

Öne Hamle Adım Egzersizlerinde Diz Açılı ve Yük İlişkisi: Deneysel Çalışma

Comparison of Knee Angles and Load Relationship in Forward Lunge Exercises: Experimental Study

Ali GÜNAY^a, İrfan GÜLMEZ^b

^aHaliç Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Bölümü, İstanbul, Türkiye

^bMarmara Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Bölümü, İstanbul, Türkiye

Bu çalışma, Ali Günay'ın "Öne Düşerek Adım Alma Egzersizinin Farklı Uygulamalarında Alt Ekstremitte Kas Aktivasyonu ve Yük Değişimlerinin İncelenmesi" başlıklı doktora tezinden üretilmiştir (İstanbul: Marmara Üniversitesi; 2019).

ÖZET Amaç: Öne hamle adım (forward lunge), farklı yüksekliklerde kolay uygulanabilirliği ve güvenilirliği nedeniyle alt ekstremitte kuvvetini geliştirmek için yaygın olarak kullanılan bir egzersizdir. Bu çalışmanın amacı, farklı yüksekliklerde uygulanan öne hamle adım egzersizlerinin diz açılanmaları ile yer tepki kuvveti ilişkisini araştırmaktır. **Gereç ve Yöntemler:** Çalışmaya spor bilimleri fakültesinde okuyan ve en az 3 yıldır spor yapan 7 erkek (yaş=20,42±1,27 yıl, boy=1,75±3,82 m, kilo 66,6±6,73 kg, yağ yüzdesi 8,47±4,49, beden kitle indeksi 20,62±1,76 ve spor deneyimi 10,28±3,35 yıl) gönüllü olarak katılmıştır. Öne hamle adım egzersizi, 0 cm, 10 cm ve 20 cm yükseklikte 3 sağ 3 sol adım olarak uygulanmıştır. Katılımcıların diz açılarını belirlemede Kinovea, yer tepki kuvvet değerleri belirlemede ise kuvvet platformu kullanılmıştır. Öne hamle adım uygulamasının eksenrik ve konsantrik fazlarındaki diz açıları ile yer tepki kuvveti verileri arasındaki ilişki Spearman korelasyon ile değerlendirilmiştir. **Bulgular:** Elde edilen verilerde sağ ayakta 20 cm yükseklikten yapılan egzersizde eksenrik ve konsantrik fazda anlamlı korelasyon görülmüştür. Sol ayakta ise düz zeminde, konsantrik fazda anlamlı korelasyon görülmüştür ($p<0,05$). Tüm yüksekliklerde (0 cm, 10 cm, 20 cm) eksenrik fazdaki yer tepki kuvvetlerinin konsantrik faza göre yüksek olduğu gözlemlenmiştir. **Sonuç:** Çalışma sonucu; yükseklik arttıkça yer tepki kuvvetlerinin arttığı yükseklik azaldıkça yer tepki kuvvetinin azaldığını göstermiştir. Bu nedenle öne hamle adım egzersiz uygulamalarında, yükün kademeli olarak artırılması için sırasıyla 0 cm, 10 cm ve 20 cm yükseklikten öne hamle adım düşme olarak yapılması önerilebilir.

ABSTRACT Objective: Forward lunge is a widely used exercise to improve lower extremity strength due to its easy applicability and reliability at different heights. The aim of this study was to investigate the relationship between knee angulations and strength in forward lunge exercises performed at different heights. **Material and Methods:** Seven healthy active men (age=20.42±1.27 years, height=1.75±3.82 m, weight 66.6±6.73 kg, body fat percentage 8.47±4.49, body mass index 20.62±1.76, and sports experience 10.28±3.35 years) who were studying at the faculty of sports sciences and had been practicing sports for at least 3 years voluntarily participated in the study. The forward lunge step exercise was performed by taking 3 right and 3 left steps at heights of 0 cm, 10 cm and 20 cm. Kinovea was used to determine the knee angles of the participants and a force platform was used to determine the ground reaction force values. The relationship between knee angles and maximum force data in the eccentric and concentric phases of the forward lunge step exercise was evaluated by Spearman correlation. **Results:** In the data obtained, a significant correlation was observed in the eccentric and concentric phase of the exercise performed from a height of 20 cm in the right foot. In the left foot, a significant correlation was observed in the concentric phase on flat ground ($p<0.05$). At all heights (0 cm, 10 cm, 20 cm), ground reaction forces in the eccentric phase were higher than in the concentric phase. **Conclusion:** The results of the study showed that ground reaction forces increased as the height increased and ground reaction forces decreased as the height decreased. For this reason, it can be recommended to increase the load gradually in forward lunge step exercise applications as forward lunge step falls from a height of 0 cm, 10 cm and 20 cm, respectively.

