

Transtibial Amputasyonu Olan Bireylerde Spinal Stabilizasyon Egzersizlerinin Enerji Harcaması Üzerine Etkisinin İncelenmesi: Pilot Çalışma

Effects of Spinal Stabilization Exercises on Energy Expenditure in Individuals with Transtibial Amputation: Pilot Study

^{id} Senay ÇEREZCİ DUYGU^a, ^{id} Fatih ERBAHÇECİ^b, ^{id} Neslihan DURUTÜRK^a, ^{id} Oya ÜMİT YEMİŞÇİ^c

^aBaşkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Ankara, TÜRKİYE

^bHacettepe Üniversitesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Ankara, TÜRKİYE

^cBaşkent Üniversitesi Tıp Fakültesi, Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon ABD, Ankara, TÜRKİYE

ÖZET Amaç: Alt ekstremitte amputasyonu kas-iskelet sisteminde hızlı değişikliklere neden olur. Bu değişikliklerin etkisiyle normal ambulasyonla kıyaslandığında, protez ile ambulasyon için enerji gereksinimi daha yüksektir. Harcanan enerjinin optimizasyonu için protezin segmental yükünün azaltılması, farklı protez komponentlerinin tercih edilmesi gibi yöntemler vurgulansa da bilimiz dâhilinde egzersiz türlerinin etkisi araştırılmamıştır. Mevcut çalışmanın amacı, unilateral transtibial amputasyonu olan bireylerde klasik fizyoterapi programı ile birlikte uygulanan spinal stabilizasyon egzersizlerinin enerji harcaması üzerine etkisini araştırmaktır. **Gereç ve Yöntemler:** Çalışmaya unilateral transtibial amputasyonu olan 12 birey dâhil edilerek rastgele olarak 2 gruba ayrıldı. Kontrol grubundaki bireylere 8 hafta boyunca amputasyonu olan bireylere ilişkin temel egzersizler, çalışma grubundaki bireylere ise temel egzersizlerle beraber spinal stabilizasyon egzersizleri uygulandı. Egzersiz eğitimi öncesi ve sonrası, 6 dakika stepper testi sırasında oksijen tüketimi ve enerji tüketimi ölçümü indirekt kalorimetre cihazı (Cosmed Fitmate Pro, Roma, İtalya) ile gerçekleştirildi, ayrıca test öncesi ve sonrası Modifiye Borg Skalası ile yorgunluk algılamaları değerlendirildi, derin spinal kasların kuvveti "Stabilizer Basınç Geri-Bildirim Ünitesi" (Chattanooga Group Inc, U.S.) ile ve algılanan mobilite düzeyi Protez Değerlendirme Anketi'nin Mobilite alt skalası ile değerlendirildi. **Bulgular:** Yapılan analizler sonucunda maksimum oksijen tüketiminin ($p=0,003$), derin spinal kasların kuvvetinin ($p=0,003$) ve algılanan mobilite düzeyinin ($p=0,004$) egzersiz programı sonucunda gruplar içindeki değişimleri, 2 grup arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklı olduğu bulundu. Enerji harcaması ve oluşan yorgunluk seviyelerindeki değişim 2 grup arasında anlamlı bulunmadı (sırasıyla $p=0,076$; $p=0,102$). **Sonuç:** Çalışmamızda sonuç olarak, spinal stabilizasyon egzersizlerinin amputasyonu olan bireylerin, rehabilitasyon programına dâhil edilmesinin egzersiz kapasitesini ve mobilite düzeyinin artırmada etkili olabileceği görüldü. İleride daha fazla olgu ile spinal stabilizasyon egzersiz eğitiminin etkilerinin belirlenmesine ihtiyaç vardır.

ABSTRACT Objective: Lower limb amputation causes rapid changes in the musculoskeletal system. With the effect of these changes, the energy requirement for ambulation with prosthesis is higher compared to normal ambulation. Although methods such as reducing the segmental load of the prosthesis and choosing different prosthetic components are emphasized for the optimization of the energy expenditure, within our knowledge, the effect of exercise types has not been investigated. The aim of the present study was to investigate the effect of spinal stabilization exercises applied together with the basic physiotherapy program on energy expenditure in individuals with unilateral transtibial amputation. **Material and Methods:** Twelve individuals with unilateral transtibial amputation were included in the study and randomly divided into two groups. Basic exercises for individuals with amputation were applied to individuals in the control group, and spinal stabilization exercises were applied to individuals in the study group together with basic exercises for 8 weeks. Before and after exercise training, during the 6 Minute Stepper Test, oxygen consumption and energy expenditure were measured with an indirect calorimeter device (Cosmed Fitmate Pro, Rome, Italy), and fatigue perceptions were evaluated with the 'Modified Borg Scale' before and after the test, strength of deep spinal muscles was assessed with the "The Stabilizer Pressure Biofeedback Unit" (Chattanooga Group Inc, U.S.) and the perceived mobility level assessed with the 'Mobility' subscale of the 'Prosthesis Evaluation Questionnaire'. **Results:** It was found that as a result of the exercise programs, the progression in the maximum oxygen consumption ($p=0.003$), deep spinal muscle strength ($p=0.003$) and perceived mobility level ($p=0.004$) within the groups were found to be statistically significant. The difference in energy expenditure and fatigue levels was not found statistically significant between two groups (respectively $p=0.076$; $p=0.102$). **Conclusion:** As a result of our study, it is seen that the inclusion of spinal stabilization exercises in the rehabilitation program of individuals with amputation may be effective in increasing exercise capacity and mobility level. The effects of spinal stabilization exercise training need to be determined with more cases in the future.

Anahtar Kelimeler: Amputasyon; enerji metabolizması; rehabilitasyon; egzersiz tedavisi; amputeler

Keywords: Amputation; energy metabolism; rehabilitation; exercise therapy; amputees

Correspondence: Senay ÇEREZCİ DUYGU

Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Ankara, TÜRKİYE/TURKEY

E-mail: senaycerzeci@gmail.com



Peer review under responsibility of Türkiye Klinikleri Journal of Health Sciences.

