



Sporcularda Foot Core Sistemi: İntrinsik Ayak Kaslarının Antrenmanı ve Atletik Performansa Etkileri

Kadri ER¹ , Ertuğrul GELEN²

Özet

Amaç: Bu derleme çalışmasının amacı, ayak intrinsik kaslarının sporcularda performansın artırılması ve alt ekstremité yaralanmalarının önlenmesindeki etkinliğini değerlendirmektir. Biyomekanik, anatomik ve antrenman bilimlerine dayandırılmış güncel kanıtlar ışığında ayak intrinsik kas antrenmanlarının sporcu antrenman programlarına entegrasyonu incelenmiştir.

Yöntem: Bu çalışmada, 2010–2025 yılları arasında yayımlanmış bilimsel makaleler, sistematik derlemeler, meta-analizler, deneysel araştırmalar ve vaka çalışmaları incelenerek foot core antrenmanlarının atletik performans, postüral kontrol ve yaralanma önleme üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Literatür taraması; Web of Science, PubMed, Scopus, SportDiscus, Google Scholar ve Academic Search Ultimate veri tabanlarında gerçekleştirilmiştir. Tarama sırasında "foot core training", "intrinsic foot muscles", "short foot exercise", "plantar arch stability", "foot muscle activation", "postural control", "balance and foot biomechanics", "neuromuscular foot function" ve "injury prevention in athletes" anahtar kelimeleri kullanılmıştır. Anahtar kelimeler, Boolean operatörleri ile birleştirilmiş ve yalnızca tam metin erişimi olan İngilizce çalışmalar dahil edilmiştir. Literatür seçimi, başlık, özet ve tam metin taraması ile yapılmış; çalışmalarda kullanılan ölçüm yöntemleri, örneklem grubu, müdahale süresi ve sonuç değişkenleri dikkate alınarak analiz gerçekleştirilmiştir.

Sonuç: Ayak intrinsik kas antrenmanının, medial ark desteğini artırdığı, denge ve postüral kontrolü iyileştirdiği, verimli yürüyüş ve itiş mekanikleri sağladığı ve atletik popülasyonda yaralanma riskini azalttığı tespit edilmiştir. Spor özgü programlara entegre edilen izometrik ve dinamik egzersizler, kuvvet ve propriyosepsiyon gelişimiyle birlikte fonksiyonel hareket kalitesini artırmıştır. Ancak metodolojik çeşitlilik ve uzun dönem takip eksikliği, standartlaştırılmış protokollerin önemini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Atletik Performans, Ayak İntrinsik Kasları, Foot Core Antrenmanı, Yaralanma Önleme.

Foot Core System in Athletes: Training of Intrinsic Foot Muscles and Its Effects on Athletic Performance

Abstract

Aim: The purpose of this narrative review is to assess the function of the intrinsic foot muscles in optimizing sporting performance, improving the mechanics of movement, and preventing injury to the lower limb. The review aggregates biomechanical, anatomical, and sport science literature justifying the incorporation of intrinsic foot muscles training into sporting conditioning.

Methods: In this study, scientific articles, systematic reviews, meta-analyses, experimental researches and case studies published between 2010 and 2025 were examined to evaluate the effects of foot core training on athletic performance, postural control and injury prevention. The literature search was conducted in Web of Science, PubMed, Scopus, SportDiscus, Google Scholar and Academic Search Ultimate databases. The keywords "foot core training", "intrinsic foot muscles", "short foot exercise", "plantar arch stability", "foot muscle activation", "postural control", "balance and foot biomechanics", "neuromuscular foot function" and "injury prevention in athletes" were used during the search. Keywords were combined with Boolean operators and only English studies with full-text access were included. Literature selection was made by title, abstract and full-text scanning; analysis was performed considering the measurement methods used in the studies, sample group, intervention period and outcome variables.

Conclusion: Evidence substantiates that intrinsic foot muscles training augments medial arch support, enhances balance and posture control, assists in optimal gait and propulsion mechanics, and minimizes risk of injury in sport populations. Isometric and dynamic protocols, when implemented as part of sport-specific conditioning, produced quantifiable gains in strength, proprioception, and functional movement quality. Although promising, heterogeneity of methods and absence of long-term data underscore the necessity for controlled, longitudinal studies.

Keywords: Athletic Performance, Foot Core Training, Injury Prevention, Intrinsic Foot Muscles.

Gönderi Tarihi : 09.05.2025

Kabul Tarihi : 25.06.2025

Online Yayın Tarihi

: 30.06.2025

<https://doi.org/10.18826/useeabd.1696185>

GİRİŞ

Sporcu gelişimi, fiziksel kondisyon, psikolojik hazırlık, beslenme stratejileri ve yapılandırılmış antrenman programları gibi performansını etkileyen birçok parametreyi barındıran bütüncül bir yaklaşımını gerekli kılmaktadır. Antrenman bilimi ve rehabilitasyon alanındaki araştırmalar ilerlemeye

¹ Sorumlu Yazar: Sakarya Üniversitesi, Sağlık hizmetleri MYO, Terapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Türkiye, kadrier@sakarya.edu.tr

² Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Spor bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü, Türkiye, gelen@subu.edu.tr



devam ettikçe, atletik parametrelerin optimize edilmesi ve yaralanma riskinin en aza indirilmesi için insan fizyolojisi ve anatomik sistemlerinin derinlemesine anlaşılması gerekliliği giderek daha fazla önemli hale gelmektedir. Ancak önemli bir anatomik yapıya sahip olan ayak, bu bütünleşik paradigmadaki uzun süredir yeterince dikkate alınmamıştır. Koşu ve sıçrama sırasında tüm zemin reaksiyon kuvvetleri ayaklar aracılığıyla iletilmesinin yanında performansa ve yaralanma önlemeye katkıları çoğu zaman göz ardı edilmiştir. Ayak yalnızca pasif bir destek noktası değil, atletik hareketler sırasında şok emilimine, kuvvet transferine ve stabilizasyona yardımcı olan biyomekanik olarak aktif bir arayüzdür (Jastifer, 2023; Tourillon ve ark., 2019). Özellikle, ayağın içinde yerleşik bulunan intrinsik ayak kasları, kemer stabilitesini düzenleyerek ve itici güce yardımcı olarak ince motor kontrolüne ve dinamik desteğe katkıda bulunur (Dygut & Piwowar, 2022; Jaffri ve ark., 2023). Kinetik bağlantı ilkesi, insan vücudunun bir zincir halkaları şeklinde birbiriyle ilişkili bağlantılarının nasıl değerlendirilebileceğini açıklar. Bir segmentin hareketi, o segmentin hem proksimalindeki hem de distalindeki segmentleri etkiler (Ellenbecker & Aoki, 2020). Dolayısıyla ayak kaslarında zayıflık veya zayıf koordinasyon nedeniyle düşük performans gösterdiğinde, buna bağlı olarak tüm alt ekstremité mekaniği etkilenebilir ve potansiyel olarak yaralanmalara yol açabilir (Jaffri ve ark., 2023; Wilmot ve ark., 2019). Bu tür yaralanmaları önlemek, özellikle sporcular arasında önemli ve gereklidir. Sulowska-Daszyk ve arkadaşları (2020), koşucuların yaklaşık %39,5'inin yaralanma nedeniyle bir antrenman sezonunu tamamlayamadığını ve bunların %75'inden fazlasının aşırı kullanımla ilişkili olduğunu bildirmişlerdir. Bu yaralanmalar genellikle tekrarlayan strese ve kas dengesizliklerinden, eklem gevşekliğinden veya optimum olmayan ayak mekaniğinden kaynaklanan hatalı hareket kalıplarına dayandırılır. Kısa ayak egzersizleri foot core antrenmanı gibi müdahaleler, dinamik kontrolü artırmak, motor koordinasyonunu iyileştirmek ve yaralanma riskini azaltmak için etkili stratejiler olarak ortaya çıkmıştır (Chen ve ark., 2022; Ichikawa ve ark., 2024; Wang ve ark., 2024).

Erken çalışmalar bu yaklaşımları genellikle izole bir şekilde incelerken, güncel araştırmalar ayak hedefli programları daha geniş atletik gelişim modelleri içine entegre etmeye başlamıştır. Bu entegrasyon, intrinsik ayak kaslarının sadece ayak fonksiyonunda değil, aynı zamanda tüm vücut performansını ve yaralanmaya direncini artırmadaki rolünü vurgulamaktadır. Bu nedenle ayakların aktif işlevini spor odaklı antrenman programlarına entegre etmek, alt ekstremité performansını optimize etme ve uzun vadeli kas-iskelet sağlığını desteklemede yeni bir bakış açısı sunabilir (Chouhan ve ark., 2022; Poomsalood ve ark., 2023; Ramírez-delaCruz ve ark., 2022).

YÖNTEM

Bu çalışmada, 2010–2025 yılları arasında yayımlanmış bilimsel makaleler, sistematik derlemeler, meta-analizler, deneysel araştırmalar ve vaka çalışmaları incelenerek foot core antrenmanlarının atletik performans, postüral kontrol ve yaralanma önleme üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Literatür taraması; Web of Science, PubMed, Scopus, SportDiscus, Google Scholar ve Academic Search Ultimate veri tabanlarında gerçekleştirilmiştir. Tarama sırasında "foot core training", "intrinsic foot muscles", "short foot exercise", "plantar arch stability", "foot muscle activation", "postural control", "balance and foot biomechanics", "neuromuscular foot function" ve "injury prevention in athletes" anahtar kelimeleri kullanılmıştır. Anahtar kelimeler, Boolean operatörleri ile birleştirilmiş ve yalnızca tam metin erişimi olan İngilizce çalışmalar dahil edilmiştir. Literatür seçimi, başlık, özet ve tam metin taraması ile yapılmış; çalışmalarda kullanılan ölçüm yöntemleri, örneklem grubu, müdahale süresi ve sonuç değişkenleri dikkate alınarak analiz gerçekleştirilmiştir.

