

SYSTEMATIC REVIEW

Ampute atletler tarafından kullanılan alt ekstremitte protezleri: Sistemik derleme

Tamer Çankaya¹, Ömer Dursun¹, Aysun Vural²

Özet: Bu çalışmanın amacı ampute atletler tarafından amputasyon seviyesine göre tercih edilen spor ve protez türleri ile kronolojik değişimlerini mevcut çalışmalarını sistemik olarak analiz edip inceleyerek değerlendirmektir. Çalışma kapsamında incelenecek makalelerin belirlenmesinde Google Akademik, Pub Med ve Science Direct adlı elektronik veri tabanları kullanıldı. İlgili veri tabanlarında "Paralympic Prosthesis", "Elite Sport Prosthesis", Athlete Sprinter Prosthesis", "Cycling Amputee" ve "Cheetah Prosthesis" anahtar kelimeleri kullanılarak literatür taraması yapıldı. Tarama İngilizce dilindeki makaleleri kapsadı. Anahtar kelimeler kullanılarak ulaşılan sonuçlar doğrultusunda raporlama özelliklerinin değerlendirmesinde 27 maddeli PRISMA bildirimini kullanıldı. Makalelerin genel incelemesinde gerekli koşulları sağlayan makaleler oluşturulan tabloya aktarıldı. Derlemeye 19 çalışma dahil edildi. Dahil edilen çalışmaların incelemesinde çalışmaların büyük bir bölümünün transtibial (%86) ampute sporcuları içerdiği görüldü. Transtibial ampute sporcular tarafından tercih edilen sporların sırasıyla; koşu, sprint, uzun atlama, yürüme ve bisiklet olduğu belirlendi. Konuya dair çalışmaların kronolojik incelemesinde ise; son 3 yılda yapılan çalışmaların geçen yıllara kıyasla gerek çalışma sayısı gerekse çalışmaya dahil edilen ampute sporcu sayısı açısından fazla oluşudur. Son üç yılda konuya dair yapılmış olan çalışmalar mevcut çalışmaların %57,89'unu oluşturmaktadır. Geçmişten günümüze ampute atletlerin spor branşları, amputasyon seviyesi ve kullandıkları protez her ne kadar sabit kalıyor gözükse de protez karakteristiğindeki değişimler farklı seviyede amputelerin de spora katılımını sağlayarak ampute spor branşları yelpazesini genişletmektedir.

Anahtar kelimeler: Ampute, atlet, spor protezi, paralimpik.

Lower limb prosthesis used by amputee athletes: Systematic review

Summary: The aim of this study was to assess preferred prosthesis and sport types of the amputee athletes according to amputation level by analyzing the available studies.

Electronic data bases entitle with Google academic, PubMed and Science Direct were used for the determination of articles that will be analyzed in extent of the study. Literature search performed by using "Paralympic Prosthesis", "Elite Sport Prosthesis", Athlete Sprinter Prosthesis", "Cycling Amputee", and "Cheetah Prosthesis" keywords in related data bases. Screening was only included articles in English. Results obtained from keywords assessed by PRISMA which consists of 27 sub-sections. In general examination, articles, ensure necessary terms transferred to the table. 19 studies were included into the review. In examination of the included studies, it was observed that most of the studies (86%) consisted of transtibial amputee athletes. It was determined preferred sports of the transtibial amputees in order by, running, sprint, long jump, walking and cycling. In chronological analysis, number of studies and participants in last 3 years were much more compared to previous years. Studies of last 3 years consists 57.89% of the present studies. Although sport branches, amputation level and prosthesis type seem to be stable, due to changes in prostheses characteristics in time, amputees with a varying level of amputation participate to the sport and this improves the sport branches.

Keywords: Amputees, athletes, sport prostheses, paralimpic.

Çankaya T, Dursun Ö, Vural A. Ampute atletler tarafından kullanılan alt ekstremitte protezleri. Zeugma Health Res. 2021;3(1):39-52. *Lower limb prosthesis used by amputee athletes*

1: Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Bolu/Türkiye.

2: Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı, Bolu/Türkiye.

Corresponding author: Tamer Çankaya: tamercankaya@hotmail.com

ORCID ID: 0000-0002-0871-2470

Received: November 11, 2020. Accepted: March 18, 2021.

Dünya nüfusunun %25'i doğrudan ya da dolaylı olarak bir çeşit engelliliğe sahiptir. Engelli bireyler için bazen boş zaman aktiviteleri elit düzeydeki fiziksel aktivitelerdir. Spor yapmak kişinin fiziksel bağımsızlığını, bireysel yeterliliğini kazanmasını ve fiziksel engelin potansiyel zararlarının kontrol altında tutulmasını sağlar. Engelli sporunun en önemli amacı, rehabilitasyon ve sosyalleşmedir [1-3]. Birçok araştırmada protezlerin biyomekanik veya fizyolojik performans üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması ve protezlerin mekanik özellikleri amputeden bağımsız olarak ele alınmadığı görülmektedir [4-10].

Alt ekstremitte amputasyonu olan bireylerin %11 ila %61'i spor veya fiziksel aktivitelere katılmaktadır [11,12]. Ampute bireylerin spor tercihinde, cinsiyet, enerji gereksinimi ve protez türü belirleyici olmakla birlikte daha çok; yüzme, golf, yürüyüş ve bisiklet gibi sportif aktiviteler tercih edilmektedir [11-16]. Profesyonel anlamda tercih edilen spor branşlarının başında ise; koşu ve bisiklet gelmektedir [17-22].