Received: 16 Oct 2020

Received in revised form: 22 Oct 2020

Accepted: 23 Oct 2020

Available online: 05 Mar 2021

2536-4391 / Copyright © 2021 by Türkiye Klinikleri. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Amputasyon, kas-iskelet sisteminin biyomekaniğini önemli ölçüde bozan, ciddi fiziksel ve psikolojik kayıpla sonuçlanan, bireyin yaşam kalitesini, sosyal ve mesleki yaşamını tamamen etkileyen majör bir travmadır.¹ Unilateral alt ekstremité amputasyonu, bacak ve sırt kaslarının atrofisi, güç kaybı, yürüyüş asimetrisi, mekanik olarak farklılık gösteren eklem yüklenmesi ve bacak uzunluğu uyumsuzlukları dâhil olmak üzere kas-iskelet sisteminde oluşan hızlı değişikliklere neden olur.² Amputasyonu olan bireylerin, fonksiyonelliğini olumsuz etkileyen kas-iskelet sistemine ait bu unsurları iyileştirmek için ise fonksiyonel sonuçlar üzerinde, en fazla olumsuz etkiye sahip olan ve rehabilitasyon müdahalesine en uygun olan unsurlar tanımlamalı ve üzerinde çalışılmalıdır.

Bütün bu bahsedilen değişimlerin etkisiyle, normal ambulasyonla kıyaslandığında protez ile ambulasyon için enerji gereksinimi çok daha yüksektir. Transtibial amputasyonu olan bireylerin, önemli ölçüde artan enerji harcamasına sahip oldukları literatürde daha önce vurgulanmıştır. Aynı hızda yapılan yürüyüş sırasındaki karşılaştırmada, amputasyonu olmayan bireylere göre %10-40 daha fazla enerji harcamasına sahip oldukları rapor edilmiştir.^{3,4} Amputasyon seviyesinin yükselmesi ve kayıp ekstremité sayısının artmasıyla da enerji harcaması ciddi oranda artmaktadır; unilateral transtibial amputasyon %40-60, unilateral transfemoral amputasyon %90-120, bilateral transtibial amputasyon %60-100 ve bilateral transfemoral amputasyon >%200.⁴

Enerji harcaması, birçok kişisel ve proteze ait faktörün yanında aktivite düzeyi, temel kas gruplarının kuvveti ve hareket kabiliyetinden de etkilenmektedir.³⁻⁷

Lumbal bölgenin aktif stabilizasyonundan sorumlu "core" bölgesi anatomik olarak; ön tarafta abdominaler, arkada erector spina ve glutealler, çatı olarak diyafram, alta pelvik taban ve kalça kemiği kasları ile kaslı silindir olarak tanımlanmıştır.⁸ "Core" bölgesi, distal hareketlilik ve ekstremitelerin fonksiyonu için proksimal stabilize sağlayan fonksiyonel kinetik zincirin merkezidir.^{9,10} Herhangi bir segmentin hareketi için "core" bölgesinin öncesinde aktive olması gerekmektedir.¹¹⁻¹³

Herhangi bir hareketin fazık kısmında bilinçli odaklanma, stabilizasyon için bilinçaltı ve otomatik odaklanma gerçekleşir. Bu nedenle stabilizasyondan genellikle taviz verilir ve stabilizatör fonksiyonunun yeniden eğitimi çok kolay değildir. Stabilizasyon eğitiminin herhangi bir rehabilitasyon programında, birincil adım olması önerilmektedir.^{10,13} Stabilizasyonu zayıf bir hastaya reçete edilen denge veya güçlendirme egzersizlerinin etkisi sınırlı olacaktır, dahası patolojik hareket kalıplarını artırabilir ve hastanın ağrısını şiddetlendirebilir.¹⁰

Amputasyonu olan bireyler için rehabilitasyon programları genellikle, spinal stabilizasyon ile alt ekstremité hareketini koordine eden fonksiyonel hareket paternlerini birleştirmekten ziyade dengeyi, alt ekstremité kuvvetini ve yürüyüşü iyileştirmeye odaklanır. Spinal stabilizasyon egzersizleri, omurgayı stabilize eden "core" kaslarını (örneğin transversus abdominis ve multifidus) çalıştırmaya odaklanan bir egzersiz programıdır ve egzersiz programı ilerledikçe bu kasların ko-kontraksiyonuyla birlikte alt ve üst ekstremité egzersizleri harekete eklenir.¹⁴ Lumbal bölgeye etki eden kuvvetlerdeki artış ve yüklenme sırasındaki dinamik stabilizeye odaklanan spinal stabilizasyon eğitimlerin, mekanik bel ağrısını azaltma ve amputasyona bağlı olarak kas-iskelet sisteminde oluşan değişiklikleri iyileştirme potansiyeline sahip olduğu bilinmektedir.^{2,14}

Amputasyonu olan bireylerde "core" kas kuvveti ve performans ile ilgili çalışmalar limitli olsa da aradaki bağlantıyı Thomas ve ark. sporcu bireylerde göstermiştir. Kuvvetli "core" bölgesinin, alt ekstremité, gövde ve üst ekstremitelerde üretilen kuvvetlerin başarılı bir şekilde aktarılmasını sağladığı; zayıf "core" bölgesinin, enerjinin transferini kesintiye uğrattığını vurgulamışlardır. Bu durum, spor performansının azalmasına ve zayıf ya da az gelişmiş kas grubunun yaralanma riskine yol açmaktadır. Bu nedenle, "core" kuvvetindeki artışın performansda da artışa yol açacağı varsayılmaktadır.¹⁵ Performans ile direkt ilişkisinin yanında, yürüyüş sırasında gövdedeki asimmetrik hareketin genellikle gövde kaslarının zayıf kontrolünü gösteren asimmetrik "core" kas aktivasyonu ile ilişkilidir.¹⁶

Amputasyonu olan bireylerde, artan enerji harcaması ve günlük yaşamda etkilerini gösteren yor-

gunluk majör problemler arasındadır. Amputasyonu olan bireylerde, enerji harcaması ve yapılan egzersiz türü arasındaki bağlantıyı ele alan bir çalışma literatürde bilginiz dâhilinde çalışma bulunmamaktadır. Çalışmamız dâhilinde, literatürde faydaları defalarca vurgulanan spinal stabilizasyon egzersizlerinin enerji harcaması üzerine olan etkisi araştırılacaktır.

Bu çalışmanın amacı, unilateral transtibial amputasyonu olan bireylerde klasik fizyoterapi programı ile birlikte uygulanan spinal stabilizasyon egzersizlerinin enerji harcaması üzerine etkisini araştırmaktır. Bu bağlamda çalışmamızın hipotezi şu şekildedir, transtibial amputasyonu olan bireylerde, enerji harcaması üzerine klasik fizyoterapi uygulamalarıyla spinal stabilizasyon egzersizleri arasında fark vardır.