Ayağın Anatomisi

İnsan ayağı, kas-iskelet sisteminin vücut ağırlığını desteklemek, etkili hareket kabiliyeti sağlamak ve mekanik yükleri karşılamak için tasarlanmış, yapısal ve işlevsel olarak karmaşık bir bileşendir. Ayak, 26 kemik, 33 eklem ve 100'den fazla kas, tendon ve bağdan oluşur (Ridge ve ark., 2022). Anatomik olarak arka ayak (talus ve kalkaneus), orta ayak (naviküler, küboid ve küneiform kemikler) ve ön ayak (metatarslar ve falanksalar) olmak üzere üç bölüme ayrılır; her biri hareket ve dengede farklı roller üstlenir. İntrinsik ayak kasları, ayağın iç dengesi ve işlevselliğinin temelini oluşturur. Tamamen ayağın içinde yer alan bu kaslar (örneğin, abductor hallucis, flexor digitorum brevis, quadratus plantae), ayak parmaklarının hareketlerini kontrol eder, medial longitudinal kemerin desteklenmesine katkıda bulunur ve değişen yükler altında adaptif direnci düzenler. İntrinsik ayak kaslarının aktif katılımı, özellikle

dinamik koşullar altında duruşsal dengeyi artırır (Sulowska-Daszyk ve ark., 2017; Tourillon ve ark., 2019).

McKeon ve arkadaşları (2015) ayak fonksiyonunu birbirine bağlı üç alt sisteme kategorize eden foot core sistemini tanım olarak öne sürmüşlerdir; pasif (kemikler, bağlar, fasya), aktif (kaslar) ve nöral (duyusal reseptörler) olarak bölümlenmiş olan bu model, lumbopelvik çekirdek çerçevesine benzer bir kavram olarak benimsenmiştir ve ayak sağlığını korumada yapısal bütünlüğü, motor kontrolü ve propriosepsiyonun koordinasyonunda etkili olduğunu kabul etmektedir.

Tablo 1. Ayak çekirdek sisteminin fonksiyonel alt sistemleri McKeon ve ark. (2015) uyarlanmıştır

Alt Sistem	Bileşenler	Fonksiyonlar
Pasif	Kemikler, bağlar, plantar fasya	Yapısal destek ve stabilite sağlar
Aktif	İntrinsik ve ekstrinsik kaslar	Hareket üretir, arki stabilize eder ve hareketi kontrol eder
Nöral	Plantar duyu reseptörleri	Propriosepsiyonu ve duyu geri bildirimini düzenler

Ayak çekirdek sistemini anlamak ve bu sistemi stratejik olarak hedeflemek, optimal alt ekstremite biyomekaniğini sürdürmek, atletik performansı artırmak ve yaralanma risklerini azaltmak açısından kritik öneme sahiptir. Bu alt sistemler, dinamik bir etkileşimle ayağın bir tepki platformu gibi işlev görmesini sağlar. Özellikle intrinsik ayak kaslarının aktivasyonu, yalnızca yerel dengeye değil, aynı zamanda alt ekstremite boyunca zemin reaksiyon kuvvetlerinin etkili modülasyonuna da katkıda bulunur (Jastifer, 2023; Ridge ve ark., 2022). Ayak kaslarının yetersiz işlevi, atletik popülasyonlarda plantar fasiit, halluks valgus ve metatarsophalangeal eklem stresi gibi aşırı kullanım yaralanmalarıyla ilişkilendirilmiştir (Chouhan ve ark., 2022; Tourillon ve ark., 2024). Bu nedenle, intrinsik kasları güçlendirmeye yönelik antrenmanlar hem performans artışı hem de yaralanma önleme açısından hayati önem taşır.

İntrinsik ve ekstrinsik Kaslar

Ayak kasları, tamamen ayağın içinde bulunan içsel kaslar ve alt bacdktan kaynaklanan dışsal kaslar olarak ikiye ayrılır. İçsel kaslar ayak parmaklarının ince hareketlerini ayarlar, denge ve kemer desteğine katkıda bulunurken, tibialis anterior veya gastrocnemius gibi dışsal kaslar dorsifleksiyon ve plantar fleksiyon gibi büyük hareketleri yönetir. Her iki grup da ayak çekirdeğinin aktif alt sisteminde sinerjik olarak çalışsa da içsel işlevdeki bir eksiklik genellikle dışsal kasları telafi etmeye zorlar ve bu da yüklenme veya dengesizlik riskini artırır (Sulowska-Daszyk ve ark., 2016, 2017). Ayak intrinsik kaslarını güçlendirerek bu dengesizlik düzeltilebilir, nöromekanik kontrol iyileştirilebilir ve tüm kinetik zincirin bütünlüğü artırılabilir (Jaffri ve ark., 2023). Bu gruplar arasındaki anatomik ve işlevsel koordinasyonu anlamak, sporcu sağlığı ve antrenman bilminde etkili program ve rehabilitasyon stratejileri geliştirmek için önemlidir.

İntrinsik Ayak Kaslarının Önemi

Ayak intrinsik kasları özellikle sporcularda ayak ve alt ekstremite fonksiyonunun önemli ancak genellikle yeterince vurgulanmayan bileşenleridir. Abdüktör hallucis, flexor digitorum brevis, flexor hallucis brevis ve quadratus plantae gibi bu kaslar tamamen ayağın içinde bulunur. Medial longitudinal kemeri korumaya, dengeyi desteklemeye ve atletik aktiviteler sırasında mekanik yükü yönetmeye katkıda bulunurlar (Lee & Choi, 2019; Sulowska-Daszyk ve ark., 2017). Statik desteğin ötesinde, ayak intrinsik kasları performans ve yaralanma önleme için gerekli olan duruş düzenlemesinde ve enerji geri dönüşünde dinamik bir rol oynar. Koşu gibi yüksek etkili aktiviteler sırasında, zemin reaksiyon kuvvetleri vücut ağırlığının 2,5 katına kadar ulaşabilir. Ayak intrinsik kasları bu kuvvetleri emmeye ve etkili yük dağılımını sağlamaya yardımcı olur. Ayak intrinsik kaslarındaki zayıflık veya zayıf koordinasyon, özellikle uzun mesafe koşucuları arasında plantar fasiit, stres kırıkları ve Aşıl tendinopatileri başta olmak üzere çeşitli kullanım yaralanmalarıyla ilişkilendirilmiştir (Ridge ve ark., 2022).

Ayak intrinsik kasları, dinamik ayak stabilitesi sağlamak için pasif ve nöral alt sistemlerle birlikte ayak çekirdek sisteminin bir parçası olarak çalışır (McKeon ve ark., 2015). Aynı zamanda orta ayak hizalamasını kontrol eder, yüklenme sırasında kemeri stabilize eder ve basıncı yeniden dağıtarak lokalize stresi önlerler (Sulowska-Daszyk ve ark., 2020). Bozulmuş ayak intrinsik kas aktivasyonu, aşırı orta ayak hareketine ve instabiliteye neden olabildiği gibi tam tersine, kısa ayak egzersizi gibi ayak intrinsik kas hedefli egzersizler, özellikle yüklenme aşamasında propriosepsiyonu, kemer yüksekliğini ve tek bacak dengesini iyileştirir (Dewir & El Laithy, 2024; Ünver ve ark., 2022). Ayak intrinsik kaslarının atletik

performans üzerindeki etkisi çok yönlüdür. Kemer bütünlüğünü koruyarak ve direncini düzenleyerek, zıplama, koşma ve yön değişiklikleri sırasında verimli hareketi kolaylaştırır (Morikawa ve ark., 2021; Smith ve ark., 2022). Elastik özellikleri itme ve enerji verimliliğine katkıda bulunur. Benzer bir şekilde havlu kıvrırma ve çıplak ayak egzersizleri gibi güçlendirme protokollerinin sıçrama yüksekliğini, çevikliği ve dengeyi iyileştirdiği gösterilmiştir (Hirota ve ark., 2024; Lai ve ark., 2021). Özellikle, ayak intrinsik kaslarının antrenmanı diz eklemi torku gibi proksimal performans bağlantılarını iyileştirerek distal ve proksimal segmentlerin birbirine bağlılığını güçlendirebilir (Sulowska-Daszyk ve ark., 2020).

Pes planus veya Pes kavus gibi ayak duruşu anormallikleri yük dağılımını değiştirir ve yaralanma riskini artırır. Ayak intrinsik kaslar hedefli müdahalelerin bu anormallikler üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle voleybol, futbol ve buz hokeyi gibi sporlardaki sporcularda Ayak Duruş İndeksi puanlarını ve hareket verimliliğini iyileştirdiği gösterilmiştir (Veltrie, 2020).

