonun seviyesine bakıldığında transfemoral ampute bireylerde enerji maliyeti, transtibial ampute bireylerden daha yüksektir ve aynı seviyede amputasyonu bulunan vasküler amputeler, travmatik ampute bireylerden daha yüksek enerji maliyetine sahiptir (Loiret vd., 2019). İndirekt kalorimetre yöntemi kullanılarak enerji tüketimi açısından protez kullanan bireyler sağlıklı bireylerle karşılaştırıldığında, protez kullanan bireylerin daha düşük bir hız ile yürüdüğünde daha yüksek seviyede enerji harcadıkları belirlenmiştir (Genin vd., 2008). Amputasyonlu kişilerin kendi seçtikleri yürüyüş hızlarındaki azalmanın, artmış metabolik harcamaların önüne geçmek için geliştirdikleri bir kompensasyon yöntemi olduğu belirtilmiştir (Wezenberg vd., 2013; Van Schaik vd., 2019).

Spinal stabilizasyon egzersizleri ile birlikte hareketin proksimal kontrolündeki artışın, ekstremitelerin yüksek verimle ve daha güçlü hareket üretmesi ve bu sayede amputasyonu olan kişilerde gereksiz enerji tüketiminin azaltılması ile, enerjinin daha verimli kullanıldığını indirekt kalorimetre yöntemi kullanılarak gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Stout ve Koop, 2004; Corio ve vd., 2010; Donachy vd., 2004).

Houdijk ve arkadaşları, bir trabzan veya bastonla destek sağlayarak enerji maliyetinin ne ölçüde azaltılabileceğini ve bunun amputasyonun düzeyine ve nedenine nasıl bağlı olduğunu göstermek için bir araştırma yapmıştır. 9'u vasküler, 17'si vasküler olmayan, 16'sı transtibial ve 10'u transfemoral veya diz dezartikülasyon seviyesinde olan toplam 26 amputasyonlu birey dahil edilmiştir. Katılımcılar trabzan destekli ve desteksiz koşu bandında, bir de bastonlu ve bastonsuz düz zeminde yürürken enerji maliyeti respirometri kullanılarak değerlendirilmiştir. Koşu bandında trabzan desteğinin enerji maliyetinde ortalama % 6'lık bir azalma sağladığı, bu etkinin vasküler nedenlere bağlı amputasyonu olanlarda % 11'lik bir azalmaya neden olduğunu, vasküler olmayan grupta ise anlamlı bir fark göstermediği bildirilmiştir. Amputasyon seviyesinin herhangi bir etkisinin bulunmadığını bildiren araştırmacılar, amputasyon nedenine bağlı olarak, vasküler grupta enerji maliyetinde anlamlı olmayan küçük bir azalmanın (% 3) ve vasküler olmayan grupta önemli bir artışın (% 6) olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca düz zeminde baston desteğinin temel bir etkisinin bulunmadığı, ancak bir baston desteği etkisinin, amputelerin kendi seçtiği yürüme hızı ile pozitif olarak ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir (Houdijk vd., 2021).