GEREÇ VE YÖNTEMLER

Çalışma, prospektif randomize kontrollü olarak planlandı ve Başkent Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından 28/06/2019 tarih ve 19/32 sayılı karar ile etik olarak uygun görüldü (KA19/143). Katılımcı olmayı kabul eden bireylerin tümünden yazılı olarak bilgilendirilmiş olur formu alındı. Çalışma Helsinki Deklarasyonu Prensipleri'ne uygun olarak yürütüldü.

Çalışmaya dâhil edilen bireyler için işleme kriterleri;

- Unilateral transtibial amputasyonu olması,
- Amputasyondan sonra en az 6 ay geçmiş olması,
- Protez kullanıcısı olması,
- 18 yaş veya üzerinde olması,

Amputasyon olan ekstremitedeki kuadriseps ve hamstring kas kuvveti Dr. Lovett'in geliştirdiği manuel kas testi yöntemine göre en az "4" olması.

Çalışmaya dâhil edilen bireyler için dışlama kriterleri;

- Amputasyon dışında yürüyüşünü etkileyebilecek herhangi bir rahatsızlığının veya sağlık probleminin olması,
- Çoklu ekstremitte kaybı olması,
- Güdükte fantom ağrısı bulunması.

Çalışmaya dâhil edilen bireyler rastgele olarak *kontrol grubu* ve *çalışma grubu* olmak üzere 2'ye ayrıldı. Her 2 gruptaki bireylere aşağıda belirtilen değerlendirmeler yapılarak "1. ölçüm" başlığıyla kaydedildi. Değerlendirme sürecinin sonunda *kontrol grubundaki* bireylere, 8 hafta boyunca amputasyonu olan bireylere ilişkin temel egzersizleri içeren egzersiz programı; *çalışma grubundaki* bireylere temel egzersizlerle beraber spinal stabilizasyon egzersiz programı uygulandı. Her 2 gruptaki eğitimler haftada 3 gün, ortalama 45-50 dk, toplam 8 hafta devam etti. Yapılan egzersiz eğitimlerinin sonunda aynı ölçümler tekrarlandı ve "2. ölçüm" başlığıyla kaydedildi. 1. ölçüm ve 2. ölçüm sonucunda bulunan sonuçlar arasındaki fark 2 grup için karşılaştırıldı. Çalışmanın akış şeması Şekil 1'de verilmiştir.

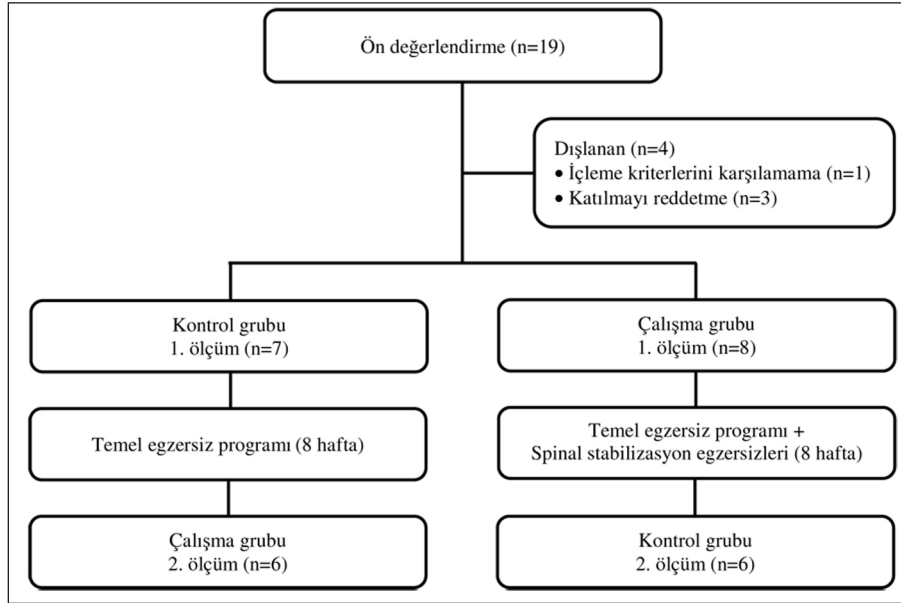
DEĞERLENDİRME PROTOKOLÜ

Kişisel Özellikler

Çalışmaya dâhil edilen bireylerin yaş, boy, kilo, eğitim düzeyleri gibi bilgileri içeren demografik özellikleri ile amputasyona ilişkin bilgiler ve kullandıkları protezlere ilişkin bilgiler kaydedildi.

Enerji Harcaması ve Egzersiz Kapasitesi

Enerji harcaması ve oksijen tüketiminin belirlenmesi için 6 dakika stepper testi sırasında portatif egzersiz testi cihazı (Cosmed Fitmate Pro, Roma, İtalya) kullanıldı.¹⁷ 6 dakika stepper testi, 6 dakika yürüyüş testi protokolüne eş değer bir protokol kullanılarak bir stepper (adımlayıcı) üzerinde 6 dakikada gerçekleştirilen adımların sayısını ölçmeyi amaçlamaktadır. Adım, bir ayağı kaldırıp yere koymanın tek bir tam hareketi olarak tanımlandı. Stepper (Mini Stepper Essential, Domyos, Fransa), katılımcıların parmaklarını duvara yerleştirerek dengelerini korumalarını sağlamak için duvara dönük olarak yere yerleştirildi. Teste başlamadan önce hastalar 2 dk süre ile stepper cihazına alıştı. Protokol, 3 dk'lık bir dinlenme süresi ve 6 dk'lık bir adım süresi içeriyordu. Katılımcılara, 6 dakika yürüyüş testi için Amerikan Toraks Derneği talimatlarından uyarlanan ve 6 dk içinde yapabilecekleri en fazla sayıda adımı atmalarını tavsiye eden standartlaştırılmış talimatlar verildi.¹⁸ Altı dakikada gerçekleştirilen adımların sayısı kaydedildi. Testi uygulayan araştırmacı, test boyunca hastanın arkasında kaldı.



ŞEKİL 1: Akış şeması.