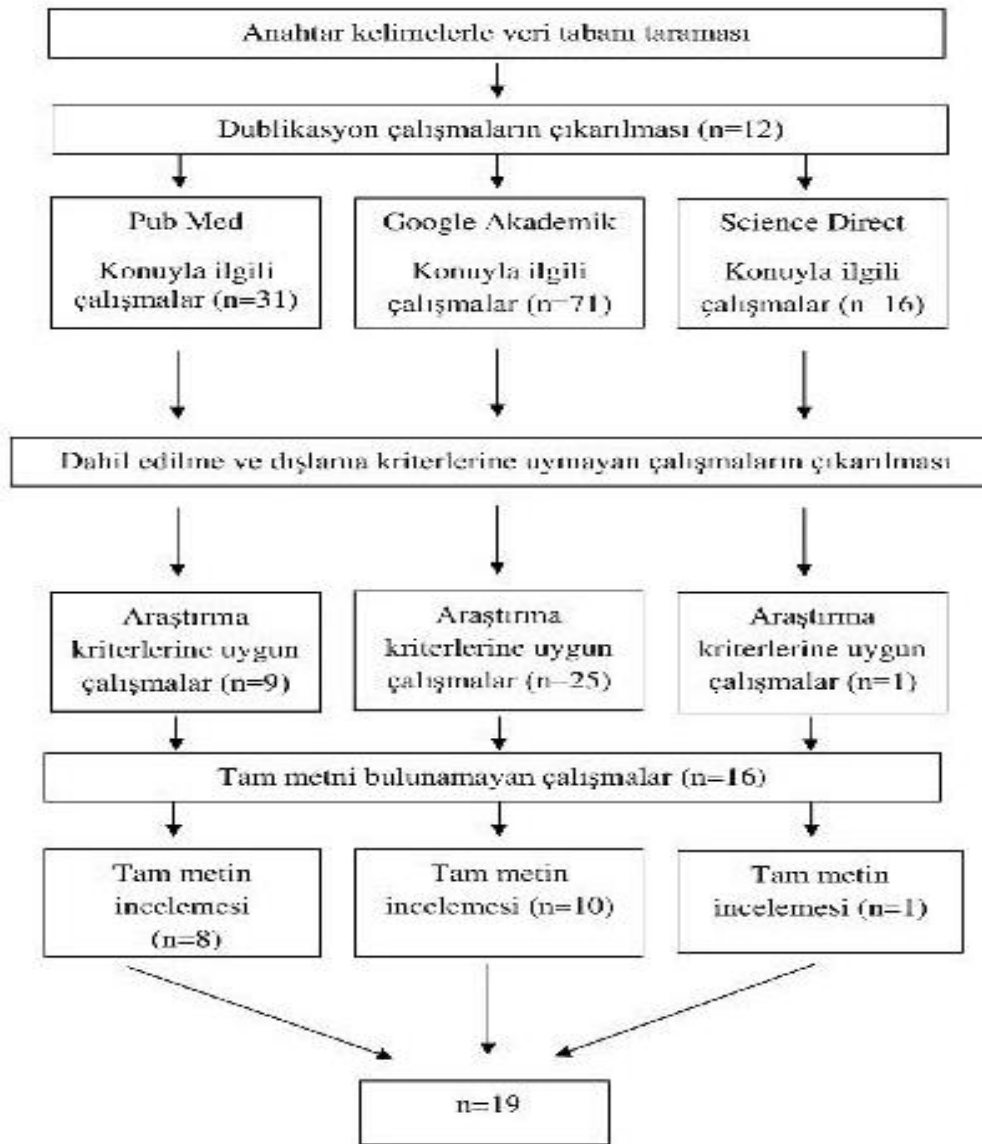
Kısa mesafe koşucusu ampute atletlerde, yarışmaya başlangıç fazı, ampute olmayan atletlerde olduğu gibi, başarı için aynı öneme sahiptir [23]. Bu yüzden ampute sporcular tarafından kullanılan protezler, atlet tarafından oluşturulan hızı ve enerjiyi piste aktaracak şekilde tasarlanmıştır. "Koşu protezleri" (KP)", alt ekstremitte amputasyonu olan sporcularda 1992'den beri tercih edilen bir protezdur. Bununla birlikte, KP'lerin özellikleri hakkında çok az literatür bulunmaktadır. Bu özel protezler üç ana parçaya sahiptir: Protezi vücuda bağlayan bir soket ve liner, diz eklemi ve karbon fiber parça. Koşu esnasında sadece ayağın ön kısmı kullanılır, bu nedenle karbon fiber parça, sadece ön ayağın işlevini yapmak için tasarlanmıştır [24]. Bu karbon fiber protez ayağın doğası, enerji depolaması ve enerjinin yüksek oranda geri dönüşümüdür. Böylece, yerini aldığı kayıp ekstremitenin işlevini taklit eder [25,26].

Bu derleme sporcuların kullandıkları protezleri ve tercih ettikleri spor branşlarını sistematik olarak incelemek, protezlerin ve spor branşlarının zaman içerisindeki gelişimi ve değişimi ortaya koyarak özelliklerini değerlendirmek amacıyla tasarlanmıştır.

YÖNTEM

Bu sistematik derlemede, 1999-2019 yılları arası yayımlanmış 118 makale incelenmiştir. Sırasıyla Google Akademik, Pub Med ve Science Direct adlı elektronik veri tabanlarında; "Paralympic Prosthesis", "Elite Sport Prosthesis", "Athlete Sprinter Prosthesis", "Cycling Amputee" ve "Cheetah Prosthesis" kelime grupları kullanılarak literatür taraması yapıldı. Tarama İngilizce dilindeki makaleleri kapsadı. Anahtar kelimeler kullanılarak ulaşılan makalelerin başlık ve özetleri araştırmacı tarafından bağımsız olarak gözden geçirilmiştir. Makalelerin raporlama özelliklerini belirlemek için 27 maddelik PRISMA bildirgesi formu kullanıldı (Şekil 1). Her bir elektronik veri tabanı için araştırmalar depolandı ve benzer araştırmalar derlemeye dahil edilmedi. Makalelerin genel incelemesi yapılırken araştırmaya dahil edilme kriterleri olarak; ampute sporcuları inceleyen klinik araştırma olması, sporla ilgili protez incelemesi yapması, alt ekstremitte ampute ve protezlerini incelemesi ve tam metnine ulaşılabilir olması şeklinde, dışlama kriterleri ise; konuyla ilgili yapılan tez çalışmaları, olgu sunumları, devam eden çalışmalar, kongrelerde sunulan sözel bildirimler ve in-vitro çalışmaları olarak belirlendi. İncelemeler sonrası gerekli koşulları sağlayan makaleler oluşturulan tabloya aktarıldı (Tablo 1,2). Tablolar:

- Yazar/Yayın Yılı
- Amputasyon Seviyesi
- Katılımcı Sayısı
- Kullanılan Protez
- Kullanılan Spor
- Sonuç olmak üzere 6 sütundan oluşuyordu. Bu bilgileri içermeyen makaleler elendi.



Şekil 1. Çalışmanın PRISMA akış diyagramı

BULGULAR

Derlemeye dahil edilme kriterleri doğrultusunda Pub Med veri tabanında 31, Google Akademik veri tabanında 71, Science Direct veri tabanında 16 makale olmak üzere toplam 118 makalenin tam metnine ulaşıldı. Bu makalelerin hepsi bulunduğu veri tabanına göre ayrı dosyalar şeklinde kayıt altına alındı. 118 çalışmanın incelenmesi sonucu gerekli koşullardan 1 tanesini sağlamayan 21 makale, 2 tanesini sağlamayan 8 makale, 3 tanesini sağlamayan 15 makale ve 4 koşulu sağlamayan 38 makale çalışmaya alınmadı. Bu inceleme sonrasında Pub Med veri tabanından 9, Google Akademik veri tabanından 25, Science Direct veri tabanından 1 makale tabloya eklendi. Daha sonra yapılan ayrıntılı değerlendirme sonucunda katılımcı sayısı 1, 2 veya 3 ile sınırlı kalan makaleler çalışmamıza uygun bulunmadığı için dışlandı. Sonuç olarak çalışmamız 19 makalenin ayrıntılı incelenmesiyle tamamlandı (Tablo 1,2).