Sonuç ve Öneriler

Alt ekstremitte amputasyonuna bağlı olarak kas iskelet sisteminde meydana gelen biyomekanik değişiklikler ile duysal girdinin azalması, bireylerde denge kaybı ve motor yetersizlikleri beraberinde getirmektedir. Değişen fiziksel parametreler ağırlık merkezini, yürüyebilme yeteneğini ve yürüyüşün doğal kinematiğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu değişiklikler bireylerin fiziksel kapasitesine, günlük yaşam aktivitelerine katılımına, hangi tip protez veya yardımcı cihaz kullandıklarına ve hangi hızda yürüdüklerine bağlı olarak değişen oranlarda enerji tüketiminde artışa neden olabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Algun C. Amputelerde rehabilitasyon. Algun C. ed. Ortez ve protez kullanan hastalarda rehabilitasyon. Ankara: Öztekin matbaacılık 1998:53-8. (t.y.).
- Balaban B. Yürüme Analizi: Temel Kavramlar ve Uygulama. Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon, (Eds) Beyazova M, Kutsal YG. 3rd ed. Ankara. Güneş Tıp Kitapevleri. 2016, pp 291-302. (t.y.).
- Brychta, R., Wohlers, E., Moon, J., & Chen, K. (2010). Energy expenditure: Measurement of human metabolism. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine: The Quarterly Magazine of the Engineering in Medicine & Biology Society*, 29(1), 42-47. <https://doi.org/10.1109/MEMB.2009.935463>
- Corio, F., Troiano, R., & Magel, J. (2010). The Effects of Spinal Stabilization Exercises on the Spatial and Temporal Parameters of Gait in Individuals With Lower Limb Loss. *JPO: Journal of Prosthetics and Orthotics*, 22, 230-236. <https://doi.org/10.1097/JPO.0b013e3181f2f905>
- De Frang, R. D., Taylor, L. M., & Porter, J. M. (1991). Basic data related to amputations. *Annals of Vascular Surgery*, 5(2), 202-207. <https://doi.org/10.1007/BF02016758>
- Donachy, J. E., Brannon, K. D., Hughes, L. S., Seahorn, J., Crutcher, T. T., & Christian, E. L. (2004). Strength and endurance training of an individual with left upper and lower limb amputations. *Disability and Rehabilitation*, 26(8), 495-499. <https://doi.org/10.1080/09638280410001663067>
- Duygu, S. Ç., Erbahçeci, F., Durutürk, N., & Yemişçi, O. Ü. (2021). Transtibial Amputasyonu Olan Bireylerde Spinal Stabilizasyon Egzersizlerinin Enerji Harcaması Üzerine Etkisinin İncelenmesi: Pilot Çalışma. *Türkiye Klinikleri Sağlık Bilimleri Dergisi*, 6(4), 810-819. <https://doi.org/10.5336/healthsci.2020-79617>
- Gailey, R., Allen, K., Castles, J., Kucharik, J., & Roeder, M. (2008). Review of secondary physical conditions associated with lower-limb amputation and long-term prosthesis use. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 45(1), 15-29. <https://doi.org/10.1682/jrrd.2006.11.0147>
- Gailey, R. S., Clark, C. R. Physical therapy management of adult lower limb amputees. *Atlas of limb prosthetics: Surgical, prosthetic and rehabilitation principles*. 2th edition, Bowker JH, Michael JW. St. Louis, editors. Baltimore: Mosby Year 6. (t.y.).
- Garcia, M., Lima, J., Junior, J., Freire, H., Mazilão, J., & Vicente, E. (2015). Energy expenditure and cardiovascular response to traumatic lower limb amputees' gait. *Fisioterapia em Movimento*, 28, 259-268. <https://doi.org/10.1590/0103-5150.028.002.A006>
- Genin, J. J., Bastien, G. J., Franck, B., Detrembleur, C., & Willems, P. A. (2008). Effect of speed on the energy cost of walking in unilateral traumatic lower limb amputees. *European Journal of Applied Physiology*, 103(6), 655-663. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0764-0>
- Göktepe, A. S., Cakir, B., Yilmaz, B., & Yazicioglu, K. (2010). Energy expenditure of walking with prostheses: Comparison of three amputation levels. *Prosthetics and Orthotics International*, 34(1), 31-36. <https://doi.org/10.3109/03093640903433928>
- Hagberg, K., Häggström, E., & Brånemark, R. (2007). Physiological cost index (PCI) and walking performance in individuals with transfemoral prostheses compared to healthy controls. *Disability and Rehabilitation*, 29(8), 643-649. <https://doi.org/10.1080/09638280600902869>
- Houdijk, H., Blokland, I. J., Nazier, S. A., Castenmiller, S. V., van den Heuvel, I., & IJmker, T. (2021). Effects of Handrail and Cane Support on Energy Cost of Walking in People With Different Levels and Causes of Lower Limb Amputation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 102(7), 1340-1346.e3. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2021.02.007>
- Isakov, E., Burger, H., Gregoric, M., & Marincek, C. (1996). Stump length as related to atrophy and strength of the thigh muscles in trans-tibial amputees. *Prosthetics and Orthotics International*, 20(2), 96-100. <https://doi.org/10.3109/03093649609164425>
- King, A. (2007). Chris Kirtley, *Clinical Gait Analysis: Theory and Practice*, Churchill Livingstone (2006) 328 pages, £39.99, ISBN 0-4431-0009-8. *Physiotherapy*, 93, 84-84. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2006.03.002>
- Lagana FJ, Weiner RI. When amputation is necessary: Preoperative assessment and surgery. In: Lusardi MM, Nielsen CC, eds. *Orthotics and prosthetics in rehabilitation*. 1st Ed. USA: Butterworth-Heinemann Press 2000:363-77. (t.y.).
- Loiret, I., Villa, C., Dauriac, B., Bonnet, X., Martinet, N., Paysant, J., & Pillet, H. (2019). Are wearable insoles a validated tool

for quantifying transfemoral amputee gait asymmetry? *Prosthetics and Orthotics International*, 43(5), 492-499. <https://doi.org/10.1177/0309364619865814>

Lusardi MM, Owens LLF. Postoperative and preprosthetic care. In: Lusardi MM, Nielsen CC, eds. *Orthotics and prosthetics in rehabilitation*. 1st Ed. USA: Butterworth-Heinemann Press 2000:395-419. (t.y.).