Altı dakika stepper testi sırasında, katılımcılara optoelektronik bir okuyucuya bağlı yeniden kullanılabilir bir kardiyorespiratuar fitness maskesi ve bir polar verici takıldı (Resim 1). Optoelektronik okuyucu ve polar vericiden gelen kablolar Fitmate Pro'nun arka paneline bağlandı. Her testten önce sistem otomatik bir kalibrasyona tabi tutuldu. Altı dakika stepper testi sırasında, Fitmate Pro cihazı kullanılarak, kilogram başına maksimum oksijen tüketimi (maksimum VO_2 kg) (ml/dk/kg), maksimum enerji harcaması (maksimum EH) (kcal/h) değerleri kaydedildi. Test sonunda yürünen mesafe, stepperdaki adım sayısı olarak kaydedildi.

Yorgunluk

Yorgunluk değerlendirmesinde Modifiye Borg Skalası kullanıldı. Katılımcıların 6 dakika stepper testi sırasında, oluşan yorgunluk düzeyini belirlemek için test öncesinde ve sonrasında Modifiye Borg Skalası kullanılarak algılanan yorgunluk düzeyi kaydedildi.

Modifiye Borg Skalası, bireylerin egzersiz veya egzersiz testi sırasındaki efor düzeylerini öznel olarak derecelendirmelerine olanak tanır. 0-10 arasında puanlanan ölçekte, en düşük 0 puan "hiç yok", en yüksek 10 puan "çok şiddetli" yorgunluğu ifade eder.¹⁹

Spinal Stabilizatörlerin Kuvveti

Derin spinal kasların kuvveti "The Stabilizer Pressure Biofeedback Unit (Stabilizer Basınç Geri-Bildirim Ünitesi)" (Chattanooga Group Inc, U.S.) aleti kullanılarak değerlendirildi. Stabilizer, bir hava dolu olan basınç hücresine bağlı kombine bir manometre ve şişirme balonundan oluşur. Hava dolu hücredeki basınç değişimi ile omurga hareketlerinin



RESİM 1: Altı dakika stepper testi sırasında değerlendirme.

hareketinin izlemesi, ölçülmesi ve geri bildirim sağlanması için kullanılır. Bu alet, kas eğitimi için kullanıldığı gibi derin spinal kaslarının kuvvetlerinin ölçümünde de kullanılmaktadır.^{20,21}

Multifidus ve transversus abdominis gibi lumbal bölgeye etki eden derin stabilizatör kasların, kuvvetini değerlendirmek için katılımcılardan dizleri fleksiyonda olacak şekilde sırtüstü uzanmaları istendi. Basınç hücreleri lumbal vertebraların altına ve spina iliaca posterior superiorların tam ortasına denk gelecek şekilde yerleştirildi. Manometrede okunan basınç 40 mmHg'ye ayarlandıktan sonra, katılımcılara daha önce öğretildiği gibi hiçbir omurga veya pelvis hareketi olmaksızın abdominal duvarı içeri doğru çekmeleri istendi. Ölçüm için basınç değerleri, arka arkaya 3 kere, 10 sn'lik kontraksiyonun başlangıcında ve bitişinde kayıt edilir. Basınç değerindeki değişiklikler, 40 mmHg değeri baz alınarak hesaplandı. Üç kontraksiyon sonunda, basınçtaki ortalama değişim mmHg olarak hesaplandı ve analiz için kullanıldı.²⁰

Protezin Mobiliteye Olan Etkisi

Protezin aktivitelere olan etkisi Protez Değerlendirme Anketi'nin (PDA) alt kategorisi olan "mobilite" kısmı kullanılarak değerlendirilecektir. PDA'nın "mobilite" alt kategorisi, amputasyonu olan bireyin protezi ile ambulasyon ve transferlerini içeren bireysel kapasitesini son 4 hafta boyunca değerlendiren 13 maddeden oluşmuş bir mobilite ölçeğidir. Yüksek puan protez ile yüksek mobiliteyi gösterir. Puanlama 13 sorunun aritmetik ortalamaları hesaplanarak yapılır. Protez değerlendirmesi için literatürde sıklıkla kullanılan PDA'nın Türkçe versiyonu ve geçerlilik-güvenilirlik çalışması mevcuttur.²²

EGZERSİZ PROTOKOLÜ

Katılımcılar, yapılan başlangıç değerlendirmeleri sonrasında haftada 3 gün, ortalama 45-50 dk ve 8 hafta boyunca aynı fizyoterapist tarafından egzersiz eğitimine alındı.

Kontrol Grubu: Amputasyonu olan kontrol grubundaki bireylerin, egzersiz programında sadece amputasyonlu bireylere özel geliştirilen temel egzersiz eğitimi (dinamik egzersizlerin yanında, denge, kuvvet, solunum ve postür egzersizleri) uygulandı.

Çalışma Grubu: Amputasyonu olan çalışma grubundaki bireylerin egzersiz programında ise temel egzersiz eğitimine ek olarak, spinal stabilizasyon egzersizleri uygulandı. Spinal stabilizasyon eğitim programı için abdominal korseleme dâhil 6 egzersiz seçildi. Her egzersiz, eğitim süresince kolaydan zor seviyelere ilerleyecek şekilde tasarlandı. Egzersiz zorluğunun artırılması hem ekstremiteler hareketlerini hem de ekstremiteler hareketlerinin sayısı artırılarak sağlandı. İlerleme hızı bireysel olarak değiştirildi ve uyumu teşvik etmek için egzersiz sayısı en aza indirildi. Liebenso'n'a göre bu egzersizlerin kullanılması transversus abdominis ve multifidus kaslarını uyararak ve güçlendirmek için etkili bir yöntemdir.²³

İSTATİSTİKSEL ANALİZ

İstatistiksel analiz için Windows tabanlı SPSS 17.0 yazılımı kullanıldı. Çalışma sonucunda elde edilen veriler, aritmetik ortalama ve standart sapma olarak verildi. Normallik değerlendirmesine göre normal dağılım göstermeyen veriler için nonparametrik testler kullanıldı. Grup içi değerlendirmeler için Wilcoxon Eşleştirilmiş İki Örnek Testi kullanıldı. Gruplar arası 2'li karşılaştırmalar için Mann-Whitney U Testi kullanıldı. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $\alpha=0,05$ olarak kabul edildi.