İçsel Ayak Kasları İçin Antrenman Yöntemleri

Bu kasların önemini fark eden spor profesyonelleri, ayak intrinsik kaslar egzersizlerini giderek daha geniş antrenman rutinlerine entegre ediyorlar. Kısa ayak egzersizi gibi teknikler, abductor hallucis gibi temel kasları harekete geçirir ve genellikle duyuşal girdiyi en üst düzeye çıkarmak için çıplak ayakla yapılır (Heindel & Buchanan, 2018). Bu egzersizler, yüzey çeşitliliği, yük modülasyonu ve dinamik tatbikatlar gibi ek karmaşıklıklarla modifiye edilebilirler. Destekleyici yöntemler arasında posterior tibialis aktivasyonu için dirençli inversiyon, proprioseptif yürüyüş ve Aşıl kuvveti için eksantrik topuk düşürme bosu veya stabil olmayan yüzeyler kullanılarak yapılan gelişmiş egzersizler, nöromüsküler kontrolü daha da zorlar ve alt ekstremité adaptasyonlarını artırır (Tourillon ve ark., 2024).

Medial longitudinal kemeri korumaktan, şoku emmekten ve dinamik aktiviteler sırasında ayağı sabitlemekten sorumlu olan bu kaslar, çıplak ayak rutinleri, izometrik, dinamik güçlendirme, nöromüsküler elektriksel stimülasyon uyarımı ve proprioseptif denge eğitiminin bir kombinasyonu yoluyla çeşitli yöntemlerle pragramlara dahil edilmektedir (Heindel & Buchanan, 2018; McKeon & Fouchet, 2015; Vincent & Vincent, 2018). Çıplak ayak egzersizleri, ayakkabı kısıtlamalarını ortadan kaldırarak sensörimotor geri bildirimi artırırken, kısa ayak egzersizleri, havlu kıvrırma ve kubbeleme gibi görevler doğrudan abdüktör hallucis'i ve ilişkili dengeleyicileri harekete geçirmektedirler (Fouchet & McKeon, 2015; Tourillon ve ark., 2019b). Bu egzersizler genellikle proksimal zincir tutulumunu ele almak için posterior tibialis direnç çalışması ve eksantrik aşıl egzersizi ile desteklenirler. Biyofeedback cihazları ve nöromüsküler elektriksel stimülasyonu ayrıca uygun aktivasyon ve teknik güçlendirmelerde faydalanan diğer yöntemlerdir (Kao ve ark., 2024; Latey ve ark., 2020). Dengesiz yüzeylerde ayak parmaklarının fleksiyonu, dorsifleksiyon tutuşları veya ayak taş-kâğıt-makas rutinleri gibi görevler aracılığıyla yapılan izometrik kasılma odaklı egzersizler, genellikle motor kontrolünü güçlendirmek için statik kas aktivasyonuna odaklanır. Bu aktiviteler medial ve lateral kemer aktivasyonunu artırır ve duruş düzenlemesini iyileştirirler (Kanayama ve ark., 2024; Ridge ve ark., 2022). Klinik kanıtlar, tekrarlanan izometrik görevlerin dinamik kontrolü iyileştirdiğini ve orta ayak eklem stresini azalttığını hem rehabilitasyonu hem de yaralanma önlemeyi desteklediğini göstermektedir (Kelly, 2015; Willemse ve ark., 2022).

Dinamik ayak intrinsik kas antrenmanı, çıplak ayakla koşma, zıplama ve çeviklik egzersizlerinde görüldüğü gibi, kontrollü hareketi yük adaptasyonu ile bütünleştirir. Bu egzersizler elastik enerji kullanımını desteklerken, kuvvet geliştirme oranını artırır ve yüksek performans talepli görevler sırasında eklem aşırı yüklenmesini azaltır (Sulowska-Daszyk ve ark., 2020; Tourillon ve ark., 2024). Egzersizler denge odaklı antrenmanla birlikte dengesiz yüzeylerde uygulandığında proprioseptiyon ve nöromüsküler verimliliği daha da iyileştirirler (Kavya & Kutty, 2022; Lai ve ark., 2021). Bu yöntemlerin dahil edilmesi hem sporcular hem de yaşlı popülasyonlarda yürüyüşü, çevikliği ve düşme direncini arttırdığı yönünde faydalar göstermiştir (Suzuki ve ark., 2024; Willemse ve ark., 2022). Değişken direnç altında tek bacaklı görevler için Denge antrenman programları ayak-zemin etkileşimini hedeflemek için statik ve dinamik protokollerini kullanır. Bu müdahaleler basınç kontrolü merkezinde, duruş hizalamasında ve kas koordinasyonunda iyileştirmeler sağlar (Kao ve ark., 2024; Słomka ve ark., 2018).

Kronik ayak bileği instabilitesi olan bireyler veya motor bozuklukları olan çocuklar gibi klinik popülasyonlarda, ayak intrinsik kas odaklı denge çalışmaları fonksiyonel performansta rehabilite edici faydalar ve kazanımlar göstermiştir (Lee & Choi, 2019; Muthupandikumar R. ve ark., 2024). Toplu olarak, bu çalışma stratejileri ayak çekirdeği kondisyonuna yönelik çok yönlü bir yaklaşımı yansıtır.

İzometrik tutuşları, dinamik hareketleri ve denge çalışmalarını duyuşal geri bildirim araçlarıyla birleştirek, ayak intrinsik kas antrenmanı ayak fonksiyonunda bütünsel iyileştirmeleri teşvik eder ve alt ekstremité kinetik zincir performansına ve dayanıklılığına anlamlı bir şekilde katkıda bulunurlar.

Antrenmanın Atletik Performans Üzerindeki Etkileri

Ayak intrinsik kasları, ayak stabilitesini, dengeyi, kuvvet iletimini ve yaralanma önlemeyi artırarak atletik performansa kritik bir şekilde katkıda bulunur. Bu kasları güçlendirmek, özellikle medial longitudinal kemeri desteklemede, pronasyonu kontrol etmede ve hareketin itme evrelerinde sertlik sağlamada etkilidir. Bu işlevler, sprint, zıplama ve yön değiştirme gibi dinamik aktiviteler için önemlidir. Yapılandırılmış ayak intrinsik kas müdahalelerine giren katılımcılar, dar duruş ve gözler kapalı koşullar altında daha iyi ayak basıncı dağılımı ve gelişmiş denge sergilerken, yaşlı yetişkinler kısa fiziksel performans bataryası puanlarında kazanımlar ve basınç merkezi alanında azalma göstermişlerdir (Kao ve ark., 2024). Ek olarak, kum yüzey gibi doğal dengesizliği simüle eden eğitim ortamları, artan ayak intrinsik kas aktivasyonu ve üstün dinamik denge ile ilişkilendirilmiştir (Suzuki ve ark., 2024).

Bazı protokoller genel güç çıktısında önemli gelişmeler göstermese de ayak bileği itmesi, tepe güç çıktısı ve hız gelişiminde iyileşmeler, elastik enerjinin daha iyi kullanımı ve verimli esneklik gibi ayak kinetiği ile ilgili faydalı etkiler göstermiştir (Sulowska-Daszyk ve ark., 2020; Tourillon ve ark., 2019; Kanayama ve ark., 2024). Örneğin, havlu toplama ve ayak taş-kâğıt-makas rutinleri ayak parmaklarının fleksör kuvvetinde ve dikey sıçrama performansında kazanımlara yol açmıştır (Kanayama ve ark., 2024). Altı haftalık kısa ayak egzersizi müdahaleleri amatör koşucularda fonksiyonel hareket kalıplarını ve miyofasyal esnekliği geliştirerek telafi edici aşırı kullanım yaralanmaları riskini azaltmıştır (Sulowska-Daszyk ve ark., 2020). Bu uyarlamalar özellikle sprint, atlama ve dans gibi patlayıcı disiplinlerdeki katılımcılar için önemlidir. Ayak intrinsik kas ayrıca ayrıca kemeri stabilize ederek, pronasyonu yöneterek ve proprioseptif geri bildirimi artırarak yaralanmaların önlenmesine katkıda bulunur. Kısa ayak ve ayak kubbesi egzersizleri gibi müdahaleler, instabiliteyle ilişkili sorunları nedeniyle programa alınan sporcularda ayak intrinsik kas aktivasyonunu iyileştirir ve yeniden yaralanma riskini azaltır (Edwards ve ark., 2024). Nöromusküler elektrik stimölasyonu ve çeşitli yüzeylerde çıplak ayakla yapılan egzersizler gibi gelişmiş programlar, denge ve ağırlık merkezi kontrolünün geliştirilmesinde ek faydalar göstermiştir (Yamaguchi & Nishimoto, 2024) ve FIFA 11+ gibi daha geniş önleyici rejimlere entegre edilmeleri düşünülmüştür (Longo ve ark., 2022).

Ayak intrinsik kas antrenmanının spora özgü uygulamaları arasında futbol, basketbol ve buz hokeyi oyuncularında çeviklik, denge ve duruş geliştirmeleri (Veltrie, 2020) ve esnek düz tabanlı dansçılarda gelişmiş denge (Kavya & Kutty, 2022) yer alır. Ayak intrinsik kas gücü, yürüme ve koşma verimliliği, sprint hızı, ayak parmakları basınç kuvveti ve çeviklik görevlerindeki koordinasyonla ilişkilidir (Abe ve ark., 2016; Kanayama ve ark., 2024). Kısa ayak, havlu kıvrılması ve nöromusküler elektrik stimölasyonu tekniklerini içeren programlar, özellikle sıçrama ve yanıl manevralar gibi yüksek talep senaryolarında morfolojik kazanımlar ve performans avantajları göstermektedir. Genel olarak, ayak intrinsik kas antrenmanı çeşitli popölasyonlar ve spor bağlamlarında denge, güç, nöromusküler verimlilik ve yaralanma dayanıklılığını olumlu yönde etkiler. Bu müdahaleleri, propriosepsiyon ve göreve özgü dinamikleri vurgulayan daha geniş atletik programlara entegre etmek, optimum sonuçlara ulaşmak yeterli gerekçeler sunmaktadır.