Tablo 1. 2016 yılına kadar olan çalışmaların yıl, amputasyon seviyesi, protez ve spor türüne göre dağılımı

N	Yazar/Yıl	Seviyesi	Kişi Sayısı	Protez	Spor	Sonuç
1	John G. Buckley 1999	Transfemoral Transtibial	1 UTF 4 UTT 5 N	-Endolite Hi, -Flex-Foot Modüler III	Sprint	Transtibial amputelerin ayak bileği açılma değeri sağlam ekstremite ayak bileği açılma değeriyle non ampute bireylerin ayak bileği açılma değeri ile benzerlik göstermektedir. Transtibial amputelerin protez ekstremite kinematiği sağlam ekstremite kinematiği ile benzerlik göstermektedir. Transtibial amputeler sprint için tipik “up-on-the-toes” yürüyüşü geliştirmektedirler.
2	Brendan Burkett ve ark. 2001	Transfemoral	4 UTF	-Rijit, esnek ischial seki destekli, vakum süspansiyonlu koşu protezi	Koşu	Transfemoral amputelerde protezin diz eksenini yerinin düşürülmesi protezin sallanma süresini azaltmaktadır.
3	W. L. Childers ve ark 2011	Transtibial	8 UTT	Stiff and flexible prosthetic foot	Bisiklet	Amaç protez kullananların, amputasyon veya protezin dizaynı ile ilgili zorluklarını vurgulamak için insan/protez ara yüzünün kontrolünde kullandığı stratejileri araştırmaktır. Sonuçta, ekstremite kaybı olan bireylerin, değişmiş kas-iskelet sistemini ve protezin mekanik özelliklerini telafi edebildiğini ve performans için benzer bir pedal çevirme tekniğini kullanabileceğini göstermektedir. Global stratejiler gruplar arasında benzer gözüktüğü için, gelecek araştırmalar sağlam ve etkilenen ekstremitelerin her birinde kullanılan lokal stratejilere odaklanmalıdır.
4	L. Nolan ve ark. 2011	Transtibial	16 UTT	Carbon fibre sprint type	Uzun Atlama	Çalışmaya cerrahlar tarafından tavsiye edilen en kısa korunmuş (15 cm) uzunluktan ayak bileği amputasyonuna kadar olan Transtibial ampute sporcular dahil edildi. Sonuçta uzun atlama performansını etkileyenin güdük uzunluğu olmadığı sonucuna varılabilir. Bunun yerine, yetenek, teknik, protez ve eğitimin daha önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir. Güdük uzunluğu ve kilit performans değişkenleri arasındaki ilişkinin, protezle atlayan sporcular arasında daha güçlü olduğu dikkati çekmektedir.

5	C. P. McGowan 2012	Transtibial	8 UTT 12 N	- Cheetah - Sprinter - C-Sprinter	Sprint	Bacak sertliği, temas süresi ve ayak zemin kuvvetiyle ilişkili önemli bir parametredir. Protezin sabit sertliği, protezle çalışması gereken ekstremitelerde duruşundaki farklılıklar ile birleşince, bacak sertliğini modüle etme kabiliyetini sınırlaması muhtemeldir. Bundan başka, hız boyunca bacak sertliğini korumak veya arttırmak mümkün olmadığından, sprint sırasında yüksek dikey zemin reaksiyon kuvvetleri, uygulama kabiliyetini sınırlar. *KP sertliklerini modüle etme yeteneği de muhtemelen hızlanma ve maksimum hıza erişme kabiliyetini bozar. Böylece, duruş anında adım adım sertlik ayarlamaları yapmayı sağlayan bir KP, kullanıcıların daha iyi sprint performansı elde etmelerini sağlayabilir.
6	L. Nolan ve ark. 2012	Transtibial	10 UTT	Carbon Fibre Prosthesis	Uzun Atlama	5'i ampute 5'i sağlam bacakla yapılan atlama tekniklerinin kinematik karşılaştırılması (video analiz). İki grup arasında sıçrama mesafesi, yaklaşma hızı veya dikey hız açısından farklılık görülmedi. Kalkış tahtasıyla temas halindeyken, iki grup benzer bir dikey hız kazandı. Bununla birlikte, TOprosth grubu, daha önceki çalışmalarda TOintact grubu ve atletler tarafından gösterilen geniş kalça ve diz hareket aralığını en aza indirmek suretiyle, protezin bir "sıçrama tahtası" olarak kullanılmasıyla yatay hızı korumaktadır.
7	H. Hobara ve ark. 2014	Transtibial	8 UTT 8 N	Carbon Fibre Running Specific	Koşu	Bu çalışmanın amacı, çeşitli hızlarda KP'leri kullanarak alt ekstremitelerde amputasyonlu koşuculardaki düşey zemin reaksiyon kuvvetini araştırmaktır. KP'ler, spor faaliyetlerine aktif olarak katılmayı sağlar. Buna rağmen, koşu sırasındaki anormal yük nedeniyle potansiyel yaralanma riskleri konusunda kapsamlı olarak değerlendirilmemiştir. Bu çalışmanın sonuçları hem ampute hem de sağlıklı koşuculardaki yüklenme değişkenlerinin artan koşu hızıyla arttığını düşündürmektedir. Amputenin sağlam uzvunda değişken yüklenmesi, protez ekstremitelerinden ve sağlıklı atletlerin ekstremitelerinden daha büyüktü.

8	O. N. Beck ve ark. 2016	Transtibial	11 UTT	-C şekilli KP -J şekilli KP	Koşu	KP'nin kuvvet-yer değiştirme profillerinin eğrisel olduğunu ve bu da protez sertliğinin uygulanan kuvvetin büyüklüğüne göre değiştiğini ortaya koydu. Bununla birlikte, doğrusal bir kuvvet-yer değiştirme karakterizasyonu öngörüldü. Üreticinin önerdiği protez sertliğinin modeller arasında değiştiğini ve J şeklindeki KP'lerin yüksekliğinin sertlik ile ters orantılı olduğunu bulduk. Protez sertliğinin 0°de, koşu sırasında meydana gelen açıları temsil eden açılardan daha iyi olduğuna dair kanıtlar sunmaktayız. Bacak amputasyonları olan sporcular protez modelleri, boy ve/veya sagittal düzlem hizalamasını değiştirdiklerinde protez sağlamlığı da değişir; dolayısıyla konfor, performans vb. farklılıklar dolaylı olarak rijitlik değişikliğinden kaynaklanıyor olabilir.
9	P. Taboga ve ark. 2016	Transtibial	11 UTT 6 N	-Ottobock Sprinter -Cheetah -FlexFoot Sprint -Catapult -FlexRun	Koşu	Ampute olmayan ve ampute atletler, düz koşu ile karşılaştırıldığında eğimli zeminde üzerinde daha yavaş koştu. Eğimli zeminde yavaş koşma hızı öncelikle uzun temas sürelerinden ve yalnızca havadaki zamanlarını kısmen azalttığından kaynaklanmaktadır. Her iki grup da eğimde adım uzunluğunu azalttı ve her iki yönde de basamak frekansını azalttı. Sprinterlerin amputasyon ile performansı, eğrinin içindeyken etkilenen bacakları ile güç üretme kabiliyetleri nedeniyle en fazla zarar görmüş ve daha hızlı etkilenen bacak salınım zamanlarını tam olarak telafi edememişlerdir.