BULGULAR

Çalışma kapsamında transtibial amputasyonu olan 12 birey değerlendirildi. Katılımcıların yaş ortalamaları $37,17\pm 7,21$ yıl, beden kitle indeksi ortalamaları $27,4\pm 3,06$ kg/m², ortalama protez kullanım süreleri $10,83\pm 10,43$ yıl ve şimdiye kadar kullandıkları protez sayısı ortalama olarak $4,80\pm 4,05$ adet idi. Çalışmamıza dâhil edip egzersiz eğitimini tamamlayan 12 katılımcının 1'i kadın 11'i erkekti. Katılımcıların 12'sinde dominant alt ekstremitesi sağ taraf olarak kaydedildi ve 7 kişinin ampüte ekstremitesi sağ taraf, 5 kişinin ampüte ekstremitesi sol taraf idi. Katılımcıların amputasyon nedenleri; 9 kişi travma (%75), 1 kişi enfeksiyon (%8,3), 1 kişi gelişim anomalisi (%8,3), 1 kişi tümör (%8,3) olarak kaydedildi. Günlük protez kullanım sürelerini 10 kişi "8 saat ve üzeri" olarak bildirirken, 2 kişi "4-8 saat" olarak bildirdi. Katılımcıların tümü aktif vakum sistemi (total temaslı soket ile birlikte) ve karbon ayak kullanıcısı idi. Katı-

TABLO 1: Gruplara göre demografik ve protez kullanımına ait özellikler.

	Kontrol grubu (n=6)		Çalışma grubu (n=6)	
	Minimum-Maksimum	X±SS	Minimum-Maksimum	X±SS
Yaş (yıl)	31-48	39,67±6,47	27-48	34,67±7,58
BKİ (kg/m ²)	23,7-30,1	27,35±2,11	23,3-34,3	27,45±4,01

SS: Standart sapma; BKİ: Beden kitle indeksi.

lımcıların demografik özelliklerinin kontrol ve çalışma gruplarına göre dağılımı **Tablo 1**'de verilmiştir.

Kontrol grubundaki ve çalışma grubundaki katılımcıların spinal stabilizatör kuvveti, protezle mobilite değerlendirmesi, oluşan yorgunluk, MaxVO₂, MaxEH ve egzersiz testinde atılan adım sayısının uygulanan egzersiz programı öncesindeki ve sonrasındaki ortalamalarına ait veriler **Tablo 2** ve **Tablo 3**'de verilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda spinal stabilizatör kuvveti, protezle algılanan mobilite ve MaxVO₂'nin egzersiz programı sonucunda gruplar içindeki değişimleri 2 grup arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklı olduğu bulunmuştur (sırasıyla p=0,003; p=0,004; p=0,003). Parametrelerin kontrol grubu ve çalışma grubundaki değişimlerinin (2. ölçüm-1. ölçüm) 2 grup arasında karşılaştırılmasına ait veriler **Tablo 4**'de verilmiştir.

TARTIŞMA

Tek taraflı diz altı seviyede amputasyonu olan bireylerde klasik fizyoterapi programı ile birlikte uygulanan spinal stabilizasyon egzersizlerinin etkisini araştırdığımız çalışmamızda; spinal stabilizatör kuvvetlerinin, protezle algılanan mobilite seviyesinin, submaksimal 6 dakika stepper egzersiz testinde ortaya çıkan yorgunluğun, MaxVO₂'nin, enerji harca-

TABLO 2: Kontrol grubu için tanımlayıcı istatistikler.

	Kontrol grubu				Wilcoxon Testi	
	Egzersiz programı öncesi		Egzersiz programı sonrası			
	Minimum-Maksimum	X±SS	Minimum-Maksimum	X±SS	z	p değeri
Spinal Stabilizatör (mmHg)	2-5	3,28±0,98	2,33-5,33	3,5±0,98	-2,000	0,046
Protez Değerlendirme Anketi- Mobilite	46,46-53	50,17±2,8	41-56,03	49,58±7,3	-0,105	0,916
Yorgunluk	3-5	3,83±0,93	2-3	2,83±0,41	-2,041	0,041
MaxVO ₂ (ml/kg/dk)	18,8-21,5	20,65±1	18,9-21,5	20,7±0,96	-1,732	0,083
MaxEE (kcal/h)	430-651	521±104,12	432-652	525,33±103,25	-2,232	0,026
6DST adım sayısı	246-458	327,67±79,21	258-480	344,67±84,41	-2,264	0,024

p<0,05; SS: Standart sapma; MaxVO₂: Maksimum oksijen tüketimi; MaxEH: Maksimum enerji harcaması; 6DST: 6 dakika stepper testi.

TABLO 3: Çalışma grubu için tanımlayıcı istatistikler.

	Çalışma grubu				Wilcoxon Testi	
	Egzersiz programı öncesi		Egzersiz programı sonrası			
	Minimum-Maksimum	X±SS	Minimum-Maksimum	X±SS	z	p değeri
Spinal Stabilizatör (mmHg)	2,33-8	4,84±1,92	5,33-10,33	7,56±1,76	-2,207	0,027
Protez Değerlendirme Anketi- Mobilite	43,92-78,15	64,03±12,77	66,46-91,92	79,87±9,32	-2,201	0,028
Yorgunluk	0-2,5	0,83±0,93	0,5-2	0,92±0,58	-0,184	0,854
MaxVO ₂ (ml/kg/dk)	16,7-28,7	22,52±4,97	21,5-29,2	26,05±3,57	-2,201	0,028
MaxEH (kcal/h)	313-655	550,5±126,8	343-992	654,33±206,22	-2,201	0,028
6DST adım sayısı	274-520	437,33±91,66	234-656	489,67±146,54	-1,782	0,075

p<0,05; SS: Standart sapma; MaxVO₂: Maksimum oksijen tüketimi; MaxEH: Maksimum enerji harcaması; 6DST: 6 dakika stepper testi.

TABLO 4: Gruplar arası değişimlerin karşılaştırılması.

	Kontrol grubu	Çalışma grubu	Mann-Whitney U testi	
	değişim (X±SS)	değişim (X±SS)	z	p değeri
Spinal Stabilizatör (mmHg)	0,22±0,17	2,73±1	-2,945	0,003
Protez Değerlendirme Anketi-Mobilite	0,59±5,26	15,85±9,09	-2,892	0,004
Yorgunluk	-1±0,84	0,08±1,36	-1,636	0,102
MaxVO ₂ (ml/kg/dk)	0,05±0,05	3,53±3,82	-2,923	0,003
MaxEH (kcal/h)	4,33±6,71	98,67±150,1	-1,777	0,076
6DST adım sayısı	17±8,37	52±61,82	-1,715	0,086

p<0,05; SS: Standart sapma; MaxVO₂: Maksimum oksijen tüketimi; MaxEH: Maksimum enerji harcaması; 6DST: 6 dakika stepper testi.

masının ve atılan adım sayısının uygulanan egzersiz programıyla değişimini gruplar arasında değerlendirdik. Yaptığımız analiz sonucunda spinal stabilizasyon egzersizlerini içeren program uygulayan grupta spinal stabilizatör kuvveti, protezle algılanan mobilite ve MaxVO₂'de iyileşme kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı iken enerji harcaması, adım sayısı ve oluşan yorgunluk düzeyindeki değişim 2 grup arasında anlamlı bulunmadı. Çalışma sonucunda “trans-tibial amputasyonu olan bireylerde enerji harcaması üzerine klasik fizyoterapi uygulamalarıyla spinal stabilizasyon egzersizleri arasında fark vardır” hipotezi reddedildi.