Biyomekanik Hususlar

Ayak intrinsik kas antrenmanı, ayak sertliğini düzenleyerek, yük dağılımını modüle ederek ve atletik aktiviteler sırasında kinetik zincir verimliliğini iyileştirerek önemli biyomekanik faydalar sağlar. Bu işlevin merkezinde, bütünlüğü kas, bağ ve sinir sistemlerinden gelen koordineli girdiye bağlı olan medial longitudinal kemer bulunur. Ayak intrinsik kaslarını güçlendirmek, özellikle geç duruş sırasında, halluksun dorsi fleksiyonunun plantar fasyayı sıkılaştırdığı, ayak sertliğini artırdığı ve enerji kaybını en aza indirdiğı windlass mekanizmasını geliştirerek yürüyüşün dinamik evrelerinde kemeri destekler (Tourillon ve ark., 2019). Ayak intrinsik kaslarının diğer bir önemli bir biyomekanik özelliği, plantar aponevroz, medial longitudinal kemer ve metatarsofalangeal eklemlerin etkileşimi yoluyla elastik enerji depolama ve salınımını sağlayan windlass mekanizmasıdır. Windlass mekanizması ayağın biyomekaniğinde önemli bir rol oynar ve özellikle yürüyüş ve hareket sırasında içsel ayak kaslarını etkiler. Bu fizyolojik mekanizma, ayak parmakları dorsifleksiyon gerçekleştirdikçe gerginliğe maruz

kalan, sonuç olarak medial uzunlamasına kemeri yükselten ve ambulasyonun itme fazı boyunca ayak sertliğini artıran plantar aponeurozu içerir. Abdüktör hallucis, flexor digitorum brevis ve quadratus plantae'yi içeren ayağın doğal kas yapısı, kemerin sertliğini ve deformasyonunu ayarlayarak bu mekanizmada hayati bir rol üstlenir ve böylece hareketin verimliliğini ve stabilitesini etkiler (Matsumoto & Ogihara, 2024; Oishi ve ark., 2018; Song ve ark., 2013). Ayak intrinsik kasları, özellikle flexor digitorum brevis ve abductor hallucis, kemer sertliğini düzenleyerek ve enerji Emilimi ve geri tepmeye yardımcı olarak bu mekanizmayı aktif olarak destekler ve böylece itme kuvveti verimliliğini artırır (Kelly, 2015; R. Smith ve ark., 2023). Araştırmalar, windlass mekanizmasının verimliliğinin, özellikle yüksek yük koşulları veya hızlı yön değişiklikleri altında ayak intrinsik kas aktivasyonunun gücü ve zamanlaması tarafından düzenlendiğini göstermektedir (Sichting & Ebrecht, 2021; Wegener ve ark., 2015). Eşzamanlı kasılma yoluyla, ayak intrinsik kasları orta ayağın stabilizasyonunu destekler ve yürüyüşün itme fazı sırasında kuvveti etkili bir şekilde yeniden yönlendirmeye yardımcı olur (Shinohara, 2025; Welte ve ark., 2018). Bu, daha fazla itme verimliliğine ve koşu ekonomisine katkıda bulunur. Ayak intrinsik kas antrenmanı, yükü medial ön ayağa ve merkezi topuğa kaydırarak plantar basınç dağılımını optimize eder, istikrarlı itme mekanizmasını teşvik eder ve aşırı pronasyonu azaltır. Bu etkiler, duruş ve zıplama görevleri sırasında daha merkezi basınç yörüngeleri ve dengeli kuvvet uygulamasında yansıtılır (Sulowska-Daszyk ve ark., 2020).

Ayak intrinsik kaslarının etkisi ayağın ötesine uzanır ve ayak bileğine, diz ve kalçaya etkili yük aktarımını kolaylaştırır. Gelişmiş proprioepsiyon ve aktif kemer desteği, telafi edici eklem stresini azaltır ve aşırı tibial iç rotasyon veya diz valgus çökmesi gibi biyomekanik yanlış hizalamaları önler (Jastifer, 2023; Ridge ve ark., 2022). Bu segmentler arası adaptasyonlar, ayak intrinsik kaslarının genel hareket mekanizmasını optimize etmedeki önemini vurgular. Yürüyüş sırasında, antrene bireyler gelişmiş kadans, adım uzunluğu ve yürüyüş simetrisi sergiler ve ayak parmaklarının yerden kalkması sırasında ayak parmaklarının fleksör etkileşimi artar. Bu, daha yumuşak geçişler ve gelişmiş lokomotor verimlilikle sonuçlanır (Ichikawa ve ark., 2024b; Wang ve ark., 2024).

Elektromiyografik çalışmalar, duruş ayarlaması veya dengesiz yüzeylerde hareket gerektiren görevler sırasında ayak kaslarının zamanlama ve eş-kasılma modellerinin iyileştiğini göstererek ayak intrinsik kas antrenmanının nöromekanik faydalarını doğrulamaktadır (Kanayama ve ark., 2024; Willemse ve ark., 2024b). Geliştirilmiş ön aktivasyon stratejileri ve koordineli kas katılımı, yüksek hızlı atletik hareketler sırasındaki bozulmalara daha hızlı yanıtlar verilmesine ve daha iyi kontrol sağlanmasına katkıda bulunmaktadır. Bu biyomekanik ve nöromusküler iyileştirmeler yalnızca lokalize ayak fonksiyonunu değil, aynı zamanda özellikle hızlı yön değişiklikleri, yavaşlama ve patlayıcı kuvvet üretimi içeren görevlerde bütüncül bir şekilde atletik performansı da desteklemektedir (Chouhan ve ark., 2022; Tourillon ve ark., 2024).

Araştırma Çalışmaları ve Bulguları

Mevcut literatür, ayak intrinsik kas antrenmanının atletik performans, duruş kontrolü ve yaralanma önleme üzerindeki etkilerini değerlendiren giderek artan sayıda çalışma sunmaktadır. Rastgele kontrollü denemelerden, vaka çalışmalarından, meta analizlerden ve karşılaştırmalı araştırmalardan elde edilen bu bulgular, hedeflenen ayak intrinsik kas antrenman müdahalelerinin biyomekanik ve işlevsel faydaları hakkında ikna edici kanıtlar sunmaktadır. Rastgele denemeler, ayak intrinsik kas antrenmanının dinamik hareket kalitesini, esnekliği ve nöromekanik kontrolü geliştirdiğini göstermiştir. Örneğin, Sulowska-Daszyk ve arkadaşları (2020) amatör koşucularla altı haftalık bir müdahale gerçekleştirerek miyofasyal esneklikte ve hareket tarama modellerinde önemli gelişmeler göstermiştir. Benzer bir programı izleyen üniversiteli futbolcular, içsel gücü, kemer sertliğini ve duruş dengesini geliştirmiş ve bu da ayak intrinsik kas antrenmanının yüksek etkili ortamlarda yararlılığını ve güvenliğini göstermektedir. Ek olarak, elektromiyografik çalışmalar, ayak intrinsik kas antrenmanının, özellikle dengesiz yüzeylere ve reaktif denge görevlerine yanıt olarak kas aktivasyonunun zamanlamasını ve büyüklüğünü iyileştirerek nöromekanik koordinasyonu arttırdığını göstermiştir (Willemse ve ark., 2024a). Bu adaptasyonlar, çok yönlü sporlarda daha yumuşak ağırlık kaydırmaya, daha az sallanmaya ve daha iyi hareket kontrolüne katkıda bulunur. Benzer şekilde, Heindel ve Buchanan (2018) esnek düz tabanlı bir gazinin yan yatarak kısa ayak antrenmanından sonra duruşunun iyileştiğini ve ağrısının azaldığını gözlemledi.

Dansçılar ve buz hokeyi oyuncularını gibi spora özgü popülasyonlardan elde edilen kanıtlar, dört ila altı haftalık müdahalelerin çevikliği, dengeyi ve ayak duruşunu iyileştirdiğini ortaya koymaktadır (Kavya & Kutty, 2022; Veltrie, 2020). Bu etkiler, aşırı pronasyonun ileri-eğik yürüyüş ve ters yürüme

teknikleriyle ele alındığı yaşlı yetişkinlerde ve klinik vakalarda da doğrulandı (Sulowska ve ark., 2016). Rastgele denemelerin meta analizleri, protokollerdeki belirtilen heterojenliğe rağmen müdahaleden sonra ayak kemeri yüksekliği için standartlaştırılmış ortalama farkın -0,964 olduğunu belirten bir incelemeyle ayak duruşunda ve kas gücünde önemli gelişmeler bildirmektedir (Sulowska ve ark., 2016). Tibialis posterior güçlendirmeyi ortez kullanımına karşı değerlendiren karşılaştırmalı çalışmalar, kas bazlı yaklaşımlar kullanıldığında ayak fonksiyonu ve nöromekanik hizalamada daha üstün sonuçlar elde edildiğini göstermektedir (Edwards ve ark., 2024).