*KP: Koşu protezleri GRF: Yer reaksiyon kuvveti U-BTT: Unilateral-bilateral transtibial U-BTF: Unilateral-bilateral transfemoral

Tablo 2. 2017 yılı ve sonrasındaki çalışmaların yıl, amputasyon seviyesi, protez ve spor türüne göre dağılımı

N	Yazar/Yıl	Seviyesi	Kişi Sayısı	Protez	Spor	Sonuç
1	L. M. Oudenhoven ve ark. 2017	Transtibial	7 UTT	Össur FlexRun	Koşu	Farklı adım frekanslarında ve hızlarda koşarken sporcular bacaklarını olabildiğince KP' nin doğal frekansına uyacak şekilde sıkı tutmaya çalışabilirler. Protez bacağın alt bacak sertliği değişiklikleri, KP'nin sabit özelliklerinden dolayı minimaldir. Aksine, kalıcı dizin sertlik düzenlenmesinde önemli bir rol oynaması beklenebilir. Bununla birlikte, elde ettiğimiz sonuçlar, bu katkının sınırlı olduğunu düşündürmektedir. Protez bacağın dizindeki net eklem momenti ve açısal deplasman, sağlam bacak ile kıyaslandığında nispeten küçüktü ve basamak frekansı ile değişme görünmüyordu. Üstelik, protez diz çoğu çalışmada yay benzeri davranış sergilemedi.
2	A. Makimoto ve ark. 2017	Transfemoral	9 UTF	Sprinter 1E90	100 m Koşu	Bu çalışmanın tek taraflı transfemoral amputelerde sprint esnasında sağlam ve protezli taraf arasındaki yer reaksiyon kuvvetlerini karşılaştırmaktı. Dahası, protezli tarafta sağlam tarafa kıyasla önemli ölçüde daha az frenleme uyarısı gözlenmiştir. Düşey, frenleme, itici ve medial yönlerde zirve kuvvetleri protez ekstremitelerinkinden daha yüksek olduğu halde bacaklar arasındaki tepe lateral kuvvette anlamlı bir farklılık yoktu. Bu çalışmanın sonuçları, KP giymeden önce amputeler için ekstremiteye özgü rehabilitasyon ve eğitim stratejilerinin geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir.
3	O. N. Beck ve ark. 2017	Transtibial	5 BTT	Passive-Elastic KP	-Sprint -Uzun Mesafe Koşu	Koşu bandında bilateral transtibial amputasyonlu beş sporcunun koşu biyomekaniğine protezin sertlik, yükseklik ve hız etkilerini nicelleştirilmiştir. Sertlik ile hareket hızı ters orantılı bulundu. Bilateral transtibial amputasyonlu sporcular, rijitlik, yükseklik ve farklı hızlarda farklı KP'ler kullanırken, koşu biyomekaniğini değiştirirler. Sert KP'lerin kullanımı, frekansı, tepe ve ortalama dikey GRF ve zemin temas süresini azaltmıştır. Daha uzun KP'ler adım uzunluğunu arttırdı.

4	Y. Sano ve ark. 2017	Transfemoral	8 UTF	Carbonfibre KP	Sprint	Bu çalışmanın amacı sprint sırasında KP kullanan transfemoral amputelerin sağlam ve protez bacaklarında bacak sertliğinin farklı şekilde modüle edilip edilemeyeceğini test etmektir. Sekiz tek taraflı transfemoral ampute, maksimum sprint gerçekleştirdi. Sağlam ve protez bacaklardaki kinetik ve kinematik verilerden bacak sertliği hesaplandı. Sonuçlar, protez uzvunun bacak sertliğinin sağlam bacağına kıyasla yaklaşık %12 azaldığını gösterdi. Bu sonuçlar, KP'leri olan transfemoral amputelerdeki bacak sertliğinin asimetric modülasyonunun, temelde asimetric yer reaksiyon kuvveti ile ilişkili olduğunu göstermektedir.
5	O. N. Beck ve ark. 2017	Transtibial	10 UTT	-Catapult FX6 -Flex-Run - 1E90 Sprinter	Koşu	Protez model, sertlik ve yüksekliğin koşmanın biyomekanik ve metabolik maliyetlerini nasıl etkilediğini araştırdık. Sporcular, modele göre beş farklı sertlik kategorisi ve yükseklik kombinasyonu ile üç farklı protez modeli kullanarak koşular. Bir 1E90 Sprinter protezinin kullanılması, Catapult ve Flex-Run kullanımına kıyasla metabolik maliyeti %4,3 ve %34 azalttı. Koşmanın metabolik maliyeti, zirve zemin reaksiyon kuvvetleri, zemin temas süreleri ve duruş ortalaması ve bacak bükülmelerinde azalma ile ilişkili idi. Metabolik maliyet, daha simetrik tepe dikey zemin reaksiyon kuvvetleri ile azaldı, ancak simetrik adım kinematiği ile ilgisizdi. Genel biyomekanikini geliştiren optimal bir protez modeli, tek taraflı transtibial amputasyonlu atletler için koşu metabolik maliyetini en aza indirir.
6	J. R. Jeffers ve ark. 2015	Transtibial	15 UTT 6 BTT	KP (15 farklı model, yükseklik ve sertlik kombinasyo nu)	Yürüyüş Koşu Sprint	Yürüyüş için metabolik maliyette herhangi bir farklılık görülmedi. Koşu ve Sprint için tek taraflı amputasyonlarda KP yüksekliği ve tepe dikey GRF asimetrisinin azalması, koşucuların metabolik maliyetlerini düşürdü. KP sertliğini azaltmak, bilateral bacak amputasyonları olan koşucular için metabolik maliyetleri düşürdü. Temas süresini kısaltmak ve tek taraflı amputasyonlar ile sprinterlerde, tepe dikey GRF artırılarak daha hızlı tepkiler elde edildi. Kısa KP'ler, bilateral bacak amputasyonları olan sprinterlerde en üst hızı geliştirdi. Bu nedenle, KP mekanik