Anahtar Kelimeler: Öne hamle adım; kuvvet platformu; diz açısı; yer tepki kuvveti

Keywords: Forward lunge; force platform; knee angle; ground reaction force

Correspondence: Ali GÜNAY

Haliç Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Bölümü, İstanbul, Türkiye

E-mail: aligunay@halic.edu.tr

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

Received: 07 Jul 2023

Received in revised form: 11 Sep 2023

Accepted: 12 Sep 2023

Available online: 02 Oct 2023

2146-8885 / Copyright © 2023 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/>).



Öne hamle adım (forward lunge) egzersizi, kolay uygulanabilirliği ve güvenilirliği nedeniyle alt ekstremite kuvvetini geliştirmede yaygın olarak kullanılmaktadır.¹ Sağlık dünyasında ise spor yaralanmalarından sonra rehabilitasyon amacıyla tercih edilen en önemli alt ekstremite kuvvet egzersizlerinin başında gelmektedir.²

Antrenörler ve sporcular, kapalı kinetik bir egzersiz olan öne hamle adım egzersizini, sporcuların koordinatif yeteneklerini, denge performansını geliştirmek ve sportif yaralanma riskini ortadan kaldırmak amacıyla uygulamaktadır. Ayrıca farklı hız ve yüksekliklerden öne, yana, geriye ve çapraz olarak kullanılmaktadır.

Öne hamle adım egzersizlerinin kas aktivasyonu üzerindeki etkilerini araştıran çalışmalarda, alt ekstremite kaslarından gluteus maksimus ve gluteus medius kasları ile uyluk kaslarının aktivasyon oranlarının yapılan egzersizin tekniğine göre değiştiği bildirilmiştir.³⁻⁵

Öte yandan, fonksiyonel egzersiz kayışları [TRX (San Francisco, CA)] gibi denge performansı içeren ekipmanlarla öne hamle adım uygulandığında, denge çabalarından kaynaklanan kas aktivasyon farkının ve alt ekstremite kas aktivasyonunun öne hamle adım (forward lunge) egzersizine göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir.⁶ Godwin ve ark., öne hamle adımı sırasında yer tepki kuvvetlerini incelemiş ve ayak bileği eklem açılanmaları ile yer tepki kuvveti arasında bir ilişki olmadığını bildirmiştir.⁷

Jamaludin ve ark. öne hamle adım (lunge) hareketinde ayak bileği kuvveti ve eklem açılanmalarının diz kinematiki üzerinde etkili olduğunu ve yükseklik arttıkça ayak bileği açılanmaları ile yer tepki kuvveti arasındaki ilişkinin arttığını bildirmişlerdir.⁸ Aynı çalışmada cinsiyet ve boya göre farklı sonuçlar verilmiştir. Bu durum, açılanmalar ve yer tepki kuvveti ile ilgili çalışmaların yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Gao ve ark., her iki elde ağırlık tutarken öne doğru hamle adım yüklemesinin neden olduğu diz ve kalça eklemi açılanmasını incelemiş ve yüklenme arttıkça diz açısının ve diz momentlerinin arttığını belirtmiştir.¹

Yapılan literatür taramasında, geleneksel hamle adım (traditional lunge) egzersizinin düz zeminde yapılan uygulamaları inceleyen çalışmalar bulunmaktadır.^{9,10} Buna karşın ayakları farklı yüksekliklere konumlandırılıp, öne düşerek yapılan hamle adım egzersizleri konusunda herhangi bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle farklı yüksekliklerden öne hamle adım egzersizleri sırasında yer tepki kuvveti değerleri ve diz açısı değişimlerinin araştırılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Çalışma sonuçlarının egzersiz uzmanları, antrenörler ve fizyoterapistler için egzersiz programlarında kullanılacak öne hamle adım egzersizi (lunge) hakkında kolaydan zora doğru bir sınıflama yapılabilmesi açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

Yükseklik arttıkça yer tepki kuvveti ve diz açısının artması, yükseklik azaldıkça diz açısının ve yer reaksiyon kuvvetinin azalması beklenmektedir. Bu nedenle çalışmanın amacı, 3 farklı yükseklikte yapılan öne hamle adım egzersizleri sırasında diz açıları ve yer tepki kuvveti arasındaki ilişkiyi araştırmaktır.

GEREÇ VE YÖNTEMLER

ETİK PROSEDÜR

Tüm katılımcılar çalışma hakkında bilgilendirilmiştir. Bu araştırma, Helsinki Deklarasyonu prensiplerine uygun olarak yürütülmüştür. Çalışma için Marmara Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulundan (tarih: 6 Mayıs 2022, no: 09.2022.831) izin alındıktan sonra ölçümlere başlanmıştır. Katılımcılar gönüllü onam formunu imzaladıktan sonra çalışmaya dâhil olmuşlardır.