Tek taraflı transtibial amputasyonun, etkilenen alt ekstremitede ve spinal bölgede progresif iskelet kası atrofisine yol açtığı; asimetrik yürüme, kas kütlesi kaybı ve kuvvetin azalması ile lumbal bölgedeki mekanik yüklenmeyi artırdığı bildirilmiştir.^{2,24} Bu değişiklikler göz önünde bulundurulduğunda amputasyondan sonra doku iyileşmesi tamamlanıp, protez ekstremitede takıldıktan sonra uzun vadeli hedef, protez uyumunun korunması ve fiziksel fonksiyonun optimize edilmesidir. Rehabilitasyon gerekliliği vurgulansa da özellikle prostetik dönemden sonra fiziksel fonksiyonun iyileştirilmesi için uygulanabilecek egzersiz yaklaşımları üzerine yapılan çalışma sayısı oldukça azdır.

Atletik performans üzerine yapılan çalışmalarda, spinal stabilizatör sistemin olması gerektiği gibi çalıştığına, kinetik zincirdeki eklemlerde minimum kompresyon, makaslama veya parçalama kuvvetleri etkisi ile doğru kuvvet dağılımı ve maksimum kuvvet üretimi gerçekleşeceği bildirilmektedir.²⁵ Spinal sta-

bilizasyonun aktif komponenti olan “core” bölgesinin fonksiyonel hareketlerde, distal hareketlilik için proksimal stabilite sağladığı konusunda fikir birliği vardır.⁹ Literatür incelemesi yapıldığında, amputasyonu olan bireylerde spinal stabilizasyon egzersizlerini inceleyen tek çalışma yürüyüş üzerine iken spinal bölgeyi içeren kuvvetlendirme egzersizlerinin mekanik ağrısı gibi etkileri daha önce araştırılmıştır.^{2,14,26,27} Bilgimiz dâhilinde distal hareketliliğin anahtarı olan proksimal stabilitenin amputasyonu olan bireylerde, egzersiz performansı üzerine etkisi araştırılmamıştır.

Transversus abdominis ve multifidus kaslarının lumbal omurganın stabilizasyonunda kritik rol oynadığı önceki çalışmalarda vurgulanmıştır.⁹ Elektromyografi çalışmalarında ise multifidusun transversus abdominis ile birlikte bütün gövde hareketleri sırasında aktif olan tek kas olduğunu gösterilmiştir.²³ Bu çalışmalardan birinde, gövdenin maruz kaldığında ani pertürbasyonlarda herhangi bir diğer karın kasından önce transversus abdominisde aktive olduğu gösterilmiştir.²⁸ Üst ekstremitde hareketleri sırasında abdominal aktiviteye bakan başka bir çalışmada ise yine transversus abdominisun, kol hareketlerinin başlamasından hemen önce aktif olan tek kas olduğu bildirilmiştir.²⁹ Spinal stabilizasyon eğitimi ile odaklanılan transversus abdominis ve multifidus aktivasyonunun distal segmentlerle olan kanıtlanmış bağlantıları, çalışmamızdaki spinal stabilizasyona odaklanılan gruptaki mobilite seviyesindeki ve fonksiyonel egzersiz kapasitesindeki iyileşmeyi desteklemektedir.

Spinal stabilizasyon egzersiz programı için benzer protokolü kullandığımız Corio ve ark. yaptıkları

çalışmada, spinal stabilizasyon egzersiz eğitiminin özellikle transversus abdominis ve multifidus olmak üzere gövdenin “core” kaslarının güçlendirilmesi yoluyla alt ekstremité amputasyonu olan bireylerde genel rehabilitasyon programının bir parçası olarak, yürüyüşün zaman mesafe parametrelerini iyileştirmede etkili olabileceğini bildirmişlerdir.¹⁴ Çalışmamızda, uygulanan egzersiz programları sonucunda her 2 grupta da spinal stabilizatör kuvvetinde artış vardır ve Corio ve ark.’nın bulguları göz önüne alındığında, spinal stabilizatörlerin kuvvetindeki bu artış ile her 2 egzersiz müdahalesinden sonra da yürüyüşün iyileşmesine katkı sağlayacağı düşünülebilir. Bununla beraber çalışma grubundaki protezle algılanan mobilite seviyesindeki iyileşme düşünüldüğünde, protezle yürüyüş ve genel hareketliliğin iyileştirilmesi için spinal stabilizatörlerinin eğitiminin egzersiz programına dâhil edilmesi etkili olacaktır.

Murray ve ark. transtibial amputasyonu olan bireylerde, bel ve alt ekstremité eklemlerinin asimetrik yüklenmesine neden olan asimetrik ve artmış gövde hareketlerini bildirirken, Shojaei ve ark., amputasyonu olan bireylerde yürüyüş sırasında spinal yüklenmenin amputasyonu olmayan kişilere göre %90’a kadar daha fazla olduğunu bildirmiştir.^{24,30} Yüklenmedeki bu artışın amputasyondan sonra gövde kaslarındaki değişmiş ko-aktivasyon paternleriyle ilgili olabileceği belirtilmiştir. Spinal stabilizasyon egzersizleri veya core kuvvetlendirme ile yürüyüş, merdiven inme-çıkma gibi aktivitelerin optimizasyonu ve spinal yüklenmelerin azaltılması araştırmacılar tarafından önerilmektedir.^{16,24,27,30} Buna karşılık bilgimiz dâhilinde spinal stabilizasyon egzersizlerinin, fonksiyonel egzersiz kapasitesine ve mobiliteye etkisi araştırılmamıştır. Çalışmamızda grup içi değişimlerin karşılaştırılmasında, spinal stabilizasyon egzersizlerini uygulayan grup lehine fonksiyonel egzersiz kapasitesinin önemli bir belirteci olan MaxVO₂ düzeyindeki iyileşme anlamlı bulunmuştur. Bu yönüyle spinal stabilizasyon egzersizlerinin kullanımı egzersiz kapasitesini iyileştirmek için bir seçenek olarak düşünülebilir.

