

## İskelet Kaslarının Pasif Mekanik Özellikleri ve Egzersiz

### *Passive Mechanical Properties of Skeletal Muscles and Exercise*

Selim Mahmut GÜNAY<sup>1</sup>, Nevin Aysel GÜZEL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi, Bursa, 0000-0002-7550-5244

<sup>2</sup> Gazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Ankara, 0000-0003-0467-7310

#### ÖZET

Kas lifleri kuvvet iletiminin yanı sıra mekanik özellikleriyle de çevre dokularla etkileşim içerisindedir. İskelet kasının pasif mekanik özellikleri ve mimari yapısı kas fonksiyonunun anlaşılmasında kritik bir öneme sahiptir. Kas mimarisinin ve mekanik özelliklerin tanımlanması ile hastalık, yaşlanma ve travma sebebiyle meydana gelen değişikliklerin teşhis ve tedavisinde olumlu gelişmeler sağlanmıştır.

Literatürde farklı egzersiz yaklaşımlarından germe ve kuvvetlendirme programlarının fasikül uzunluğu, kas sertliği ve kas kalınlığı parametrelerinde değişikliklere neden olabildiği kaydedilmiştir. Statik ve dinamik germe egzersiz uygulama protokolleri arasında farklılıklar vardır. Bununla birlikte germe egzersizleri fasikül uzunluğunda ve hareket açıklığında artış sağlarken; fasikül açısı ve pasif kas sertliğinde azalmaya neden olabilmektedir. Dirençli egzersizlerle erken dönemde pasif kas sertliğinde artış gözlenirken kronik dönemdeki değişimler anlamlı düzeyde değildir. Kas dokusunun egzersize yanıtı egzersizle oluşturulan kasılma tipine göre değişebilmektedir.

Kas dokusunun pasif mekanik özellikleri ve mimari yapısı kas uzunluğunu, hareket açıklığını, kasılma hızı, yaralanma riski ve performans gibi parametreleri etkilemektedir. Egzersiz tipine göre meydana gelen değişimler avantaj ve dezavantaj oluşturabilir. Bu derlemede kas dokusunun mekanik özellikleri, mimari yapısı açıklanarak iskelet kas dokusunun germe ve kuvvetlendirme egzersizlerine yanıtı araştırılmıştır. Bu bağlamda rehabilitasyon sürecinde, performansın geliştirilmesi ve yaralanmaların önlenmesi noktasında iskelet kasının pasif mekanik özelliklerinin ve mimari yapısının göz önünde bulundurulması gerektiği söylenebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Fasikül uzunluğu, Germe, Kas sertliği, Kuvvetlendirme, Ultrason elastografi

#### ABSTRACT

Muscle fibers interact with the surrounding tissues with their mechanical properties in addition to provide force transmission. Passive mechanical properties and architectural structures of skeletal muscle critical to understanding of muscle function. Positive developments have been achieved in diagnosis and treatment of changes caused by disease, aging and trauma with description of muscle architecture and mechanical properties.

In the literature, it is seen that stretching and strengthening programs from different exercise approaches can cause changes in the mechanical properties of the muscle such as fascicle length, muscle stiffness and muscle thickness. There are differences between static and dynamic stretching exercise application protocols. However, while stretching exercises provide an increase in fascicle length and range of motion; it can cause a decrease in fascicle angle and passive muscle stiffness. While an increase in passive muscle stiffness is observed in the early period with resistant exercises, the changes are not significant in the long term. The response of muscle tissue to exercise may vary according to the type of contraction produced by exercise.

Mechanical properties and architectural properties of muscle tissue can effect various parameter such as muscle length, range of motion, contraction speed, injury risk and performance. Passive mechanical properties and muscle architecture of muscle tissue can create advantages and disadvantages depending on movement patterns in daily life or type of sportive activity. In this review, the mechanical properties and architectural structure of muscle tissue were explained and the response of skeletal muscle tissue to stretching and strengthening exercises was investigated. In this context, it can be said passive mechanical properties of skeletal muscle should be considered in prevention of injuries, development of athletic performance or rehabilitation process.