KATILIMCILAR

Çalışmaya spor bilimleri fakültesinde okuyan ve en az 3 yıldır spor yapan sağlıklı 7 aktif erkek [yaş=20,42±1,27 yıl, boy=1,75±3,82 m, kilo 66,6±6,73 kg, yağ yüzdesi 8,47±4,49, beden kitle indeksi (BKİ) 20,62±1,76 ve spor deneyimi 10,28±3,35 yıl] gönüllü olarak katılmıştır. Tüm katılımcıların baskın bacağı sağ bacak olarak belirlenmiştir.

Çalışmaya katılma kriterleri; en az 3 yıldır spor yapıyor olmak, daha önce diz yaralanması geçirmemiş olmak ve aktif spor yapılması olarak belirlenmiştir.

ÇALIŞMA TASARIMI

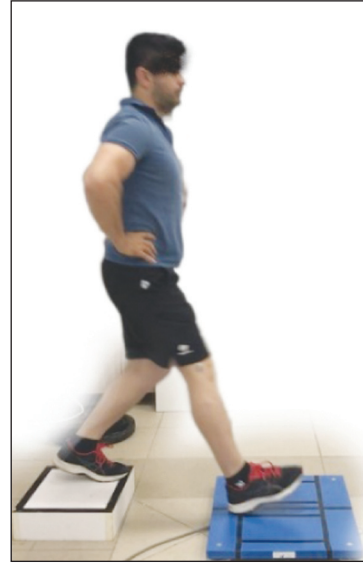
Çalışma, Marmara Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi laboratuvarında yapılmıştır. Tüm katılımcıların demografik ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra 5 dk'lık ısınma yapmaları sağlanmıştır. Isınma yapıldıktan sonra ise farklı yüksekliklerden kuvvet platformuna, öne düşerek adım alma egzersizi uygulanmıştır.

ÖLÇÜMLER

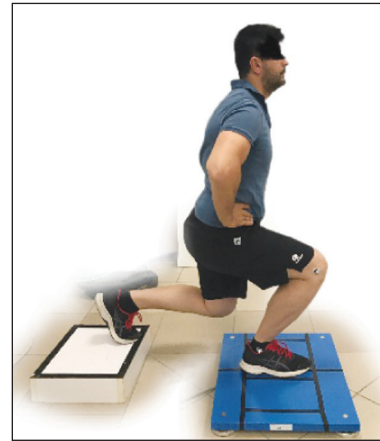
Katılımcıların boyları 0,01 hassasiyetli (Holtain LTD. Crymych, Birleşik Krallık) boy ölçer ve vücut ağırlıkları Tanita SC 330 (Japonya) ölçülmüştür. Katılımcılar Ergoline GmbH bisiklet (Bitz, Germany) ergometresinde pedal hızını yaklaşık 50-60 rpm arasında tutarak, 5 dk boyunca bisiklet sürerek ısınmışlardır.¹¹

Sporcular öne hamle adım atma egzersizini 3 farklı yükseklikte gerçekleştirmişlerdir. Düz zemin (0 cm yükseklik olarak kabul edilmiştir), 10 cm ve 20 cm yükseklikten önce sağ sonra sol bacaklarıyla kuvvet platformu (Kistler, İsviçre 2000 Hz) üzerine düşülerek iniş yapılmıştır.¹² Kuvvet platformunun yerden yüksekliği 5 cm olduğu için 0 cm yüksekliğe ulaşabilmesi açısından yere 5 cm'lik platform hazırlanmış ve bu yükseklik 0 cm olarak kabul edilmiştir. Sonraki yükseklikler ise 15 cm ve 25 cm olarak hazırlanmıştır. Kuvvet platformunun yüksekliği dikkate alındığında bireyler 0 cm, 10 cm ve 20 cm yükseklikten kuvvet platformuna iniş yapmışlardır. Öne hamle adım egzersizi sağ ve sol ayakla 5 sn arayla 3 tekrar şeklinde uygulanmıştır. Ölçüm sırasında hareketi stabil hâle getirmek için bir açı ölçer kullanılmıştır. Açı ölçer, sporcunun hareketi gerçekleştireceği tarafta 3 farklı yükseklik için 3 farklı açıya ayarlanmıştır. Sporculardan, diz açısını yan taraflarında bulunan açı ölçere göre ayarlamaları istenmiştir. Sporcu referans açıyı hedefleyerek, hızlı bir şekilde yere inmiştir. Aynı ayak ile frenleme yaparak, platforma tekrar geri çıkmıştır (Resim 1, Resim 2, Resim 3). Tüm hareketler, çoğu sporun doğasında olduğu gibi ve standart olması hedeflenerek, hızlı yapılmış ve yavaş yapılan hareketin verileri kaydedilmeyerek yeniden test yapılmıştır.