						özelliklerini optimize etmek bacak amputasyonlu atletlerde performansı artırdı.
7	O. N. Beck ve ark. 2017	Transtibial	5 BTT	-Catapult FX6 -Flex-Run - 1E90 Sprinter	Koşu	Prostetik sertlik, net metabolik maliyeti etkiledi; daha az sert protez, metabolik maliyeti düşürür fakat yükseklik etkilemez. Dikkat çekici bir şekilde, sporcular genel bacak sertliğini korumadı. Aksine, diz üstü protez sertliği genel bacak sertliğine bağlıdır. Bilateral transtibial atletlerde koşma metabolik maliyeti, protez modeli ve rijitlikten etkilenir, ancak yükseklikten etkilenmez.
8	Hobara H ve ark. 2017	Transtibial	14 UTT 22 N	-Cheetah Xtreme -Cheetah -1E90 Sprinter	Sprint	Non-ampute bireylerin boy uzunluğu ile ortalama adım uzunluğu ve frekansı arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Bununla birlikte ampute bireylerin boy uzunluğu ile spatiotemporal parametleri arasında herhangi bir ilişki bulunmamaktadır.
9	Li Y ve ark. 2018	Transtibial	13 UTT	-Cheetah Sprinter (OttoBock) -Symes-Sprint (Össur)	Sprint	Protezli tarafın diğer tarafla karşılaştırmasında ağırlık aktarma ve aktarmama durumlarında sırasıyla artan ve azalan diz fleksiyonu görülmektedir. Destek fazı yer değiştirmesinde ampute ekstremitede azalmış kalça ekstansiyonu görülmektedir.
10	Funken J, 2019	Transtibial	3 UTT 7 N	-Cheetah Xtreme	Uzun atlama	Ampute sporcular non amputelere kıyasla protez ayaklarını daha laterale doğru yerleştirmektedir. Non-amputelerle kıyaslandığında amputelerin duruş fazı boyunca sagittal düzlem kalça ve diz hareketlerinin daha az olduğu görülmektedir, fakat basma fazında ise ayak ve bacakta büyük oranda kısılma görülmektedir.

*KP: Koşu protezleri, GRF: Yer reaksiyon kuvveti U-BTT: Unilateral-bilateral transtibial U-BTF: Unilateral-bilateral transfemoral

Derlemeye dahil edilen 19 çalışmanın 16 (%84) tanesinin transtibial ampute sporcular, 3 (%16) tanesinin ise transfemoral ampute sporcular üzerine olduğu saptandı. Transtibial ampute sporcularla ilgili çalışmalardan 1 (%6,25) tanesinin bisiklet, 1 (%6,25) tanesinin yürüme, 3 (%18,75) tanesinin uzun atlama, 6 (%37,5) tanesinin sprint ve son olarak 9 (%56,25) tanesinin koşu sporu üzerine olduğu belirlendi. İlgili çalışmaların 124 erkek, 20 kadın ve cinsiyet verisi verilmeyen 10 ampute sporcu olmak üzere toplam 154 transtibial ampute sporcu kapsadığı görüldü. Transtibial ampute erkek sporcuların 107'si unilateral transtibial ampute, 17'si ise bilateral transtibial amputeydi. Kadın transtibial amputelerin ise 20'si unilateral, 1'i ise bilateral transtibial ampute olarak dağılım gösterdi. Transtibial ampute sporcu çalışmalarına dahil edilen bireylerin yaş ortalamalarına bakıldığında; ortalama hesaplaması için toplam 5 tane makalenin sporcuların yaşlarını veri olarak paylaştığı, 6 makalenin yalnızca genel yaş ortalaması verisini paylaştığı ve 5 makalede ise yaş ortalamasına dair herhangi bir veri paylaşılmadığı görüldü. Sporcu yaşlarını veri olarak paylaşan 5 çalışmanın değerlerine göre; erkek ampute sporcuların yaş ortalaması 26,51 yıl, kadın ampute sporcuların yaş ortalaması 27,71 yıl ve genel yaş ortalaması ise 26,75 yıl olarak bulundu.

Transfemoral ampute sporcuları konu alan 3 çalışma incelendiğinde çalışmaların 15'i erkek, 7'si kadın olmak üzere toplam 22 unilateral transfemoral ampute sporcu içerdiği görüldü. Transfemoral ampute sporcu çalışmalarına dahil edilen ampute sporcuların yaş ortalamalarına bakıldığında; ortalama hesaplaması için toplam 2 tane makalenin sporcuların yaşlarını veri olarak paylaştığı, bir makalenin yalnızca genel yaş ortalaması verisini paylaştığı görüldü. Sporcu yaşlarını veri olarak paylaşan 2 çalışmanın değerlerine göre; erkek ampute sporcuların yaş ortalaması 34,11 yıl, kadın ampute sporcuların yaş ortalaması 29,66 yıl ve genel yaş ortalaması ise 33 yıl olarak bulundu.

Materyal ve metot incelemesinde araştırmaların genelinde, araştırmalara dahil edilen ampute sporcuların kategorizasyonu, fiziksel ve demografik özelliklerinin içeriksel olarak paylaşılması gereken veriler noktasında ortak bir sistematığın daha sağlanmadığı görüldü. İlgili durum çalışmaların bir tanesi dışında sporcuların cinsiyet verilerinin yer alması, 6 çalışmada ampute sporcunun performansını değerlendirmeye yönelik kişisel rekor ve sprint sürelerinin yer alıp, diğer 13 çalışmada bu tarz alt başlıkların yer almaması, 3 çalışmada amputasyon nedeninin sorgulanıp diğer 16 çalışmada bu sorunun yer almamasıyla kendisini göstermektedir.

Materyal ve metot konusunda ortak sistematığın sağlanmadığı bir diğer konu da araştırmalarda ampute sporcuların kullandığı protezlerin içeriğinin paylaşılıp paylaşılmamasının gerekliliğidir. Bu bakış açısıyla koşu ve sprint sporlarıyla ilgilenen transtibial amputeleri içeren 15 çalışmanın, incelenmesinde 6 çalışmada koşuya özgü protez ifadesinin kullanıldığı ve sporcuların kullandığı protez içeriğinin belirtilmediği, 12 çalışmada ise belirtilen 6 çalışmanın aksine sporcuların protez içeriklerine araştırmada yer verildiği görüldü. Protez içeriği verilen araştırmalarda toplam 56 ampute sporcunun 9'unun (%16,07) Otto Bock 1E90 sprinter, 21'inin (%37,5) Össur Cheetah, 1'inin (%1,78) Otto Bock C sprint, 7'sinin (%12,5) Catapult Flex-run, 8'inin (%14,28) Össur Flex-run, 1'inin (%1,78) Össur flexfoot sprint, 8'inin (%14,28) Össur Cheetah Extreme ve son olarak 1'inin (%1,78) Össur symes-sprint protezini kullanıyor olduğu belirlendi. Transtibial amputeli uzun atlama sporcularının dahil edildiği 3 çalışma incelendiğinde toplam 29 sporcudan 26'sinin (%89,65) karbon fiber sprint türü olarak belirtilen protezleri kullandığı, 3 (%10,35) sporcunun ise Össur Cheetah Extreme kullandığı görüldü. Transtibial ampute bisiklet sporcularını konu alan tek çalışmada ise protez içeriğinin tam olarak belirtilmediği saptandı.

Transfemoral ampute sporcuları içeren 3 çalışmanın değerlendirilmesi sonucunda bir makale dışında ampute sporcuların kullandığı soket tipi, diz üniti ve ayak tipi hakkında detaylı bilgi verilmediği, diğer iki makaledeyse sırasıyla; koşuya özgü protez marka ve modelinin verildiği, koşuya özgü protez ifadesinin kullanımının tercih edildiği belirlendi. Örneklem sayısı az olan ve soket tipi, diz ünitiyle ayak tipi içeriğinin paylaşıldığı verilere göre; transfemoral ampute sporcuların çoğunlukla rijit iskiyal seki destekli vakum süspansiyonlu soket, Otto Bock firmasının farklı diz ünitlerini ve modüler esnek ayak türünü tercih ettiği belirlendi.