Sonuç ölçümü için kullanılan 6 dakika stepper testinde, belirli bir zaman içerisinde kişilerin yorulmadan ulaşabildikleri mesafede hem kontrol grubunda hem çalışma grubunda artış bulunmuştur.

Adım sayısındaki artışa karşılık, kişilerin egzersiz sırasında kullanabildikleri enerji miktarında 2 grupta da artış gözlemlenmiştir. Czerniecki ve ark. alt ekstremité amputasyonu olan bireylerde enerji harcaması üzerine yaptıkları derleme çalışmalarında, artan enerji harcamasının olası nedenlerinden ve bireyler üzerindeki olumsuz etkilerinden bahsetmişlerdir.³¹ Çalışmamızda yapılan ölçümlerde atılan adım sayısındaki artışla, kişilerin iş yükü de artmıştır ve bu artışla beraber kullanabildikleri enerji miktarı yükselmiştir. Bu koordineli artış, enerji optimizasyonu için olumlu bir gösterge olarak düşünülebilir. İş yükleri yani adım sayısı veya saha testindeki mesafe sabit tutularak yapılacak ölçümlerde, Czerniecki ve ark.’nın çalışmalarında bahsettikleri amputasyon seviyesiyle artan metabolik enerji harcamasının azaltılabilmesi yönünde kanıt sağlayacaktır. Mevcut çalışmada, atılan adım sayısı ve kullanılabilen enerjini miktarındaki artışın 2 grup arasında farklı bulunmayışı, yürüyüş mesafesi ve harcanan enerji optimizasyonu için egzersiz müdahalesinin gerekli olduğunu gösterse de mevcut çalışmanın sonucuna göre spinal stabilizasyon eğitimi bu konuda bir fark oluşturmamaktadır.

Çalışma sonuçlarının bütünü göz önüne alındığında, amputasyonu olan bireylerin uzun dönem rehabilitasyonu ve rekreasyonel aktivitelere katılımları da düşünüldüğünde spinal stabilizasyon egzersizlerinin uygulanmasının etkili olacağı düşünülmektedir.

Çalışmamızdaki kişi sayısının birincil limitasyon olduğunu düşünüyoruz. Daha fazla katılımcı sayısı ile çalışmanın tekrarlanabilmesi mümkündür. İkinci olarak, mevcut çalışmada enerji harcaması ölçümü için egzersiz yükünü sabit tutmadık ve sonuç olarak egzersiz kapasitesindeki artışa paralel olarak egzersiz testi sırasında atılan adım sayısı da arttı. İleride yapılacak çalışmalarda, enerji harcamasının izole olarak değerlendirilebilmesi için sabit adım sayısında veya sabit bir mesafede yapılacak egzersiz testi ile çalışmanın tekrarlanabilir. Son olarak, amputasyondan sonra uygulanacak egzersiz müdahalelerinin gerekliliğini ve mevcut çalışmanın sonuçlarını düşünecek olursak, ileride yapılacak çalışmalarda spinal stabilizasyon egzersizlerinin, yürüyüş gibi mobiliteyi içeren farklı aktiviteler açısından da değerlendirilmesinin literatüre katkı sağlayacağını düşünüyoruz.

SONUÇ

Spinal stabilizasyon eğitiminin dâhil edildiği egzersiz programı, fonksiyonel egzersiz kapasitesini ve protezle algılanan mobilite düzeyini iyileştirmede, klasik egzersiz programına göre daha başarılı bulunmuştur. Ayrıca spinal stabilizasyon egzersizlerin dâhil edildiği egzersiz programı sonucunda, egzersiz kapasitesiyle beraber yorulmadan ulaşılabilen mesafe ve kullanabilen maksimal enerji miktarı artmıştır. Spinal stabilizasyon egzersizlerinin amputasyonu olan bireylerin, egzersiz programına dâhil edilmesi gerektiğini düşünmekteyiz. İleride bu konu ile ilgili yapılacak bu tür değerlendirme ve çalışmaların daha geniş örneklem büyüklüğü ile yürütülmesini tavsiye ediyoruz.

Finansal Kaynak

Bu çalışma sırasında, yapılan araştırma konusu ile ilgili doğrudan bağlantısı bulunan herhangi bir ilaç firmasından, tıbbi alet, gereç ve malzeme sağlayan ve/veya üreten bir firma veya herhangi

bir ticari firmadan, çalışmanın değerlendirme sürecinde, çalışma ile ilgili verilecek kararı olumsuz etkileyebilecek maddi ve/veya manevi herhangi bir destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması

Bu çalışma ile ilgili olarak yazarların ve/veya aile bireylerinin çıkar çatışması potansiyeli olabilecek bilimsel ve tıbbi komite üyeliği veya üyeleri ile ilişkisi, danışmanlık, bilirkişilik, herhangi bir firmada çalışma durumu, hissedarlık ve benzer durumları yoktur.

Yazar Katkıları

Fikir/Kavram: Fatih Erbahçeci, Senay Çerezci Duygu; **Tasarım:** Fatih Erbahçeci, Neslihan Durutürk; **Denetleme/Danışmanlık:** Fatih Erbahçeci, Neslihan Durutürk, Oya Ümit Yemişçi; **Veri Toplama ve/veya İşleme:** Fatih Erbahçeci, Senay Çerezci Duygu; **Analiz ve/veya Yorum:** Neslihan Durutürk, Oya Ümit Yemişçi; **Kaynak Taraması:** Senay Çerezci Duygu, Oya Ümit Yemişçi; **Malzemenin Yazımı:** Senay Çerezci Duygu, Neslihan Durutürk; **Eleştirel İnceleme:** Fatih Erbahçeci, Oya Ümit Yemişçi; **Kaynaklar ve Fon Sağlama:** Senay Çerezci Duygu; **Malzemeler:** Fatih Erbahçeci.