Mengelkoch, L., Kahle, J., & Highsmith, M. (2014). Energy Costs & Performance of Transtibial Amputees & Non-amputees during Walking & Running. *International journal of sports medicine*, 35. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1382056>

Miller, R. H., & Russell Esposito, E. (2021). Transtibial limb loss does not increase metabolic cost in three-dimensional computer simulations of human walking. *PeerJ*, 9, e11960. <https://doi.org/10.7717/peerj.11960>

Mutlu, A., Kharooty, M. D., & Yakut, Y. (2017). The effect of segmental weight of prosthesis on hemodynamic responses and energy expenditure of lower extremity amputees. *Journal of Physical Therapy Science*, 29(4), 629-634. <https://doi.org/10.1589/jpts.29.629>

Nielsen CC. Etiology of amputation. In: Lusardi MM, Nielsen CC, eds. *Orthotics and prosthetics in rehabilitation*. 1st Ed. USA: Butterworth-Heinemann Press 2000:327-36. (t.y.).

Panesar, B. S., Morrison, P., & Hunter, J. (2001). A comparison of three measures of progress in early lower limb amputee rehabilitation. *Clinical Rehabilitation*, 15(2), 157-171. <https://doi.org/10.1191/026921501669259476>

Rose, J., Gamble, J. G., Lee, J., Lee, R., & Haskell, W. L. (1991). The energy expenditure index: A method to quantitate and compare walking energy expenditure for children and adolescents. *Journal of Pediatric Orthopedics*, 11(5), 571-578.

Sellegren, K. R. (1982). An Early History of Lower Limb Amputations and Prostheses. *The Iowa Orthopaedic Journal*, 2, 13-27.

Seth, M., & Lamberg, E. (2017). Standing balance in people with trans-tibial amputation due to vascular causes: A literature review. *Prosthetics and Orthotics International*, 41(4), 345-355. <https://doi.org/10.1177/0309364616683819>

Silverman, A. K., Fey, N. P., Portillo, A., Walden, J. G., Bosker, G., & Neptune, R. R. (2008). Compensatory mechanisms in below-knee amputee gait in response to increasing steady-state walking speeds. *Gait & Posture*, 28(4), 602-609. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.04.005>

Starholm, I. M., Mirtaheri, P., Kapetanovic, N., Versto, T., Skyttemyr, G., Westby, F. T., & Gjovaag, T. (2016). Energy expenditure of transfemoral amputees during floor and treadmill walking with different speeds. *Prosthetics and Orthotics International*, 40(3), 336-342. <https://doi.org/10.1177/0309364615588344>

Stout, J., & Koop, S. (2004). Energy expenditure in cerebral palsy. *CLINICS IN DEVELOPMENTAL MEDICINE*, 146-164.

Strath, S. J., Swartz, A. M., Bassett, D. R., O'Brien, W. L., King, G. A., & Ainsworth, B. E. (2000). Evaluation of heart rate as a method for assessing moderate intensity physical activity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(9 Suppl), S465-470.

Sümer, A., Onur, E., Altınlı, E., Çelik, A., Çağlayan, K., & Köksal, N. (2008). Alt Ekstremitte Amputasyonlarında Klinik Deneyimlerimiz. *Journal of Turgut Ozal Medical Center*, 15(3), Article 3.

Swanberg, K. M., Clark, A. M., Kline, J. E., Yurkiewicz, I. R., Chan, B. L., Pasquina, P. F., Heilman, K. M., & Tsao, J. W. (2011). Enhanced left-finger dexterity following dominant upper- and lower-limb amputation. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 25(7), 680-684.

Şimşek İE, Şener G, Yakut Y. Unilateral alt ekstremitte amputelerinde Protez Memnuniyeti Anketi'nin Türkçe güvenilirliği ve geçerliği: pilot çalışma. *Fizyoter Rehabil*. 2010;21(2): 81-86.

Ülger, Ö., Topuz, S., Bayramlar, K., Erbahçec, F., & Yakut, Y. (2009). Diz altı amputelerde klasik yürüme eğitimi ve Biodex Gait Trainer 2TM ile yapılan yürüme eğitiminin karşılaştırılması.

van Schaik, L., Geertzen, J. H. B., Dijkstra, P. U., & Dekker, R. (2019). Metabolic costs of activities of daily living in persons with a lower limb amputation: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*, 14(3), e0213256.

Wezenberg, D., van der Woude, L. H., Faber, W. X., de Haan, A., & Houdijk, H. (2013). Relation between aerobic capacity and walking ability in older adults with a lower-limb amputation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 94(9), 1714-1720.

Yavuzer, G. (2014). Yürüme analizi ve temel kavramlar. *TOTBİD Dergisi*, 13(4), 304-308.

Ziegler-Graham, K., MacKenzie, E. J., Ephraim, P. L., Travison, T. G., & Brookmeyer, R. (2008). Estimating the prevalence of limb loss in the United States: 2005 to 2050. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 89(3), 422-429