Materyal metot incelemesinde dikkat çeken diğer bir nokta da yıllar içerisinde tercih edilen değerlendirme yöntemlerinde meydana gelen çeşitliliğidir. 2012 yılına kadar olan araştırmalarda primer olarak yer reaksiyon kuvveti ve farklı frekans değerlerine sahip video kameralar yardımı ile açısız hareket analizi değerlendirmeleri ağırlıktayken, 2012 yılı ve sonrasında sanal bacak uzunluğu ölçümü, vertikal yere temas hızı ölçümü, hız ve yaklaşma mesafesi tespitinde lazer doppler cihazı kullanılmaya başlanmıştır. Yıllar geçse de araştırmalarda yer reaksiyon kuvvetinin ve hareket analizinin farklı formlarda değerlendirilmesine devam edildiği görüldü.

Taramamız sonucunda geçen yıllara kıyasla son dört yılda yapılan gerek çalışma sayısının gerekse çalışmaya dahil edilen ampute sporcu sayısındaki artış olduğu belirlendi. Son dört yılda yapılan toplam araştırma sayısı 11 iken diğer yıllardaki araştırma sayısı toplam 8'dir, bir başka deyiş ile son üç yılda konuya dair yapılmış olan çalışmalar mevcut çalışmaların %57,89'unu oluşturmaktadır. Son dört yıldaki araştırmaların 2'sinin transfemoral, 9'unun ise transtibial ampute sporcular üzerine olduğu gözlemlendi.

TARTIŞMA

Yapılan değerlendirmeler sonucunda derlememize uygun bulunan 19 makale incelendiğinde, bu makalelerden 16 tanesinin transtibial 3'ünün ise transfemoral ampute sporcuları kapsadığı görülmüştür [17,19-22,27-39]. Literatürün daha çok transtibial amputasyon üzerine yoğunlaşmış olması dikkat çekmektedir. Bu durum transtibial amputelerde sporun daha yaygın olduğunu göstermekle birlikte, diz eklemine korunuyor olması ve alt ekstremitte amputasyon seviyeleri içerisinde en fazla görülen amputasyon seviyesinin transtibial seviye olması ile açıklanabilir. Buckley JG çalışmasında, transtibial ampute koşucuların, non-ampute ekstremitte duruş fazı fleksiyon ekstansiyon paterni ile ampute ekstremitenin benzerlik gösterdiğini belirtmektedir [27]. Transtibial amputelerde protez, primer olarak ayak ve ayak bileği eklemine yerini alır. Bu sayede hem günlük yaşam aktivitelerinde hem de spor esnasında; gastroknemius kası dışında diğer tüm diz ve kalça kasları korunduğundan transtibial ampute sporcularda düşme riskinin azaldığı görülür. Bu, koşarken diz ve kalça eklemlerinin doğal kontrolü için gerekli kabul edilebilir. Aslında, sağlıklı bireylerde diz ve kalça eklem parametreleri ile karşılaştırıldığında, çok küçük farklılıklar gözlemlenmiştir [40]. Bir transtibial amputenin protez kullanabilmesi için aktif diz fleksiyonu ve ekstansiyonu mümkün olmalı ve güdük, kasların protezi kontrol etmesine izin verecek kadar uzun olmalıdır. Fleksiyon ve ekstansiyonu koruyacak olan en proksimal transtibial amputasyon türü tibia tüberkülünün hemen altıdır [40]. Nolan L ve ark. cerrahlar tarafından tavsiye edilen (15 cm) en kısa korunmuş uzunluktan ayak bileği amputasyonuna kadar olan farklı uzunlukta güdüğe sahip transtibial ampute sporcular üzerinde yaptıkları değerlendirmeler sonucunda, uzun atlama performansının güdük uzunluğundan etkilenmediği sonucuna varmışlardır [28]. Bu çalışmada yer alan ampute sporcuların güdük uzunluklarının 15-38 cm arasında değiştiği görülmüştür. Çalışmalarda da görüldüğü gibi, güdük uzunluğu performansı etkilememekte ve değişik güdük uzunluklarına sahip amputeler, performans açısından fark olmaksızın aynı spora katılabilmektedir. Bu durum, transtibial amputasyonun spora katılımda daha avantajlı bir seviye olduğunu göstermesi bakımından önemlidir.

Derlemeye dahil ettiğimiz çalışmalarda görülen bir diğer amputasyon seviyesi ise transfemoral amputasyondur. Transfemoral amputelerde temel problem anatomik diz eklemine olmaması ve buna bağlı olarak transtibial amputelere göre enerji tüketimin fazla olmasıdır [40]. Enerji gereksiniminin fazla olması ve özellikle yürüyüşteki problemler (asimetrik yürüyüş, yürüme hızında azalma gibi) performansa sınırlamalar getirir. En önemli kısıtlamalardan biri de, protez diz eklemine sallanma fazındaki gecikmedir [17]. Transfemoral amputeler için her ne kadar klink tablo olumsuz gözükse de; son yıllarda birçok farklı firma tarafından yukarıda belirtilen problemlerin giderilmesine yönelik stabilite ve rotasyon kontrolünü arttıran sallanma fazı kontrollü diz eklemleri de geliştirilmiştir. Tüm bu gelişmeler transtibial amputelere göre daha az sayıda olan transfemoral ampute sayısının zamanla artacağını düşündürmektedir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, protezle yapılan sporlarda birinci sırada koşunun (sprint, uzun mesafe vs.) geldiği, bunu uzun atlama ve bisikletin takip ettiği görülmektedir. Biyomekanik

olarak sağlıklı koşu, hem diz hem de ayak bileği eklemlerinde net pozitif enerji üretimi ve aynı zamanda, yürüyüşe kıyasla daha büyük ölçüde diz fleksiyonu ve buna benzer şekilde daha fazla ayak bileği dorsifleksiyonu ile karakterizedir [41]. Bisiklet kullanımında hareketlerin kontrolü hem nöromüsküler hem kas iskelet sistemlerinin entegrasyonunu içerir. Bu, her eklem üzerine uygulanan yükleri yönetmek için eklemler arasındaki enerji aktarımı ve itici güç oluşturmak için kas aktivasyonunun uygun zamanlamasını içerir [32]. Uzun atlamanın temel belirleyicileri arasında, atletin kalkış adımında kalkış levhasına temas ettiği noktadaki vücut kütle merkezinin yatay ve düşey hızı vardır. Temas sırasında yüksek yatay hız, atlama mesafesi ile kuvvetli bir şekilde ilişkilidir [28]. Sporda kullanılan protezlerin yay benzeri yapısı uzun atlamanın belirleyicileri için bir avantaj sağlar denilebilir. Tüm bunlar koşuya özel protezlerin enerji depolayan ve dönüştüren yapısıyla uyumlu bulunarak, koşu, bisiklet ve uzun atlamanın protezle yapılabilen en önemli sporlar olmasını açıklayabilir.