Bu olumlu sonuçlara rağmen, araştırma boşlukları devam etmektedir. Birçok çalışma, adaptasyonların sürdürülebilirliğini değerlendirmek için uzun vadeli takiplerden yoksun, kısa vadeli değişikliklere odaklanmaktadır. Dahası, kadın sporcular, yaşlı yetişkinler ve eğlence amaçlı bireyler gibi popülasyonlar yeterince temsil edilmemektedir. Gelecekteki çalışmalar bu boşlukları ele almalı ve denemeler arasında karşılaştırılabilirliğe izin vermek için standart protokoller benimsemelidir. Görsel veri sentezini (postüral salınım ve kemer sertliğinin uzunlamasına grafikleri gibi) dahil etmek, bulguların netliğini ve uygulanabilirliğini artırabilir. Sonuç olarak, toplu kanıtlar, ayak intrinsik kas antrenmanının dengeyi, verimliliği ve yaralanma dayanıklılığını artırmadaki etkinliğini teyit ederken, gelecekteki araştırmalarda tutarlı metodolojilere ve daha geniş örnekleme alanı ihtiyacı vurgulanmaktadır.

Antrenörler ve Sporcular İçin Pratik Uygulamalar

Giderek artan sayıda kanıt, ayak intrinsik kaslarının atletik performans, yaralanma önleme ve duruş kontrolündeki kritik rolünü vurgulamaktadır. Bu kanıtları etkili eğitim stratejilerine dönüştürmek, spora özgü talepleri, antrenman ortamlarını ve sporcu özelliklerini dikkate alan kapsamlı ancak kişiselleştirilmiş bir yaklaşım gerektirir. Bu amaçla, antrenörler ve sporcular, kısa ayak egzersizleri ve havlu kıvrımları gibi izole aktivasyon tatbikatlarıyla başlayıp, zıplama, çeviklik merdiven çalışması veya dengesiz yüzeylerde tek ayaklı duruş gibi dinamik ve işlevsel görevlere doğru kademeli olarak ilerleyen, periyodikleştirilmiş ayak intrinsik kas antrenman programları benimsemelidir. Bu rutinleri ısınma, kuvvet seansları veya toparlanma blokları içine yerleştirmek, sürekliliği sağlamaya yardımcı olur ve antrenmana bağlı aşırı yüklenmeyi en aza indirir. 15-30 dakika süren 2-3 haftalık seans sıklığının hem performans hem de rehabilitasyon bağlamlarında etkili olduğu gösterilmiştir (Sulowska-Daszyk ve ark., 2020; Veltrie, 2020).

Ayak intrinsik kas antrenmanını spora özgü ihtiyaçlara göre uyarlamak etkinliğini artırır. Çok yönlü çevikliğin ve hızlı ayak tepkilerinin hayati önem taşıdığı futbol ve basketbolda, yan sıçramalar, çıplak ayakla sprint antrenmanları ve dengesiz zeminde hızlı yön değişiklikleri gibi antrenmanlar önerilir. Koşu ve atletizm sporları için, yokuş yukarı çıplak ayak koşuları ve ayak sertliğine yönelik plyometrikler gibi müdahaleler itme mekanizmasını optimize edebilir. Dönüşler ve inişler sırasında hassas ayak bileği-ayak hizalaması gerektiren dans veya artistik patinaj gibi disiplinler, düz olmayan veya dengesiz yüzeylerde denge ve ince motor kontrolünü vurgulayan ayak intrinsik kas antrenmanlarından faydalanır. Bu değişiklikler yalnızca performansı iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda müdahaleleri işlevsel taleplerle hizalayarak yaralanma riskini de azaltır.

İzole rutinler olmaktan ziyade, ayak intrinsik kas egzersizleri nöromusküler antrenmanlar içinde sorunsuz bir şekilde entegre edilmelidir. Örneğin, kısa ayak aktivasyonu plyometrik yükleme aşamaları sırasında başlangıç olarak verilebilir; proprioseptif görevlerde, sporculara medial kemer basıncını kontrol etmeleri ve dengeli ayak hizalamasını korumaları talimatı verilebilir. Bu bütünleştirici model, kinetik zincir stabilitesini yerden yukarıya doğru güçlendirerek sistemik motor kontrol iyileştirmelerini teşvik eder. Etkili izleme ve geri bildirim sistemleri hem uyumu hem de motor öğrenmeyi geliştirir. Antrenörler, ayak duruşundaki, ağırlık dağılımındaki veya duruşsal salınımdaki değişiklikleri izlemek için dokunsal ipuçlarını (örn. bantlama), görsel geri bildirimi (örn. aynalar) veya giyilebilir basınç sensörleri ve akıllı telefon hareket uygulamaları gibi teknoloji tabanlı araçları kullanabilir. Algılanan ayak yorgunluğu, kemer gerginliği veya stabilite güveni gibi öznel ölçütler de antrenman yoğunluğu ve ilerlemesindeki devam eden ayarlamaları bilgilendirir.

Antrenman değerlendirmeleri popülasyonlara göre değişmelidir. Genç sporcular için hafif çıplak ayak aktiviteleri ve eğlenceli rutinler (havlu kıvrma veya ayak yogası gibi) temel motor becerilerini teşvik edebilir. Elit sporcular, özellikle jimnastik veya dövüş sanatları gibi yüksek ayak-zemin etkileşimli sporlarda, ayak intrinsik kas odaklı ısınma ve ön rehabilitasyon egzersizlerini düzenli performans

döngülerine yerleştirmekten faydalanırlar. Rehabilitasyondaki sporcular için, oturarak izometrik ayak intrinsik kas kasılmalarından kontrollü tek bacaklı duruş egzersizlerine kademeli ilerleme, yeniden yaralanma riskini en aza indirirken duyuusal-motor gelişimlerine katkı sağlar.

Ayak intrinsik kas müdahalelerinin genel olarak düşük riskli doğasına rağmen, aşırı kullanım veya zayıf teknik ayak bileği veya baldır kaslarında yorgunluğa yol açabilir. Bunu azaltmak için ilerleme, hacim veya yoğunluktan ziyade nöromüsküler kaliteye göre belirlenmeli ve antrenörler teknik uygulamayı gözlemleyip yükleme parametrelerini buna göre ayarlamalıdır. Kontrollü ve tutarlı bir şekilde uygulandığında, ayak intrinsik kas antrenmanı performans sonuçlarını iyileştirmek, yaralanmayı önlemek ve uzun vadeli kas-iskelet sağlığına katkıda bulunma bakımından etkili bir potansiyele sahiptir.

Zorluklar ve Sınırlamalar

Ayak intrinsik kas egzersizlerine olan ilginin artmasına rağmen hem araştırma hem de uygulamada sınırlamalar devam etmektedir. Metodolojik olarak, ayak intrinsik kas kuvveti ve aktivasyonunun ölçülmesinde dışsal kas yapısından kaynaklanan müdahaleler nedeniyle zorluklar ortaya çıkmakta ve aynı gün öncesi-sonrası testlerinin sınırlı kullanımı iç geçerliliği azaltmaktadır (Soysa ve ark., 2012; Sulowska-Daszyk ve ark., 2020). Ayak biyomekaniği karmaşıktır ve genellikle klinik ortamlarda rutin olarak erişilemeyen gelişmiş modelleme veya görüntüleme teknikleri olmadan güvenilir bir şekilde yakalanamamaktadır. Sporcular ayrıca yaş, anatomik yapı veya koordinasyon kapasitesinden etkilenen ayak intrinsik kas antrenmanına çeşitli yanıtlar göstermektedir (James ve ark., 2018). Bu durum kişiselleştirilmiş müdahaleleri ve muhtemelen dinamik sistemler teorisi gibi çerçeveler tarafından yönlendirilen adaptasyon yollarının daha ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasını gerektirir. Uygulama engelleri etkinliği daha da sınırlandırır. Ek olarak, çoğu araştırma kısa vadeli etkilere odaklanmış durumda ve birkaç çalışma 6-12 haftadan uzun sürüyor veya mevsimsel yaralanma eğilimlerini inceliyor. Standart protokollerin ve doğrulanmış sonuç ölçümlerinin olmaması, çalışmalar arasında karşılaştırmaları daha da karmaşık hale getiriyor. Bu sınırlamaların üstesinden gelmek için, gelecekteki araştırmalar titiz metodolojik tasarım, popülasyon çeşitliliği ve uzun vadeli takibi önceliklendirmelidir. Standartlaştırılmış, ölçeklenebilir antrenman protokollerini ve doğrulanmış işlevsel sonuç araçları oluşturmak, kanıt ve uygulama arasındaki boşluğu kapatmaya yardımcı olacaktır. Sensör tabanlı geri bildirim sistemleri ve dijital izleme uygulamaları gibi teknolojik gelişmeler hem klinik hem de spor ortamlarında uyumu, erişilebilirliği ve hassasiyeti daha da kolaylaştırabilir.

Sonuç olarak, ayak intrinsik kas antrenmanı atletik performansı ve alt ekstremité sağlığını geliştirmek için umut verici bir sınır temsil ediyor. Ancak, yaygın olarak benimsenmesi, değerlendirme, kişiselleştirme, standardizasyon ve uzunlamasına etkinliklerle ilgili temel zorlukların çözülmesine bağlıdır. Spor ve rehabilitasyonda ayak intrinsik kas tabanlı müdahalelerin tam potansiyelini gerçekleştirmek için çok disiplinli ve bireyselleştirilmiş bir yaklaşım önemlidir.