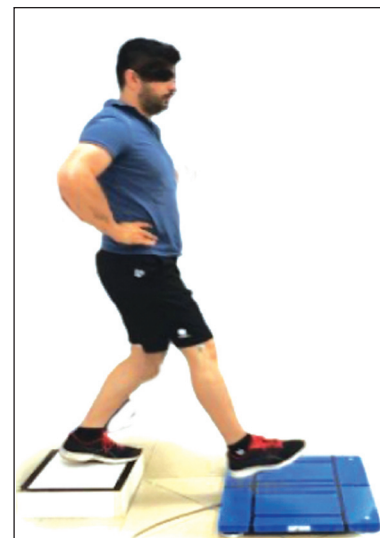
Sporcular hareketi gerçekleştirirken Sony (HDR-CX190E, Tokyo, Japan) kamera ile 90° açıdan kayıt altına alındı. Kaydedilen hareketler Kinovea® (0.9.0.5) (<http://www.kinovea.org/>) yazılımı ile analiz edilmiş ve diz açıları belirlenmiştir.¹³



RESİM 1: Ayağın kuvvet platformuna temas anı.



RESİM 2: Sporcunun maksimum çömelme anı.



RESİM 3: Ayağın kuvvet platformundan ayrılma anı.

VERİLERİN ANALİZİ

Sporcuların kuvvet verileri, Excel (Microsoft, USA) programında integrali çizdirildikten sonra belirlenmiştir.¹⁰ Sporcunun kuvvet platformuna indiği ve zirve değerine ulaştığı nokta eksantrik faz, sporcunun çömelme sonrası kalkış fazı ise konsantrik faz olarak belirlenmiş ve bu noktadaki zirve değerleri alınmıştır (Şekil 1).

Diz açıları, kaydedilen videoların Kinovea yazılımı ile analiz edilmesiyle belirlendi.¹³

Diz açıları öne hamle adım egzersizinin alt kısmında eksantrik fazdan, konsantrik faza geçişten önceki an belirlenerek ölçüldü (Resim 4).

Elde edilen veriler arasındaki ilişki SPSS 24 (SPSS, Inc, Chicago, IL, USA) programında tanımlayıcı istatistikler ve Spearman korelasyonu ile belirlendi.

BULGULAR

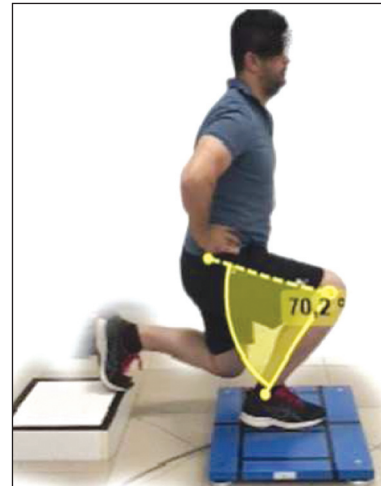
Katılımcıların demografik verileri Tablo 1’de gösterilmiştir. Katılımcıların ortalama değerleri; (yaş=20,42±1,27 yıl, boy=175±3,81 cm, 66,6±6,73 kg, yağ yüzdesi 8,47±4,49, BKİ 20,62±1,76 ve spor deneyimi 10,28±3,35 yıl) olarak saptanmıştır.

Tablo 2’de katılımcıların diz açısı ve yer tepki kuvvetleri sunulmuştur. Diz açısı değerleri düz zeminde sağ 70,53°±9,59, sol 70,27°±8,18 derece, 10 cm yükseklikte 74,90°±8,38, sol 76,88°±3,84 derece ve 20 cm yükseklikte sağ 76,59°±7,02, sol 81,06°±5,98 derecelik ortalama değerleri saptanmıştır.

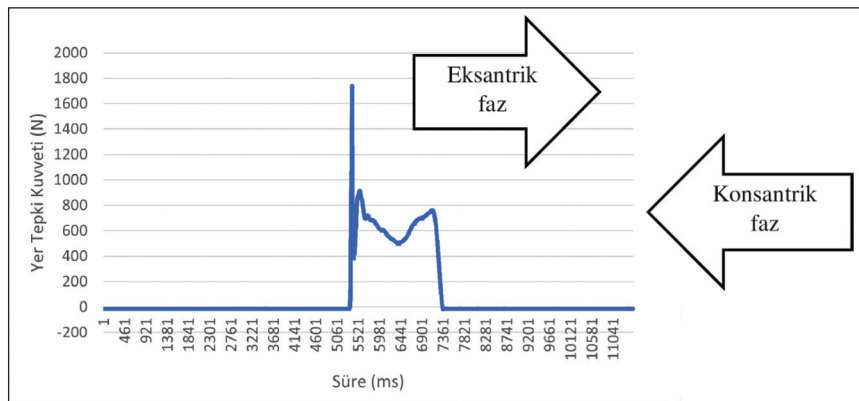
Katılımcıların yer reaksiyon kuvvetleri düz zeminde 592,2±76,5 N ile 815,6±289 N arasında; 10 cm yükseklikte 663±7 N ile 965,7±396,9 N arasında; 20 cm yükseklikte 791±113 N ile 1147±343 N arasında bulunmuştur.