KAYNAKLAR

- Şener G, Erbahçeci F. Protezler Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Güncel Teknolojiler Uygulamalar. 3. Baskı. Ankara: Hipokrat Kitabevi; 2015. [Link]
- Wasser JG, Herman DC, Horodyski M, Zaremski JL, Tripp B, Page P, et al. Exercise intervention for unilateral amputees with low back pain: study protocol for a randomised, controlled trial. *Trials*. 2017;18(1):630. [Crossref] [PubMed] [PMC]
- McDonald CL, Kramer PA, Morgan SJ, Halsne EG, Cheever SM, Hafner BJ. Energy expenditure in people with transtibial amputation walking with crossover and energy storing prosthetic feet: A randomized within-subject study. *Gait Posture*. 2018;62:349-354. [Crossref] [PubMed]
- Pinzur MS, Gold J, Schwartz D, Gross N. Energy demands for walking in dysvascular amputees as related to the level of amputation. *Orthopedics*. 1992;15(9):1033-6; discussion 1036-7. [Crossref] [PubMed]
- Gailey RS, Wenger MA, Raya M, Kirk N, Erbs K, Spyropoulos P, et al. Energy expenditure of trans-tibial amputees during ambulation at self-selected pace. *Prosthet Orthot Int*. 1994;18(2):84-91. [Crossref] [PubMed]
- Aytar A, Pekyavas NO, Ergun N, Karatas M. Is there a relationship between core stability, balance and strength in amputee soccer players? A pilot study. *Prosthet Orthot Int*. 2012;36(3):332-8. [Crossref] [PubMed]
- Mutlu A, Kharooty MD, Yakut Y. The effect of segmental weight of prosthesis on hemodynamic responses and energy expenditure of lower extremity amputees. *J Phys Ther Sci*. 2017;29(4):629-34. [Crossref] [PubMed] [PMC]
- Richardson CA, Jull GA, Hodges PW, Hides JA, et al. Therapeutic Exercise for Spinal Segmental Stabilization in Low Back Pain: Scientific Basis and Clinical Approach. Edinburgh: Churchill Livingstone. 1999. [Link] [1999, accessed 7 August 2020].
- Kibler WB, Press J, Sciascia A. The role of core stability in athletic function. *Sports Med*. 2006;36(3):189-98. [Crossref] [PubMed]
- Akuthota V, Ferreiro A, Moore T, Fredericson M. Core stability exercise principles. *Curr Sports Med Rep*. 2008;7(1):39-44. [Crossref] [PubMed]
- McGill SM, McDermott A, Fenwick CM. Comparison of different strongman events: trunk muscle activation and lumbar spine motion, load, and stiffness. *J Strength Cond Res*. 2009;23(4):1148-61. [Crossref] [PubMed]
- Borghuis J, Hof AL, Lemmink KA. The importance of sensory-motor control in providing core stability: implications for measurement and training. *Sports Med*. 2008;38(11):893-916. [Crossref] [PubMed]
- Kobesova A, Kolar P. Developmental kinesiology: Three levels of motor control in the assessment and treatment of the motor system. *J Bodyw Mov Ther*. Epub ahead of print 2013. 2014;18(1):23-33. [Crossref] [PubMed]
- Corio F, Troiano R, Magel JR. The effects of spinal stabilization exercises on the spatial and temporal parameters of gait in individuals with lower limb loss. *J Prosthetics Orthot* 2010;22(4):230-6. [Crossref]
- Nesser TW, Lee WL. The relationship between core strength and performance in Division I female soccer players. *J Exerc Physiol Online*. 2009;12(2):21-7. [Link]
- Gaffney BMM, Christiansen CL, Murray AM, Davidson BS. Trunk movement compensations and corresponding core muscle demand during step ambulation in people with unilateral transtibial amputation. *J Electromyogr Kinesiol*. 2018;39:16-25. [Crossref] [PubMed] [PMC]
- Grosbois JM, Riquier C, Chehere B, Coquart J, Béhal H, Bart F, et al. Six-minute stepper test: a valid clinical exercise tolerance test for COPD patients. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2016;11:657-63. [Crossref] [PubMed] [PMC]

18. American Thoracic Society; American College of Chest Physicians. ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. *Am J Respir Crit Care Med.* 2003;167(2):211-77. Erratum in: *Am J Respir Crit Care Med.* 2003;1451-2. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
19. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 1982;14(5):377-81. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
20. Cairns MC, Harrison K, Wright C. Pressure biofeedback: A useful tool in the quantification of abdominal muscular dysfunction? *Physiotherapy* 2000;86(3):127-138. [[Crossref](#)]
21. Hwang YI, Kim JJ, Park DJ. The preferential contraction ratios of transversus abdominis on the variations of knee angles during abdominal drawing-in maneuver in wall support standing. *J Exerc Rehabil.* 2014;10(2):100-5. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
22. Safer VB, Yavuzer G, Demir SO, Yanikoglu I, Guneri FD. The prosthesis evaluation questionnaire: reliability and cross-validation of the Turkish version. *J Phys Ther Sci.* 2015;27(6):1677-80. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
23. Liebenson C. Spinal stabilization training: the transverse abdominus. *J Bodyw Mov Ther* 1998;2(4):218-23. [[Crossref](#)]
24. Shojaei I, Hendershot BD, Wolf EJ, Bazgari B. Persons with unilateral transfemoral amputation experience larger spinal loads during level-ground walking compared to able-bodied individuals. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2016;32:157-63. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
25. Fredericson M, Moore T. Muscular balance, core stability, and injury prevention for middle- and long-distance runners. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2005;16(3):669-89. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
26. Shin MK, Yang HS, Yang HE, Kim DH, Ahn BR, Kwon H, et al. Effects of Lumbar Strengthening Exercise in Lower-Limb Amputees With Chronic Low Back Pain. *Ann Rehabil Med.* 2018;42(1):59-66. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
27. Wasser JG, Vincent KR, Herman DC, Vincent HK. Potential lower extremity amputation-induced mechanisms of chronic low back pain: role for focused resistance exercise. *Disabil Rehabil.* 2020;42(25):3713-21. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
28. Cresswell AG, Oddsson L, Thorstensson A. The influence of sudden perturbations on trunk muscle activity and intra-abdominal pressure while standing. *Exp Brain Res.* 1994;98(2):336-41. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
29. Hodges PW, Richardson CA. Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain. A motor control evaluation of transversus abdominis. *Spine (Phila Pa 1976).* 1996;21(22):2640-50. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
30. Murray AM, Gaffney BM, Davidson BS, Christiansen CL. Biomechanical compensations of the trunk and lower extremities during stepping tasks after unilateral transtibial amputation. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2017;49:64-71. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
31. Czerniecki JM, Morgenroth DC. Metabolic energy expenditure of ambulation in lower extremity amputees: what have we learned and what are the next steps? *Disabil Rehabil.* 2017;39(2):143-151. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]