Derlemede dikkat çeken diğer bir ayrıntı ise en çok kullanılan protez ayak tipleridir. En çok kullanılan protez ayak tipleri; Cheetah, Flex-Run, Catapult ve 1E90 Sprinter'dır. Catapult ve Flex-Run protezleri "C" şeklindedir ve bağlayıcı bir alüminyum pilon vasıtasıyla sokete distalden bağlanır. 1E90 Sprinter protez "J" şeklindedir ve soketin arka duvarına monte edilir. J-şekilli bir protez için yükseklik ayarlandıktan sonra, ayak tipik olarak doğrudan sokete vidalanır [18].

Beck ve ark. yaptıkları çalışmaya göre; tek taraflı transtibial ampute sporcuların koşu metabolik maliyetini en aza indiren J-şekilli protez modeli, azalmış bacak sertliği ve C şeklinde koşuya özel protezlerin kullanımıyla karşılaştırıldığında daha fazla simetrik tepe vertikal yer reaksiyon kuvveti ile ilişkili bulunmuştur [30]. Buna ek olarak, 1E90 Sprinter protezin kullanılması, C-şekilli koşuya özel protezlere kıyasla, hareket esnasında sagittal düzlem hizalamasının güçlendirilmesine veya lateral dengenin geliştirilmesine yol açtığı görülmüştür. 1E90 Sprinter protezinin sagittal düzlem hizalaması, koşu sırasında eklem momentlerini ve kas kuvvet gereksinimlerini azaltarak daha kısa yer reaksiyon kuvveti-bacak eklem moment kolu sağlayabildiği söylenmiştir. Yine aynı çalışmaya göre J-şekilli 1E90 Sprinter protezin kullanımının, C-şekilli Catapult ve Flex-Run protezlerinin kullanımına kıyasla, metabolik maliyeti düşürdüğü görülmüştür [30].

Beck ve ark. bilateral transtibial amputeler üzerinde yaptıkları başka bir çalışmaya göre, J-şekilli koşuya özel protezler, C-şekildeki koşuya özgü protezlere göre % 1 daha fazla depolanmış enerji dönüşü sağladığı ve böylece 1E90 Sprinter protezlerini kullanırken kaslar tarafından gerçekleştirilen mekanik işlemi en aza indirdiği bulunmuştur [34]. 1E90 Sprinter protezleri ile C-şekildeki koşuya özgü protezlere kıyasla azaltılmış metabolik maliyetin muhtemel bir başka açıklaması, lateral stabilitenin geliştirilmesine bağlı olabilir. Yine aynı çalışmada bilateral transtibial atletlerin; protez sertlik kategorisi tavsiyeleri kullanıcının vücut kütlelerine göre belirlendiğinden, her bir katılımcının vücut kütleleri için normalleştirilen protez sertliğini düzenleyerek üreticinin önerdiğinden daha az sert olan koşuya özgü protezlerle koşarken, daha az metabolik enerji tükettiğini bulmuşlardır. Aynı zamanda koşmanın metabolik maliyeti kullanılan protezin uzunluğundan bağımsızdır [35]. Jeffers JR ve ark. tarafından yapılan bir başka çalışmada ise şaşırtıcı bir şekilde, bilateral amputasyonları olan sprinterlerde en üst hızını geliştirdiği belirtilmiştir [31]. Görüldüğü gibi metabolik maliyet protez modeli ve sertliğinden etkilenirken, protez uzunluğundan etkilenmemektedir. Ancak protez uzunluğu koşu hızına etki etmektedir.

İlerleyen zamanla birlikte günlük hayatta ve spordaki gelişmeler, daha iyiye ulaşma isteği, teknolojiye ilerlemeler beklentileri artırmış ve protezlerin gelişimi kaçınılmaz olmuştur. Mevcut protezler gün geçtikçe geliştirilerek piyasaya sürülmektedir. Son zamanlarda, güçlendirilmiş alt ekstremite protezleri ortaya çıkmaya başlamıştır. Güçlendirilmiş protezler, özellikle düşük açık devre empedansı ile tasarlanarak, çok çeşitli fiziksel davranışları taklit edebilmektedir. İlgili ekipmanlar, bu nedenle sağlıklı diz ve ayak bileği eklemlerinin yürüme veya koşu sırasında biyomekanik özelliklerini taklit edebilir. Protez, yürüme ve koşu sırasında uygun eklem davranışları sağlayan bir koordinasyon seviyesi denetleyicisi ile donatılmıştır ve protez kullanıcısı yürüme ve koşu arasında geçiş yapmak istediğinde onu tanımlayabilir [31].

SONUÇ

Transtibial amputasyon seviyesi spora katılımında transfemoral amputasyona göre daha avantajlı ve spor performansının güdük uzunluğundan bağımsız olduğu bulunmuştur. Protezle en çok yapılan branşların başında koşu, bisiklet ve uzun atlama gelmektedir. En çok kullanılan protez modelleri ise; Cheetah, Flex-Run, Catapult ve 1E90 Sprinter'dır. Tercih edilen protezin model ve sertliği enerji tüketimini etkilerken, tercih edilen protezin uzunluğunun enerji tüketimine herhangi bir etkisi yoktur. Tercih edilen protezin uzunluğunun kısa tutulması hızlanma açısından avantaj sağlar. Ancak çalışmalarda birey sayısının kısıtlı olduğu görülmekte ve bu da sonuçların genellenebilirliğini kısıtlamaktadır.

Teşekkür: Yok.

Çıkar çatışması: Yok.

Finans: Yok.