**Key Words:** Fascicle length, Stretching, Muscle stiffness, Strengthening, Ultrasound elastography

**Sorumlu yazar/Corresponding author:** Selim Mahmut GÜNAY, Bursa Uludağ Üniversitesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi, Bursa, selimmg@uludag.edu.tr

**Başvuru/Submitted:** 30.04.2022 **Kabul/Accepted:** 07.10.2022

**Cite this article as:** Günay SM, Güzel NA. Passive Mechanical Properties of Skeletal Muscles and Exercise. J TOGU Heal Sci. 2023;3(1):94-105.

## GİRİŞ

Vücut segmentlerinin hareketi iskelet kaslarının fonksiyonu ile gerçekleşmektedir. Kas lifleri kuvvet iletiminin yanı sıra mekanik özellikleriyle de çevre dokularla etkileşim içerisinde (1). Bu bakımdan iskelet kasının pasif mekanik özellikleri ve egzersizle ortaya çıkan değişiklikler kas fonksiyonunun anlaşılmasında kritik bir öneme sahiptir. Mekanik özelliklerin tanımlanması ile hastalık, yaşlanma ve travma sebebiyle meydana gelen değişikliklerin teşhis ve tedavisinde olumlu gelişmeler sağlanmıştır (2).

Pasif mekanik özellik terimi, iskelet kaslarında istemli kasılma olmadan sabit durumda iken mevcut mekanik özellikleri tanımlamak için kullanılır. İskelet kası mimarisi bir kastaki kas liflerinin kuvvet oluşturma eksenine ve çevresindeki bağ dokusu elemanlarına göre düzenlenmesi olarak açıklanmıştır (3). Kasın mimarisi ve pasif mekanik özellikleri kas tonusu, sertlik, kalınlık, fasikül uzunluğu ve açısı gibi parametrelerle incelenmektedir. Kas sertliği kasta deformasyon oluşturan kuvvetlere karşı kasın gösterdiği direnç olarak tanımlanmıştır (4). Kas kalınlığı yüzeysel ve derin fasyalar arasında kalan mesafeyi, pennasyon açısı fasiküllerin tendon eksenine doğru yaptığı acılaşmayı, fasikül uzunluğu fasyalardan tendona doğru uzanan fasikülün uzunluğunu ifade etmektedir (5).

Kas dokusunun objektif yöntemlerle değerlendirilmesi ile güvenilir verilerin ortaya konmasını sağlamıştır. Manyetik rezonans elastografi, ultrasonografik elastografi, miyotonometri ve elektromyografi iskelet kaslarının pasif mekanik özelliklerinin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerdendir. Kas tonusunun nöral komponentini incelemek amacıyla elektrofizyolojik testler de tercih edilmektedir (6). Bu yöntemler arasında ultrason elastografi (UE) yöntemleri uygulama kolaylığı, ulaşılabilirlik ve maliyet açısından diğer yöntemlere göre daha avantajlıdır. UE yöntemleri kasın mekanik özellikleri ve mimari yapısına dair (sertlik, kalınlık, fasikül uzunluğu, pennasyon açısı vb) objektif veriler sunabilmektedir (7).

Ultrasonografik değerlendirmeler doksanlı yıllardan itibaren tanılama amaçlı kullanılsa da muskuloskeletal yapıları değerlendirilmek amacıyla kullanımı son zamanlarda yaygınlaşmıştır (8).

Farklı doku ve yapıların incelenmesinde çeşitli UE yöntemleri mevcuttur: Strain Elastografi (SE), Tensient Elastografi, Shear Wave Elastografi (SWE) ve ARFI elastografidir. Bu yöntemler basınç uygulama şekli, uygulama yapılan dokunun yer değiştirme ve görüntü oluşturma özelliklerine göre farklılık gösterirler. Klinik kullanım açısından muskuloskeletal yapıların değerlendirilmesinde SE ve SWE yöntemleri kullanılmaktadır (9,10).

SE yöntemi uygulayıcıya bağımlı, elde edilen veriler niteliksel, yarı-kantitatif veya oransaldır (10). Buna ek olarak SE tekniği dokunun bağıl gerilme oranını elde etmek için genellikle sabit elastikiyete sahip standart derialtı yağ dokusu olan referans bölgeye ihtiyaç duyar. Muskuloskeletal uygulamalarda ise bu durumu sağlamak anatomik nedenlerle oldukça zordur (11).