Tablo 3’te sporcuların platform yüksekliğine göre değişim oranları sunulmuştur. Diz açılarındaki en düşük fark %2,26 ile 10 cm-20 cm arasındaki sağ ayak arasında, en yüksek fark ise %15,36 ile 0 cm-20 cm sol ayak arasında görülmüştür.

Yer reaksiyon kuvvetlerindeki değişim oranları incelendiğinde, en yüksek fark %57,55 ile 0 cm-20 cm arasında sağ ayak eksantrik fazda görülürken, en düşük fark ise %11,99 ile sağ ayak konsantrik fazında görülmüştür.



RESİM 4: Diz açısının ölçüldüğü, sporcunun maksimum iniş anı.



ŞEKİL 1: Sporcuların yer reaksiyon kuvveti değerlerinin belirlenmesi.

TABLO 1: Katılımcıların demografik özellikleri.

	Kişi sayısı	Minimum-maksimum	$\bar{X} \pm SS$
Yaş (yıl)		18-22	20,42 \pm 1,27
Boy (cm)		172-183	175,28 \pm 3,81
Vücut ağırlığı (kg)	7	5645-74,9	66,05 \pm 6,73
BKİ (boy ² /kilo)		18,4-23,4	20,62 \pm 1,76
Vücut yağ yüzdesi		4-14	8,47 \pm 4,49
Spor yaşı		5-14	10,28 \pm 3,35

SS: Standart sapma; BKİ: Beden kitle indeksi.

Tablo 4, katılımcıların yer tepki kuvvetleri ile diz açıları arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Sağ ayakta 20 cm yükseklikten yapılan egzersizde eksenrik ve konsantrik fazda anlamlı korelasyon görülmüştür. Sol ayakta ise düz zeminde, konsantrik fazda anlamlı korelasyon görülmüştür ($p < 0,05$).

TARTIŞMA

Bu çalışmada, 0 cm, 10 cm, 20 cm yüksekliklerden öne hamle adım egzersizleri yaptırılarak, diz açıları ile yer tepki kuvvetleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışmada düz zeminden (0 cm) yapılan egzersizin sol ayak konsantrik fazında, 20 cm yükseklikten yapılan egzersizde ise sağ ayak eksenrik ve konsantrik fazında anlamlı korelasyon görülmüştür. Düz zeminde yapılan egzersizde sol ayak konsantrik fazda anlamlı korelasyon görülmesi, sol ayakta denge kurma çabasına bağlı olarak yere kuvvet uygulanmasından kaynaklanmış olabilir. Çalışmamızda yükseklik arttıkça yer reaksiyon kuvveti değerleri ile diz açılarının paralel şekilde artması, düşüşün absorbe edilmediğini düşündürmektedir. Çalışmamız bu yönü ile literatür ile paralellik göstermektedir.¹⁴

Öne hamle egzersizlerinin 100-105 derece diz açısı ile yapıldığı çalışmalar mevcuttur.^{10,15} Comfort

TABLO 2: Diz açısı ve yer tepki kuvveti değerleri.

	Sağ			Sol		
	Diz açısı (°)	Eksenrik faz N	Konsantrik faz N	Diz açısı (°)	Eksenrik faz N	Konsantrik faz N
0 cm	70,53 \pm 9,59	728,4 \pm 292	592,2 \pm 76,5	70,27 \pm 8,18	815,6 \pm 289	633,1 \pm 64,2
10 cm	74,90 \pm 8,38	965,7 \pm 396,9	663 \pm 7	76,88 \pm 3,84	933 \pm 326	724 \pm 63,7
20 cm	76,59 \pm 7,02	1147 \pm 343	791 \pm 113	81,06 \pm 5,98	1157 \pm 355	818 \pm 97

TABLO 3: Yüksekliğe göre değişim oranı.

	Sağ			Sol		
	Diz açısı %	Eksenrik N %	Konsantrik N %	Diz açısı %	Eksenrik N %	Konsantrik N %
0 cm-10 cm	6,18°	32,55	11,99	9,41°	14,48	14,38
0 cm-20 cm	8,59°	57,55	33,61	15,36°	41,96	29,23
10 cm-20 cm	2,26°	18,86	19,31	5,44°	24,01	12,98

TABLO 4: Katılımcıların yer tepki kuvvetleri ile diz açıları arasındaki ilişki.