KAYNAKLAR

1. Konar N. Rehabilitasyon - Engelliler Sporu ve Paralimpikler. İÜ Spor Bilim Derg. 2003;11(3):162-166.
2. Çınarlı S, Ersöz G. Engellilere Yönelik Spor Hizmetlerinin Gelişimi Açısından Sponsorluk Ve Vergisel Düzenlemelere İlişkin Öneriler. Journal of Süleyman Demirel University Institute of Social Sciences. 2010;2(12):141-156.
3. Janna L, Crawford S, Monika S. Constraints experienced by elite athletes with disabilities in Kenya, with implications for the development of a new hierarchical model of constraints at the societal level. J Leis Res. 2008;40(1):128-155.
4. Hafner BJ, Sanders JE, Czerniecki J, et al. Energy storage and return prostheses: does patient perception correlate with biomechanical analysis? Clin Biomech. 2002;17:325-344.
5. Klute GK, Kallfelz CF, Czerniecki JM. Mechanical properties of prosthetic limbs: adapting to the patient. J Rehabil Res Dev. 2001;38:299-307.
6. Hofstad C, Linde H, Limbeek J, et al. Prescription of prosthetic ankle-foot mechanisms after lower limb amputation. Cochrane Database Syst Rev. 2004;CD003978. doi: 10.1002/14651858.CD003978.pub2
7. Twiste M, Rithalia S. Transverse rotation and longitudinal translation during prosthetic gait a literature review. J Rehabil Res Dev. 2003;40:9-18.
8. Van der linde H, Hofstad CJ, Geurts AC, et al. A systematic literature review of the effect of different prosthetic components on human functioning with a lower-limb prosthesis. J Rehabil Res Dev. 2004;41:555-570.
9. Major MJ, Twiste M, Kenney LP, et al. Amputee independent prosthesis properties a new model for description and measurement. J Biomech. 2011;44:2572-2575.
10. Major MJ, Kenney LP, Twiste M, et al. Stance phase mechanical characterization of trans-tibial prostheses distal to the socket: a review. J Rehabil Res Dev. 2012;49:815-829.
11. Kegel B, Webster JC, Burgess EM. Recreational activities of lower extremity amputees: a survey. Arch Phys Med Rehabil. 1980;61:258-264.
12. Legro MW, Reiber GE, Czerniecki JM, et al. Recreational activities of lower-limb amputees with prostheses. J Rehabil Res Dev. 2001;38(3):319-325.
13. Kars C, Hofman M, Geertzen JH, et al. Participation in sports by lower limb amputees in the province of Drenthe, the Netherlands. Prosthet Orthot Int. 2009;33(4):356-367.
14. McHardy A, Pollard H, Kehui L. Golf Injuries: A Review of the Literature. Sports Med. 2006;36(2):171-187.
15. Rogers JP, Strike SC, Wallace ES. The Effect of Prosthetic Torsional Stiffness on the Golf Swing Kinematics of a Left and a Right-Sided Trans-Tibial Amputee. Prosthet Orthot Int. 2004;28(2):121-131.
16. Bragaru M, Dekker R, Geertzen JHB, et al. Amputees and Sports: A Systematic Review. Sports Med. 2011;41(9):721-740.
17. Burkett B, Smeathers J, Barker T. Optimising the trans-femoral prosthetic alignment for running, by lowering the knee joint. Prosthet Orthot Int. 2001;25(3):210-219.

18. McGowan CP, Grabowski AM, McDermott WJ, et al. Leg stiffness of sprinters using running-specific prostheses. *J R Soc Interface*. 2012;9:1975-1982.
19. Beck ON, Taboga P, Grabowski AM. Characterizing The Mechanical Properties Of Running-Specific Prostheses. *PLoS One*. 2016;11(12):e0168298. doi: 10.1371/journal.pone.0168298.
20. Taboga P, Kram R, Grabowski AM. Maximum-speed curve-running biomechanics of sprinters with and without unilateral leg amputations. *J Exp Biol*. 2016;219:851-858.
21. Oudenhoven LM, Boes JM, Hak L, et al. Regulation of step frequency in transtibial amputee endurance athletes using a running-specific prosthesis. *J Biomech*. 2017;51:42-48.
22. Li Y, Simpson KJ, Nolan L, et al. Lower extremity kinematics of curve sprinting displayed by runners using a transtibial prosthesis. *J Sport Sci*. 2018;36(3):293-302.
23. Willwacher S, Herrmann V, Heinrich K, et al. Sprint Start Kinetics: Comparison of amputee and non-amputee sprinters. *Proceedings of the 33rd International Conference on Biomechanics in Sports*; 2016 July 1; Poitiers, France.
24. Rahman M, Bennett T, Glisson D, et al. Finite Element Analysis of Prosthetic Running Blades using Different Composite Materials to Optimize Performance. *Proceedings of the ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*; 2014 November 14-20; Montreal.
25. Nolan L. Carbon fibre prostheses and running in amputees: a review. *J Foot Ankle Surg*. 2008;14(3):125-129.
26. Dyer BT, Sewell P, Noroozi S. An investigation into the measurement and prediction of mechanical stiffness of lower limb prostheses used for running. *Assist Technol*. 2014;26(3):157-163.
27. Buckley JG. Sprint kinematics of athletes with lower-limb amputations. *Arch Phys Med Rehabil*. 1999;80(5):501-508.
28. Nolan L, Patrilli BL, Stana L, et al. Is increased residual shank length a competitive advantage for elite transtibial amputee long jumpers? *Adapt Phys Act Q*. 2011;28(3):267-276.
29. Beck ON, Taboga P, Grabowski AM. Prosthetic model, but not stiffness or height, affects the metabolic cost of running for athletes with unilateral transtibial amputations. *J Appl Physiol*. 2017;123(1):38-48.
30. Beck ON, Taboga P, Grabowski AM. Reduced prosthetic stiffness lowers the metabolic cost of running for athletes with bilateral transtibial amputations. *J Appl Physiol*. 2017;122(4): 976-984.
31. Jeffers JR, Beck ON, Taboga P, et al. Optimizing Leg Prostheses For Walking And Running: Can We Augment Performance? *Proceeding of the Ohio State University*; 2015 August 8; Ohio.
32. Childers WL, Kistenberg RS, Gregor RJ. Pedaling asymmetries in cyclist with unilateral transtibial amputation: effect of prosthetic foot stiffness. *J Appl Biomech*. 2011;27:314-321.
33. Nolan L, Patrilli LB, Simpson KJ. Effect of take-off from prosthetic versus intact limb on transtibial amputee long jump technique. *Prosthet Orthot Int*. 2012;36(3):297-305.
34. Hobara H, Baum BS, Kwon HJ, et al. Amputee locomotion: lower extremity loading using running-specific prostheses. *Gait Posture*. 2014;39(1):386-390.
35. Beck ON, Taboga P, Grabowski AM. How do prosthetic stiffness, height and running speed affect the biomechanics of athletes with bilateral transtibial amputations? *J R Soc Interface*. 2017;14(131):20170230. doi: 10.1098/rsif.2017.0230
36. Hobara H, Potthast W, Müller R, et al. Relationship between body height and spatiotemporal parameters during a 100-m sprint in able-bodied and unilateral transtibial sprinters. *Prosthet Orthot Int*. 2017;41(5):492-497.
37. Funken J, Willwacher S, Heinrich K, et al. Long jumpers with and without transtibial amputation have different three-dimensional centre of mass and joint take-off step kinematics. *R Soc Open Sci*. 2019;6(4):190107. doi: 10.1098/rsos.190107
38. Makimoto A, Sano Y, Hashizume S, et al. Ground reaction forces during sprinting in unilateral transfemoral amputees. *J Hum Kinet*. 2017;33(6):406-409.
39. Sano Y, Makimoto A, Hashizume S, et al. Leg stiffness during sprinting in transfemoral amputees with running-specific prosthesis. *Gait Posture*. 2017;56: 65-67.
40. Bowker J. *Transtibial amputation: surgical management. Atlas of amputations and limb deficiencies*. 3rd ed. Illinois, IL: American Academy of Orthopaedic Surgeons Publishing, 2004.
41. Shultz AH, Lawson BE, Goldfarb M. Running with a powered knee and ankle prosthesis. *IEEE T Neur Sys Reh*. 2015;23(3):403-142.