Araştırmada Gelecekteki Yönler

Ayak intrinsik kaslarının işlevine ilişkin anlayış derinleştikçe, gelecekteki araştırmalar metodolojileri iyileştirmeyi, uzun vadeli adaptasyonları ele almayı ve uygulamaları çeşitli popülasyonlara yaymayı hedeflemelidir. Mevcut kanıtlar ve sınırlamalar üzerine inşa edilerek, ayak intrinsik kas antrenmanının bilimsel ve pratik önemini artırmak için birkaç öncelikli yön ortaya çıkmıştır.

Öncelikli bir yol, ayak intrinsik kas gücünü, morfolojisini ve işlevini değerlendirmek için gelişmiş, invaziv olmayan araçların geliştirilmesidir. Ultrasonografi ve yüzey elektromiyografisi yaygın olarak kullanılmasına rağmen, genellikle içsel aktiviteyi izole etmede özgüllükten yoksundurlar. Yüksek çözünürlüklü taşınabilir ultrason, eylemsiz hareket sensörleri ve yapay zekâ destekli yürüyüş analizi gibi yeniliklerin hem klinik hem de atletik bağlamlarda ölçüm doğruluğunu ve uygulanabilirliğini artırması beklenmektedir (Kao ve ark., 2024; Rodrigues ve ark., 2023). Bu araçlar, özellikle giyilebilir cihazlar ve gerçek zamanlı analizlerle entegre edildiğinde, ayak işlevinin ve nöromüsküler adaptasyonun uzaktan izlenmesine olanak tanıyabilir.

Uzun dönem araştırmaları bir diğer önemli odak alanıdır. Mevcut çalışmaların birçoğu 4-8 hafta boyunca sonuçları değerlendirirken, çok azı antrenman sonrası uzun vadeli etki, dönemsel değişkenlik veya gerileme eğilimlerini inceler. Ayak intrinsik kas antrenmanının 6 ila 12 ay boyunca sürdürülebilir faydalarını değerlendirmek, önleyici ve performans artırıcı potansiyeli hakkında daha fazla içgörü

sağlayacaktır. Müdahaleleri daha hassas bir şekilde uyarlamak için bulguları spor, yaş, cinsiyet ve rekabet düzeyine göre sınıflandırmak da gereklidir.

Ayrıca, dijital sağlık teknolojilerinin entegrasyonu, ayak intrinsik kas müdahalelerinin erişimini ve etkinliğini genişletmek için yeni fırsatlar sunar. Rehberli eğitim, oyunlaştırılmış ilerleme takibi ve kişiselleştirilmiş geri bildirim sunan mobil uygulamalar, özellikle gençler veya rehabilite edilen bireyler arasında katılımı artırabilir. Bu arada, tabanlıklara veya çoraplara yerleştirilmiş giyilebilir sensörler, biyomekanik verileri gerçek zamanlı olarak yakalayabilir, uzaktan müdahalelerin hassasiyetini iyileştirebilir ve büyük ölçekli veri toplamayı mümkün kılabilir. Gelecekteki çalışmalar, içsel ayak kası aktivasyonunun nörofizyolojik ve biyomekanik yollar aracılığıyla proksimal kontrol mekanizmalarını nasıl etkilediğini araştırmalıdır. Kas-iskelet simülasyonları ve nörogörüntüleme gibi yaklaşımlar, ayağın kinetik zincir içindeki rolünü çözmeye ve bütünleştirici rehabilitasyon ve performans modellerini bilgilendirmeye yardımcı olabilir (R. Smith ve ark., 2023).

Ayak intrinsik kas araştırmasının kapsamını atletik olmayan popülasyonları da kapsayacak şekilde genişletmek de aynı derecede önemlidir. Yaşlılar, çocuklar ve denge bozukluğu veya kas-iskelet bozuklukları olan bireyler, ayağa özgü müdahalelerden önemli ölçüde faydalanabilir. Yürüyüş stabilitesi, düşme önleme ve rehabilitasyon sonuçları üzerindeki etkilerin araştırılması, ayak intrinsik kas antrenmanı yalnızca bir performans aracı değil, bir halk sağlığı varlığı olarak konumlandırabilir (Willemse ve ark., 2022)

Bu gelişmeleri pekiştirmek için, temel sonuç alanları ve standart eğitim protokolleri konusunda fikir birliği gereklidir. Aşağıdaki Tablo 2, ortaya çıkan araştırma önceliklerini ve önerilen metodolojik stratejileri özetlemektedir:

Tablo 2. İAK Antrenmanında gelecekteki araştırma önceliklerinin özeti

Araştırma Alanı	Odak Noktası	Önerilen Araçlar veya Yaklaşımlar
Uzun dönem ve spora özgü	Kalıcı etkiler, spora özel adaptasyonlar	Dönemsel izleme, gruplara ayrılmış kontrollü çalışmalar
Gelişmiş değerlendirme araçları	Gerçek zamanlı, non-invaziv ve kasa özgü veriler	Ultrason, Emg, yapay zekâ destekli analizler
Dijital sağlık ve giyilebilir teknoloji	Uzaktan antrenman, geri bildirim ve katılım	Mobil uygulamalar, akıllı tabanlıklar, oyunlaştırma, artırılmış gerçeklik, biofeedback
Mekansal araştırmalar	Nöro-mekanik modelleme ve bütünsel entegrasyon	Kas-iskelet modelleme, nörogörüntüleme, sonlu eleman simülasyonları
Toplum sağlığına yönelik uygulamalar	Düşmeler, yürüme stabilitesi, rehabilitasyon, iş ortamları	Düşme riski taraması, hedef popülasyonlara özel müdahale çalışmaları

Ayak intrinsik kaslarının araştırmasını ilerletmek metodolojik kesinlik, teknolojik yenilik ve disiplinler arası iş birliği gerektirecektir. Kişiye özel protokoller, uzun vadeli izleme ve kapsayıcı çalışma tasarımları, foot core antrenmanının performans geliştirme, rehabilitasyon ve halk sağlığı çerçevelerine etkili bir şekilde entegre edilmesini destekleyecektir.

Sonuç olarak, ayak intrinsik kas antrenmanları bir paradigma değişimini yansıtır: ayağı mekanik bir uç noktadan atletik hareketin işlevsel bir kökenine yeniden tanımlar. Gelecekteki araştırmalar, ayak intrinsik kaslarının performansı optimize etme ve sporunun uzun ömürlülüğünü koruma potansiyelini tam olarak gerçekleştirmek için biyomekanik, sinirbilim, giyilebilir teknoloji ve spora özgü talepleri harmanlayan disiplinler arası metodolojileri benimsemelidir. Bilim olgunlaştıkça, mesaj netleşir: eğitim ayaktan başlar ve ilerleme yukarı doğru yayılır.

SONUÇ

Ayak intrinsik kasları, göz ardı edilen anatomik bileşenler olmaktan atletik performansın, nöromüsküler kontrolün ve yaralanma dayanıklılığının temel düzenleyicilerine dönüşmüştür. Bu inceleme ayak intrinsik kaslarının işlevselliğinin kemer stabilizasyonunun çok ötesine uzandığını, itme, propriosepsiyon, denge ve kinetik zincir boyunca kuvvetlerin iletilmesine dinamik katkılar içerdiğini göstermiştir. Ayak çekirdek çerçevesinin aktif, pasif ve sinirsel alt sistemlerine entegrasyonları, onları alt ekstremité biyomekaniğinde merkezi unsurlar olarak konumlandırır.

Biyomekanik modellerden, performansa dayalı denemelerden ve klinik araştırmalardan sentezlenen kanıtlar, hedeflenen Ayak intrinsik kas antrenmanının hareket verimliliğini iyileştirdiğini, sprint, atlama ve çeviklik gibi spora özgü performansı artırdığını ve özellikle uzun mesafe koşucuları, dansçılar ve saha sporcuları gibi yüksek talep gören popülasyonlarda duruş kontrolüne ve yaralanma önlemeye

önemli ölçüde katkıda bulunduğunu doğrulamaktadır. Kısa ayak egzersizi, ayak parmaklarını açma, izometrik tutuşlar, dinamik çıplak ayak egzersizleri ve nöromüsküler elektriksel stimülasyonu gibi egzersizleri kullanan protokoller çeşitli ortamlarda etkililik göstermiştir. Ayrıca, giyilebilir teknoloji ve yapay zekâ destekli hareket analizindeki gelişmeler hem klinik hem de performans ortamlarında kişiselleştirilmiş eğitim geri bildirimi, uzaktan izleme ve ekolojik geçerlilik için yeni olanaklar sunmaktadır. Ancak, alan hala heterojen metodolojiler, kısa müdahale süreleri ve uzun vadeli etki ve spora özgü uyarlamalar hakkında sınırlı veri gibi zorluklarla karşı karşıyadır. AİK faydalarını halk sağlığı sonuçlarına dönüştürmek için pediatrik, yaşlı ve klinik kohortlar dahil olmak üzere daha geniş nüfus çalışmalarına ihtiyaç vardır.