	Sağ ayak				Sol ayak			
	Eksenrik		Konsantrik		Eksenrik		Konsantrik	
	r	p değeri	r	p değeri	r	p değeri	r	p değeri
(0 cm)	0,000	1,00	-0,679	0,09	0,00	1,00	0,857*	0,01
10 cm	0,143	0,76	0,750	0,05	-0,321	0,48	-0,143	0,76
20 cm	0,821*	0,02	0,964**	0,00	0,071	0,87	0,714	0,07

p: Güven aralığı ($p < 0,05$); r: Korelasyon katsayısı.

ve ark., 2015 yılında yapmış oldukları çalışmada, 3 farklı tekniği karşılaştırmış ve 61,90° ve 63,50° diz açıları ile zirve momentlerini incelemişlerdir.¹⁶ Bu çalışmada ise öne hamle egzersizi 69° ve 81° arasında gerçekleştirilerek yük-açı ilişkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar, öne hamle adım egzersizlerinde açılar için bir standart olmadığını ve farklı açılarda yük ilişkisinin araştırıldığını göstermektedir.^{10,15,16} Riemann ve ark.nın yapmış olduğu çalışmada, 91°-96° derece diz açısı ile farklı yüklerle öne hamle adım egzersizinin dış yük ile diz açıları arasında bir ilişki bulunmamıştır.¹⁵ Düz zeminde farklı ağırlıklarla yapılan bu çalışma, ağırlıksız çalışmamızın düz zemin verileriyle paralellik göstermektedir.

Wurm ve ark. tarafından yapılan ve alt ekstremiteye yönelik 4 farklı egzersizin karşılaştırıldığı çalışmada, öne hamle egzersizinin yük değerleri konsantrik fazda eksantrik faza göre daha yüksek bulunmuştur.¹⁷ Bu çalışmada ise eksantrik faz yer tepki kuvvetleri konsantrik faz yer tepki kuvvetlerinden yüksek bulunmuştur. Çalışmamızda öne hamle adım egzersizi düşerek, adımlama şeklinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar arasındaki fark, egzersizin uygulama farkından kaynaklanmış olabilir.

Gao ve ark. farklı ekipman ve farklı yüklerle öne hamle egzersizi yaparak yük ilişkisini incelemişlerdir.¹ Çalışmada yük arttıkça diz açıları azalmıştır. Araştırmacılar, diz fleksiyon açısı ile diz kompresif kuvvetleri arasında bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir.¹ Çalışmamızda diz açılarının azalmasıyla birlikte artan yer tepki kuvvetleri, diz ve eklemlere binen yükün de arttığını düşündürmektedir. Bu açıdan Gao ve ark.nın sonuçları çalışmamızı destekler niteliktedir. Çalışmamızda eksantrik fazdaki yük değerlerinin konsantrik faza göre daha yüksek olmasının, öne düşerek yapılan adımlama tekniğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Alt ekstremiteye yönelik 3 farklı egzersizin (öne hamle adım, reverse ve single leg squat) kinetik ve kinematik etkilerinin incelendiği bir çalışmada, eksantrik fazdaki yük değerleri konsantrik faz değerlerine kıyasla sağ ve sol ayakta daha yüksek bulunmuştur. Sağ ve sol ekstremitelere karşılaştırıldığında, sol ekstremitede yer reaksiyon kuvvetleri daha yüksek bulunmuştur.¹¹ Bu çalışmada, yer reaksiyon kuvveti değerleri sağ ve sol ekstremiteler arasında

karşılaştırıldığında Marchetti ve ark.nın çalışmasıyla paralellik göstermiştir.¹¹ Ancak öne doğru hamle adımı egzersizi farklı yüksekliklerden yapıldığında, sağ ve sol ayakların yer reaksiyon kuvvetleri farklılık göstermiştir. On cm eksantrik fazda sağ ayak yer tepki kuvvetleri, soldan yüksek bulunmuştur. Geriye kalan tüm sağ-sol ekstremitelere karşılaştırmalarında; sol ekstremitede ve 20 cm yüksekliklerde eksantrik faz yer reaksiyon kuvvetleri sol ayakta, konsantrik faz yer reaksiyon kuvvetleri ise sol ayakta daha yüksek bulunmuştur. Bu durum, sağ ayak iniş performansının sol ayaktan yüksek olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda sporcuların kuvvet platformuna indikten sonra geri çıkış fazında sol ekstremitenin kuvvet platformuna daha fazla yüklendiğini göstermektedir.

Tüm katılımcıların baskın ayağı sağ ayaaktır. Egzersizin düz zemindeki (0 cm) eksantrik fazında, denge parametresi yüksekte yapılan egzersize göre daha belirgindir. Önceki çalışmalar, denge performansının ileri hamle adım egzersizlerinde yer reaksiyon kuvvetlerini etkilediğini göstermiştir.^{18,19} Bir başka çalışmada ise nondominant ayağın denge performansı, dominant ayağa göre daha yüksek bulunmuştur.²⁰ Bu çalışmada, düz zeminde gerçekleştirilen egzersizlerin eksantrik fazında sol ayağındaki yer reaksiyon kuvvetlerinin sağ ayağa göre daha yüksek olması, sporcuların kalkış aşamasında kuvvet platformuna yük uygulaması ile açıklanabilir. Ancak 10 cm ve 20 cm yükseklikten yapılan egzersizlerde baskın ayağın daha yüksek yer reaksiyon kuvvetleri ürettiği gözlemlenmiştir. Baskın ayağın yer tepki kuvvetlerinin daha yüksek bulunması, öne hamle adım egzersizlerinin farklı yükseklikteki uygulamalarının, baskın ayak performansını baskın olmayan ayağa oranla daha fazla geliştirebileceğini düşündürmektedir.