SWE’de konvansiyonel ultrason dalgalarının akustik yayılım kuvveti, ses dalgalarının doku ile etkileşimi sırasında ultrason dalgalarına dik olarak transvers planda yayılım gösteren ve dokularda küçük yer değiştirmelere yol açan kesme dalgalar (shear wave) oluşur (12). Bu teknikte, hafif prob teması yeterli olup kullanıcı değişkenliği ortadan kaldırılmıştır. Dokuya uygulanan kuvvet değişmez olup tek değişken “shear wave” ilerleme hızıdır. Dolayısıyla elde edilen hız değerleri objektif elastisite değerlerini göstermektedir (13). SWE mevcut bölgenin boyut, şekil ve derinlik sınırlamalarına rağmen kas ve tendon yapılarının değerlendirilmesinde kullanışlı, uygulayıcıya bağımlılığı ortadan kaldıran nispeten tekrarlanabilir ve objektif bir yöntemdir (11,12).

Egzersiz uygulamaları ile kaslarda birtakım değişimler ve nöral adaptasyonlar meydana gelmektedir. Fiziksel uygunluk düzeyi ve egzersiz tipine bağlı olarak kas kuvveti, endurans ve fonksiyonel performans artışı olduğu bilinmektedir (14-16).

Performansa ve yaralanmalara etki edebilecek bir diğer parametre de kasın mekanik özellikleridir. Kas dokusunun pasif mekanik özelliklerinin anlaşılması ve kas mimarisine uygun egzersiz programlarının planlanmasıyla atletik performansı artırmak ve yaralanmaların önlenmesi noktasında katkı sağlayabilir.

Bu derlemenin amacı farklı egzersiz uygulamaları ile iskelet kasının pasif mekanik özelliklerinin değişimini güncel veriler doğrultusunda incelemek, ayrıca değişen bu mekanik özelliklerin fiziksel performansa etkisini ve yaralanmaların önlenmesindeki rolünü araştırmaktır.

## **Egzersizlerin Kas mimarisi ve Pasif Mekanik Özelliklere Etkisi**

### ***Germe Egzersizleri***

Esneklik sağlıkla ilgili fiziksel uygunluk parametreleri arasında günlük yaşam kalitesi ve iyilik halinin sağlanmasında önemli rol oynarken, spor yaralanmalarına zemin hazırlayan bir risk faktörü olarak da tanımlanmaktadır (17,18).

Germe egzersizleri genel olarak esnekliği artırmak, sportif performansı iyileştirmek ve kas yaralanma sıklığını azaltmak için egzersiz programlarının bir parçası olarak kullanılır (19). Bu kazanımların elde edilmesi germe ile birlikte kasın pasif sertliğinde azalma ve/veya eklem

hareket açıklığının artmasıyla da ilişkilidir (20). Bu doğrultuda germe egzersizlerinin kasın mekanik özelliklerine etkilerinin bilinmesi performansın artırılması ve yaralanmaların önlenmesi noktasında katkı sağlayabilir.

Kasın pasif mekanik özelliklerini değiştirmek amacıyla statik germe egzersizleri sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöndeki çalışmalarda germe programının süresi, germe miktarı ve uygulama yapılan kas grupları değişkenlik göstermektedir (21).

Germe sonrası akut değişimlerin kas mimarisi ve fonksiyona etkileri ile performans ilişkisi önem taşımaktadır. Statik germenin akut etkisiyle kas sertliğinde azalma sağlanırken, fasikül uzunluğu ve pennasyon açısındaki değişimler halen tartışmalıdır (22,23). César ve ark. sağlıklı erkek katılımcılarda vastus lateralis kasına 3x30sn pasif statik germe yaparak kastaki akut yapısal değişimleri farklı eklem açılarında değerlendirdikleri çalışmada, diz ekstansiyonda yapılan ölçümlerde fasikül uzunluğunda anlamlı artış, fasikül açısında anlamlı azalma olduğu belirtilmiştir. Statik germe egzersizlerinin fasikül uzunluğu ve açısı üzerinde değişiklik oluşturarak kas kasılma hızı ve kuvvet üretme kapasitesine etki edebileceği ileri sürülmektedir (22). Nakamura ve ark. sağlıklı bireylerde 2 dakika süresince (30snx4 tekrar) gastrokinemius kasına germe uygulayarak akut etkileri incelemişler. Uygulama sonrasında hareket açıklığında anlamlı artış sağlandığı, kas sertliğinde ise anlamlı azalma olduğu kaydedilmiştir (23).