ÖNERİLER

Pratik bir bakış açısından, antrenörler, terapistler ve performans uzmanları, kapsamlı kondisyonlama ve rehabilitasyon programlarına ayak intrinsik kas antrenmanı sistematik olarak entegre etmeye teşvik edilmektedir. Ayak, pasif bir taban olarak değil, yerden yukarıya doğru kuvveti, koordinasyonu ve dengeyi modüle edebilen aktif, eğitilebilir bir yapı olarak görülmelidir. Böyle bir yaklaşım, aşırı pronasyon, medial çöküş veya kinetik zincir işlev bozukluklarını hedefleyen yaralanma önleme stratejilerinde özellikle önemlidir. Ayak intrinsik kas antrenmanları bir paradigma değişimini yansıtır: ayağı mekanik bir uç noktadan atletik hareketin işlevsel bir kökenine yeniden tanımlar. Gelecekteki araştırmalar, ayak intrinsik kaslarının performansı optimize etme ve sporcunun uzun ömürlülüğünü koruma potansiyelini tam olarak gerçekleştirmek için biyomekanik, sinirbilim, giyilebilir teknoloji ve spora özgü talepleri harmanlayan disiplinler arası metodolojileri benimsemelidir. Bilim olgunlaştıkça, mesaj netleşir: eğitim ayaktan başlar ve ilerleme yukarı doğru yayılır.

KAYNAKÇA

- Abe, T., Tayashiki, K., Nakatani, M., & Watanabe, H. (2016). Relationships of ultrasound measures of intrinsic foot muscle cross-sectional area and muscle volume with maximum toe flexor muscle strength and physical performance in young adults. *Journal of Physical Therapy Science*, 28(1), 14-19. <https://doi.org/10.1589/jpts.28.14>
- Chen, Z., Li, Y., Zhang, Y., Zhang, Z., Wang, J., Deng, X., ... & Song, B. (2022). Analysis of Visual Risk Factors of Anterior Cruciate Ligament Injury of Knee Joint. *Journal of Clinical Medicine*. <https://doi.org/10.3390/jcm11195602>
- Chouhan, R., Misra, A., Soni, R., Joseph, A., Umate, R., Chouhan, R., ... & Umate, R. (2022). Effectiveness of Plyometrics Along With Pilates Exercises in Increasing Vertical Jump Performance Among Basketball Players. *Cureus*, 14(12). <https://doi.org/10.7759/CUREUS.32957>
- Dewir, I. M., & El Laithy, M. H. (2024). Effect of Short-Foot Exercise on Dynamic Balance of Subject With Acquired Flat Foot: Telerehabilitation Single Case Study. *Fiz Pol*. <https://doi.org/10.56984/8zg5608hq5>
- Dygut, J., & Piwowar, M. (2022). Muscular Systems and Their Influence on Foot Arches and Toes Alignment—Towards the Proper Diagnosis and Treatment of Hallux Valgus. *Diagnostics*. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12122945>
- Edwards, C. M., Puranda, J. L., Miller, I., Aboudlal, M., O'Rourke, N., MacDonald, M. L., & Adamo, K. B. (2024). Musculoskeletal Injuries, Exercise Behaviors, and Reproductive Health Are Related to Physical Fitness of Female First-Responders and Health Care Providers. *Women's Health Reports*, 5(1), 393-403.
- Ellenbecker, T. S., & Aoki, R. (2020). Step by Step Guide to Understanding the Kinetic Chain Concept in the Overhead Athlete. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 13(2), 155. <https://doi.org/10.1007/S12178-020-09615-1>
- Fourchet, F., & McKeon, P. O. (2015). 15 Foot Core Strengthening: An Update About the Intrinsic Foot Muscles Recruitment. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095573.15>
- Heindel, M., & Buchanan, K. (2018). Barefoot Rehabilitation Of Type II Posterior Tibialis Tendon Dysfunction In A Veteran: A Case Report. *Case Report Posters*. <https://doi.org/10.1016/j.phsyio.2015.03.273>
- Hirota, K., Watanabe, K., Miyamoto, H., Negishi, K., Watase, M., & Teramoto, A. (2024). Comparison by ultrasound shear wave elastography of toe flexor muscle contraction during MTP flexion exercise and short-foot exercise. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 37(4), 1041-1047. <https://doi.org/10.3233/BMR-230282>

- Ichikawa, S., Kumai, T., Akiyama, Y., Okunuki, T., Maemichi, T., Matsumoto, M., ... & Niki, H. (2024a). *Relationship Between Dynamic Balance and Physical Characteristics of Elite Lifesaving Athletes*. <https://doi.org/10.20944/preprints202406.1866.v1>
- Ichikawa, S., Kumai, T., Akiyama, Y., Okunuki, T., Maemichi, T., Matsumoto, M., ... & Niki, H. (2024b). Relationship Between Dynamic Balance and Physical Characteristics and Functions in Elite Lifesaving Athletes. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. <https://doi.org/10.3390/jfmk9030134>
- Jaffri, A. H., Koldenhoven, R., Saliba, S., & Hertel, J. (2023). Evidence for Intrinsic Foot Muscle Training in Improving Foot Function: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Athletic Training*, 58(11-12), 941-951. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-0162.22>
- James, D. C., Solan, M. C., & Mileva, K. N. (2018). Wide-pulse, high-frequency, low-intensity neuromuscular electrical stimulation has potential for targeted strengthening of an intrinsic foot muscle: A feasibility study. *Journal of Foot and Ankle Research*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s13047-018-0258-1>
- Jastifer, J. R. (2023). Intrinsic muscles of the foot: Anatomy, function, rehabilitation. *Physical Therapy in Sport*, 61, 27-36. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2023.02.005>
- Kanayama, T., Takata, Y., Asai, K., Kimura, M., Yoshimizu, R., Kinuya, S., ... & Nakase, J. (2024). Quantifying lower limb skeletal muscle activity changes after 3 months of intrinsic foot muscle training: A randomized controlled trial. *Journal of Sports Medicine And Physical Fitness*. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.24.16425-0>
- Kao, S.-L., Hsiao, M.-L., Wang, J.-H., Chen, C.-S., Chen, S.-Y., Shiao, Y.-J., & Yang, C.-H. (2024). Effects of integrated intrinsic foot muscle exercise with foot core training device on balance and body composition among community-dwelling adults aged 60 and above. *BMC Geriatrics*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12877-024-04945-y>
- Kavya, K., & Kutty, N. N. (2022). Effect of Foot Intrinsic and Tibialis Posterior Muscle Training on Dynamic Balance in Bharatanatyam Dancers a Comparative Study. *Indian Journal of Physiotherapy and Occupational Therapy - An International Journal*. <https://doi.org/10.37506/ijpot.v16i3.18393>
- Kelly, L. A. (2015). *In-vivo function of human plantar intrinsic foot muscles*. <https://doi.org/10.14264/UQL.2015.341>
- Lai, Z., Pang, H., Hu, X., Dong, K., & Wang, L. (2021). Effects of intrinsic-foot-muscle exercise combined with the lower extremity resistance training on postural stability in older adults with fall risk: study protocol for a randomised controlled trial. *Trials*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s13063-021-05554-5>
- Latey, P. J., Eisenhuth, J., McKay, M. J., Hiller, C. E., Sureshkumar, P., Nightingale, E. J., & Burns, J. (2020). Feasibility of the Archercise biofeedback device to strengthen foot musculature. *Journal of Foot and Ankle Research*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s13047-020-00394-z>
- Lee, D.-R., & Choi, Y.-E. (2019). Effects of a 6-week intrinsic foot muscle exercise program on the functions of intrinsic foot muscle and dynamic balance in patients with chronic ankle instability. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 15(5), 709-714. <https://doi.org/10.12965/jer.1938488.244>
- Longo, U. G., Papalia, R., Salvatore, S. De, Greco, A., Marino, M., Bravi, M., ... & Denaro, V. (2022). Lower Limb Risk Prevention in Athletes: Evaluation and Strategies. *International Journal of Bone Fragility*. <https://doi.org/10.57582/ijbf.220201.033>
- Matsumoto, Y., & Ogiwara, N. (2024). Direct visualization and measurement of the plantar aponeurosis behavior in foot arch deformation via the windlass mechanism. *Clinical Anatomy*, 38(2), 116-126. <https://doi.org/10.1002/CA.24171;CTYPE:STRING:JOURNAL>
- McKeon, P. O., & Fourchet, F. (2015). Freeing the foot. Integrating the foot core system into rehabilitation for lower extremity injuries. *Clinics in Sports Medicine*, 34(2), 347-361. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2014.12.002>
- McKeon, P. O., Hertel, J., Bramble, D., & Davis, I. (2015). The foot core system: A new paradigm for understanding intrinsic foot muscle function. *British Journal of Sports Medicine*, 49(5), 290. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092690>
- Morikawa, M., Maeda, N., Komiya, M., Hirota, A., Mizuta, R., Kobayashi, T., ... & Urabe, Y. (2021). Contribution of plantar fascia and intrinsic foot muscles in a single-leg drop landing and repetitive rebound jumps: An ultrasound-based study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(9). <https://doi.org/10.3390/ijerph18094511>