SONUÇ

Öne hamle adım egzersizlerinde, düz zeminde sol ayak konsantrik faz diz açıları ile yer reaksiyon kuvveti arasında ve 20 cm yükseklikten yapılan egzersizlerdeki diz açıları ile yer reaksiyon kuvveti değerleri arasında anlamlı korelasyon görülmüş, geriye kalan değerlerde korelasyon görülmemiştir. Ancak yükseklik arttıkça eksantrik ve konsantrik fazda ayaklardan yere yansıyan yükün arttığı tespit edilmiştir.

Farklı yüksekliklerde öne düşerek yapılan öne hamle adım egzersizleri arasında 0 cm yükseklikten 20 cm yüksekliğe kadar yapılan öne hamle adım egzersizleri, 0 cm ve 10 cm'ye kıyasla daha yüksek yer reaksiyon kuvvetleri üretmektedir. Bu açıdan 20 cm yükseklikten öne hamle adım uygulamasının 0 ve 10 cm'ye göre daha zor olduğu söylenebilir. Bu nedenle antrenman programlarında öne hamle egzersizlerine yer verilirken sırasıyla düz zemin (0 cm), 10 cm ve sonrasında 20 cm yüksekliklerin kullanılması önerilebilir. Yirmi cm yükseklikte diz açılanması ile yer tepki kuvveti arasındaki ilişkinin diz açısındaki absorpsiyona bağlı olduğu düşünülmektedir. Araştırmacılar, iniş fazında eklem açısının yer reaksiyon kuvvetine etki ettiği ve açılanma azaldıkça yer reaksiyon kuvvetinin azaldığını belirtmişlerdir.²¹

Baskın olmayan ayakta konsantrik fazda yer tepki kuvvetinin baskın ayağa oranla yüksek çıkması, sporcuların baskın olmayan ayaklarının daha yüksek yer tepki kuvvetleri ürettiğini düşündürmektedir. İlerleyen çalışmalarda baskın ayak ile baskın olmayan ayak arasındaki farkın azaltılmasına yönelik antrenmanlar önerilebilir.

Yapılan bir çalışmada, lunge egzersizinde farklı açılanmaların patellofemoral kompresyon kuvveti ve stresi üzerindeki etkisi hesaplanmıştır. Araştırmacılar, patellofemoral kompresyon kuvveti ve stresi açısından lunge egzersizinde en güvenli diz açısının 0 ile 50 derece olduğunu belirtmişlerdir.²²

Bu çalışmada, yükseklik arttıkça diz açıları artmış, diz fleksiyonu azalmıştır. Diz açılanmalarının

artması yani diz eklemindeki fleksiyonun azalması bizlere diz eklemindeki kompresif kuvvetlerin ve stresin arttığını düşündürmektedir.

Antrenörlerin, sporcuların, egzersiz uzmanlarının ve fizyoterapistlerin egzersizin kolaydan zora doğru ilerlemesi, kademeli olarak artan yük prensibinin uygulanması ve patellofemoral kompresyon kuvvetinin azaltılması açısından yukarıdaki sırayı takip etmeleri önerilmektedir. Gelecek çalışmalarda diz açılanmaları ile elektromiyografi aktiviteleri arasındaki ilişki araştırılabilir.

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: İrfan Gülmez, Ali Günay; **Tasarım:** İrfan Gülmez, Ali Günay; **Denetleme/Danışmanlık:** İrfan Gülmez; **Veri Toplama ve/veya İşleme:** İrfan Gülmez, Ali Günay; **Analiz ve/veya Yorum:** Ali Günay; **Kaynak Taraması:** Ali Günay; **Makalenin Yazımı:** Ali Günay, İrfan Gülmez; **Eleştirel İnceleme:** İrfan Gülmez; **Kaynaklar ve Fon Sağlama:** Ali Günay; **Malzemeler:** Ali Günay.