- Muthupandikumar R., & Premkumar M. (2024). Effectiveness of Intrinsic Foot Muscle Training on Balance, Physical Activity and Quality of Life in Down's Syndrome (DS) Children and Adult Population-A. *researchgate.net*. <https://doi.org/10.53555/kuey.v30i10.8490>
- Oishi, M., Ogihara, N., Shimizu, D., Kikuchi, Y., Endo, H., Une, Y., ... & Ichihara, N. (2018). Multivariate Analysis of Variations in Intrinsic Foot Musculature Among Hominoids. *Journal of Anatomy*. <https://doi.org/10.1111/joa.12780>
- Poomsalood, S., Hanphitakphong, P., Chombanphaeo, T., Phanuphab, M., & Yancuhra, A. (2023). Effects of short foot exercise on Q-angle in individuals with flatfoot. *Journal of Associated Medical Sciences*, 56(3), 162-168. <https://doi.org/10.12982/JAMS.2023.067>
- Ramírez-de la Cruz, M., Bravo-Sánchez, A., Esteban-García, P., Jiménez, F., & Abián-Vicén, J. (2022). Effects of Plyometric Training on Lower Body Muscle Architecture, Tendon Structure, Stiffness and Physical Performance: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine - Open* 2022 8:1, 8(1), 1-29. <https://doi.org/10.1186/S40798-022-00431-0>
- Ridge, S. T., Rowley, K. M., Kurihara, T., McClung, M., Tang, J., Reischl, S., & Kulig, K. (2022). Contributions of Intrinsic and Extrinsic Foot Muscles during Functional Standing Postures. *BioMed Research International*, null(null), 1-9. <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=f1fc45e8-da60-342e-9072-0d6926eca1f1>
- Rodrigues, M. M., Borges, D. C., de Oliveira, L. V., Cabreira, M. T., da Silveira, M. F., & Hentschke, V. S. (2023). Intrinsic Foot Strengthening and Electrostimulation in Older Adults - Randomized Clinical Trial. *Fisioterapia Em Movimento*. <https://doi.org/10.1590/fm.2023.36127>
- Shinohara, H. (2025). Reconsideration of the Load-Bearing Functions of the Plantar Fascia and Intrinsic Foot Muscles in the Windlass Mechanism. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-97477-3>
- Sichting, F., & Ebrecht, F. (2021). The Rise of the Longitudinal Arch When Sitting, Standing, and Walking: Contributions of the Windlass Mechanism. *Plos One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249965>
- Słomka, K. J., Pawłowski, M., Michalska, J., Kamieniarz, A., Brachman, A., & Juras, G. (2018). Effects of 8-Week Complex Balance Training in Young Alpine Skiers: A Pilot Study. *BioMed Research International*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/6804534>,
- Smith, R. E., Lichtwark, G. A., & Kelly, L. A. (2022). Flexor digitorum brevis utilizes elastic strain energy to contribute to both work generation and energy absorption at the foot. *Journal of Experimental Biology*, 225(8). <https://doi.org/10.1242/jeb.243792>
- Smith, R., Lichtwark, G., Farris, D., & Kelly, L. (2023). Examining the intrinsic foot muscles' capacity to modulate plantar flexor gearing and ankle joint contributions to propulsion in vertical jumping. *Journal of Sport and Health Science*, 12(5), 639-647. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2022.07.002>
- Song, S., LaMontagna, C., Collins, S. H., & Geyer, H. (2013). *The Effect of Foot Compliance Encoded in the Windlass Mechanism on the Energetics of Human Walking*. <https://doi.org/10.1109/embc.2013.6610216>
- Soysa, A., Hiller, C., Refshauge, K., & Burns, J. (2012). Importance and challenges of measuring intrinsic foot muscle strength. *Journal of Foot and Ankle Research*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/1757-1146-5-29>
- Sulowska, I., Oleksy, L., Mika, A., Bylina, D., & Soltan, J. (2016). The Influence of Plantar Short Foot Muscle Exercises on Foot Posture and Fundamental Movement Patterns in Long-Distance Runners, a Non-Randomized, Non-Blinded Clinical Trial. *PLOS ONE*, 11(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157917>
- Sulowska-Daszyk, I., Mika, A., & Oleksy, Ł. (2017). The Influence of Plantar Short Foot Muscle Exercises on Foot Posture and Gait Parameters in Long-Distance Runners. *Journal of Kinesiology and Exercise Sciences*. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0011.6820>
- Sulowska-Daszyk, I., Mika, A., & Oleksy, Ł. (2020). Impact of Short Foot Muscle Exercises on Quality of Movement and Flexibility in Amateur Runners. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186534>
- Sulowska-Daszyk, I., Oleksy, Ł., Mika, A., Bylina, D., & Soltan, J. (2016). The Influence of Plantar Short Foot Muscle Exercises on Foot Posture and Fundamental Movement Patterns in Long-Distance Runners, a Non-Randomized, Non-Blinded Clinical Trial. *Plos One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157917>
- Suzuki, K., Kumai, T., Ichikawa, S., Maemichi, T., Okunuki, T., Shimpo, T., Akiyama, Y., Mitsui, H., & Niki, H. (2024). Dynamic Balance and Muscle Activity in Lifesavers: A Study on Intrinsic and Extrinsic Foot Muscles. *Cureus Journal of Medical Science*, 16(8). <https://doi.org/10.7759/cureus.67756>

- Suzuki, M., Kuruma, H., Kato, K., Gota, Y., Kase, H., Fujimoto, H., & Nagashima, R. (2024). Effect of short foot exercise on lower-limb motor control function during single-leg standing in university students with flatfoot: A randomized controlled trial. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 39, 293-298. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2024.02.023>
- Tourillon, R., Fourchet, F., Édouard, P., & Morin, J. (2024). *Effects of a Forefoot Strengthening Protocol on Explosive Tasks Performance and Propulsion Kinetics in Athletes: A Single-Blind Randomized Controlled Trial*. <https://doi.org/10.1101/2024.11.06.24316826>
- Tourillon, R., Gojanovic, B., & Fourchet, F. (2019a). How to Evaluate and Improve Foot Strength in Athletes: An Update. *FRONTIERS IN SPORTS AND ACTIVE LIVING*, 1. <https://doi.org/10.3389/fspor.2019.00046>
- Tourillon, R., Gojanovic, B., & Fourchet, F. (2019b). *How to Evaluate and Improve Foot Strength in Athletes: An Update*. <https://doi.org/10.3389/FSPOR.2019.00046>
- Ünver, B., Taşkıran, H., & AKGÖL, A. C. (2022). Foot Muscle Strength, Muscle Shortness, Balance, and Shoe Preferences in Different Foot Postures. *Clinical and Experimental Health Sciences*. <https://doi.org/10.33808/clinexphealthsci.714950>
- Veltrie, R. E. (2020). *The Effects of Intrinsic Foot Muscle Strengthening on Foot Posture, Balance, and Agility in Ice Hockey Players*. <https://doi.org/10.33915/ETD.7602>
- Vincent, K. R., & Vincent, H. K. (2018). Use of Foot Doming for Increasing Dynamic Stability and Injury Prevention in Runners and Athletes. *Current Sports Medicine Reports*. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000522>
- Wang, J., Wang, Y., Zhou, B., Wang, L., & Lai, Z. (2024). Age-Related Reduction of Foot Intrinsic Muscle Function and the Relationship with Postural Stability in Old Adults. *Clinical Interventions in Aging*, 19, 1005-1015. <https://doi.org/10.2147/CIA.S454068>
- Wegener, C., Greene, A., Burns, J., Hunt, A. E., Vanwanseele, B., & Smith, R. M. (2015). In-Shoe Multi-Segment Foot Kinematics of Children During the Propulsive Phase of Walking and Running. *Human Movement Science*. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2014.11.002>
- Welte, L., Kelly, L. A., Lichtwark, G. A., & Rainbow, M. J. (2018). Influence of the Windlass Mechanism on Arch-Spring Mechanics During Dynamic Foot Arch Deformation. *Journal of the Royal Society Interface*. <https://doi.org/10.1098/rsif.2018.0270>
- Willemse, L., Wouters, E., Bronts, H., Pisters, M. F., & Vanwanseele, B. (2022). The Effect of Interventions Anticipated to Improve Plantar Intrinsic Foot Muscle Strength on Fall-related Dynamic Function in Adults: A Systematic Review. *Journal of Foot and Ankle Research*. <https://doi.org/10.1186/s13047-021-00509-0>
- Willemse, L., Wouters, E. J. M., Pisters, M. F., & Vanwanseele, B. (2024a). Plantar intrinsic foot muscle activation during functional exercises compared to isolated foot exercises in younger adults. *Physiotherapy Theory and Practice*, 40(8), 1656-1668. <https://doi.org/10.1080/09593985.2023.2204947>
- Willemse, L., Wouters, E., Pisters, M. F., & Vanwanseele, B. (2024b). Effects of a 12-Week Intrinsic Foot Muscle Strengthening Training (STIFF) on Gait in Older Adults: A Parallel Randomized Controlled Trial Protocol. *BMC Sports Science Medicine and Rehabilitation*. <https://doi.org/10.1186/s13102-024-00944-z>
- Wilmot, S., Alfonso, A., Velez, J., Research, A. E.-A. in A., & 2019, undefined. (t.y.). The Effect of Sensory Stimulation versus Motor Control Cueing of the Foot on Balance in Elderly Females: Single Group Pretest-Posttest Study. *scirp.org*. Geliş tarihi 04 Mayıs 2025, gönderen <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=96119>
- Yamaguchi, T., & Nishimoto, H. (2024). 719 EP026 – The effects of Shiko, a traditional Japanese training exercise: towards the prevention of running injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 58(Suppl 2), A88-A88. <https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2024-IOC.151>

KAYNAK GÖSTERİMİ

Er, K., & Gelen, E. (202X). Sporcularda Foot Core Sistemi: İntrinsik Ayak Kaslarının Antrenmanı ve Atletik Performansa Etkileri. *Uluslararası Spor, Egzersiz ve Antrenman Bilimi Dergisi - USEABD*, 11(2), 202-214. <https://doi.org/10.18826/usecabd.1696185>