KAYNAKLAR

- Gao L, Lu Z, Liang M, Baker JS, Gu Y. Influence of different load conditions on lower extremity biomechanics during the lunge squat in novice men. *Bioengineering (Basel)*. 2022;9(7):272. [Crossref] [PubMed] [PMC]
- Wu HW, Tsai CF, Liang KH, Chang YW. Effect of loading devices on muscle activation in squat and lunge. *J Sport Rehabil*. 2020;29(2):200-5. [Crossref] [PubMed]
- Ekstrom RA, Donatelli RA, Carp KC. Electromyographic analysis of core trunk, hip, and thigh muscles during 9 rehabilitation exercises. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2007;37(12):754-62. [Crossref] [PubMed]
- Farrokhi S, Pollard CD, Souza RB, Chen YJ, Reischl S, Powers CM. Trunk position influences the kinematics, kinetics, and muscle activity of the lead lower extremity during the forward lunge exercise. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2008;38(7):403-9. [Crossref] [PubMed]
- Boudreau SN, Dwyer MK, Mattacola CG, Lattermann C, Uhl TL, McKeon JM. Hip-muscle activation during the lunge, single-leg squat, and step-up-and-over exercises. *J Sport Rehabil*. 2009;18(1):91-103. [Crossref] [PubMed]
- Krause DA, Elliott JJ, Fraboni DF, McWilliams TJ, Rebhan RL, Hollman JH. Electromyography of the hip and thigh muscles during two variations of the lunge exercise: a cross-sectional study. *Int J Sports Phys Ther*. 2018;13(2):137-42. [Crossref] [PubMed] [PMC]
- Godwin M, Stanhope E, Bateman J, Mills H. An acute bout of self-myofascial release does not affect drop jump performance despite an increase in ankle range of motion. *Sports (Basel)*. 2020;8(3):37. [Crossref] [PubMed] [PMC]

8. Jamaludin NI, Sahabuddin FNA, Raja Ahmad Najib RKM, Shamsul Bahari MLH, Shaharudin S. Bottom-Up Kinetic Chain in Drop Landing among University Athletes with Normal Dynamic Knee Valgus. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(12):4418. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
9. Ebben WP, Feldmann CR, Dayne A, Mitsche D, Alexander P, Knetzger KJ. Muscle activation during lower body resistance training. *Int J Sports Med*. 2009;30(1):1-8. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
10. Park S, Huang T, Song J, Lee M. Comparative study of the biomechanical factors in range of motion, muscle activity, and vertical ground reaction force between a forward lunge and backward lunge. *Physical Therapy Rehabilitation Science*. 2021;10(2):98-105. [[Crossref](#)]
11. Marchetti PH, Guiselini MA, da Silva JJ, Tucker R, Behm DG, Brown LE. Balance and lower limb muscle activation between in-line and traditional lunge exercises. *J Hum Kinet*. 2018;62:15-22. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
12. Du Y, Fan Y. Changes in the kinematic and kinetic characteristics of lunge footwork during the fatiguing process. *Applied Sciences*. 2020;10(23):8703. [[Crossref](#)]
13. Fernández-González P, Koutsou A, Cuesta-Gómez A, Carratalá-Tejada M, Miangolarra-Page JC, Molina-Rueda F. Reliability of Kinovea® software and agreement with a three-dimensional motion system for gait analysis in healthy subjects. *Sensors (Basel)*. 2020;20(11):3154. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
14. Escamilla RF, Zheng N, MacLeod TD, Imamura R, Wang S, Wilk KE, et al. Patellofemoral joint loading in forward lunge with step length and height variations. *J Appl Biomech*. 2022;38(4):210-20. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
15. Riemann BL, Lapinski S, Smith L, Davies G. Biomechanical analysis of the anterior lunge during 4 external-load conditions. *J Athl Train*. 2012;47(4):372-8. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
16. Comfort P, Jones PA, Smith LC, Herrington L. Joint kinetics and kinematics during common lower limb rehabilitation exercises. *J Athl Train*. 2015;50(10):1011-8. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
17. Wurm BJ, Garceau LR, Vander Zanden TL, Fauth ML, Ebben WP. Ground reaction force and rate of force development during lower body resistance training exercises. *ISBS-Conference Proceedings Archive*. 2010. [[Link](#)]
18. Marchetti PH, Jarbas da Silva J, Jon Schoenfeld B, Nardi PS, Pecoraro SL, D'Andréa Greve JM, et al. Muscle activation differs between three different knee joint-angle positions during a maximal isometric back squat exercise. *J Sports Med (Hindawi Publ Corp)*. 2016;2016:3846123. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
19. Prilutsky BI. Coordination of two- and one-joint muscles: functional consequences and implications for motor control. *Motor Control*. 2000;4(1):1-44. Erratum in: *Motor Control* 2000;4(3):373. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
20. Erkmen N, Suveren S, Göktepe AS, Yazıcıoğlu K. Farklı branşlardaki sporcuların denge performanslarının karşılaştırılması [The comparison of balance performance of the athletes who are in different branches]. *Sportmetre Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*. 2007;5(3):115-22. [[Crossref](#)]
21. Escamilla R, Zheng N, MacLeod TD, Imamura R, Wilk KE, Wang S, et al. Patellofemoral joint loading during the performance of the forward and side lunge with step height variations. *Int J Sports Phys Ther*. 2022;17(2):174-84. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
22. Escamilla RF, Zheng N, MacLeod TD, Edwards WB, Hreljac A, Fleisig GS, et al. Patellofemoral compressive force and stress during the forward and side lunges with and without a stride. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2008;23(8):1026-37. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]