İskelet kasları akut ve kronik gerilmeye maruz kaldığında elastik bir davranış kazanır. Mekanik stres sırasında kas dokusu yeniden düzenlenir ve uyarandan ortadan kalktığında eski durumuna geri döner. Bununla birlikte bir program dahilinde yeterli süre ve şiddetteki germe uygulamaları fibril uzunluğu, pennasyon açısı ve kas kalınlığı gibi mekanik özelliklerdeki değişiklikleri fasilite edebilir (24).

Statik germe sonrası akut etkiler incelendiğinde kas kuvveti ve performans ölçümlerinde azalma olduğu belirtilmektedir. Kay ve Blazeviç egzersiz veya sportif aktivite öncesinde 60sn üzerinde germe uygulamasının performansı negatif etkileyebileceğini belirtmişler. Meydana gelen akut kuvvet kaybı “gerilme kaynaklı kuvvet eksikliği” olarak tanımlanmıştır (25). Mevcut kanıtların aksine statik germe egzersizlerinin artmış hareket açıklığı gerektiren veya kasın gerilmiş pozisyonunda kuvvet üretiminin gerekli olduğu sportif aktivitelerden önce uygulanmasının performansa olumlu katkı sağlayabilir (22). Statik germenin uzun süreli uygulanması ile kasta oluşturduğu yapısal değişikliklere ek olarak kuvvet ve atletik performansa olumlu etkileri olabileceği bildirilmektedir (26). Germe egzersizleri ile ilgili standart bir protokol olmayışı performans ölçümlerinin yanı sıra kas dokusunun yapısal özelliklerindeki değişikliklerle ilgili farklı görüşlere neden olmaktadır.

Statik germe, ekstremitenin uygun pozisyona getirilerek kas/tendon yapılarının gerilmesini ve bu pozisyonun belli bir süre korunmasını içerir. Dinamik germe uygulamasında hareket tekrarlanırken kas boyu uzatılarak kasılma sağlanırken hareket açıklığında kademeli artış gerçekleştirilir (27). Statik ve dinamik germe egzersizleri uygulama şekli itibariyle kas dokusunun kontraktıl ve kontraktıl olmayan yapılarında zamanla farklı değişiklikler ortaya çıkarabilir.

Mevcut kanıtlar aktivite öncesi dinamik germe egzersizlerinin performansa katkı sağladığını ve yaralanmaları önleme programları içerisinde ve aktivite öncesi ısınma sırasında bu uygulamalara yer verilebileceğini bildirmektedir (28). Ancak dinamik germenin kas/tendon yapılarına mekanik etkileri hakkında farklı görüşler yer almaktadır. Dinamik germe egzersizlerinin maksimum eklem hareket açıklığı ve gerilme toleransında artış sağladığı bilinmektedir (28,29). Bu değişikliklere karşın kasın mekanik özelliklerinde akut ve kronik değişimlere neden olmadığını belirten (21,28) çalışmalarla birlikte dinamik germe egzersizlerinin kas sertliğini azalttığını göstererek, fasikül uzunluğu ve pennasyon açısında değişiklikler oluşturabileceğini ileri süren araştırmalar bulunmaktadır (29, 30). Şekir ve ark. statik ve dinamik germe uygulamalarının akut ve kronik etkilerini incelemişlerdir. Ayak bileği evertör ve dorsifleksör kas gruplarına 6 hafta boyunca (haftada 5) germe yapılmıştır. Hem akut hem de kronik dönem ölçümlerde pennasyon açısı, fasikül uzunluğu ve kas kalınlığı parametrelerinde değişim olmadığı saptanmıştır (31). Samukawa ve ark. plantar fleksör kaslarına uyguladıkları dinamik germe protokolü (30snx5 tekrar) sonrasında akut ölçümlerde dinamik germenin eklem fleksibilitesini artırdığını ancak pennasyon açısı ve fasikül uzunluğunda değişime yol açmadığını tespit etmişlerdir (28). Konrad ve ark. katılımcıları statik, balistik ve PNF germe gruplarına ayırarak plantar fleksör kaslarına germe egzersizlerini (30snx4 tekrar) takiben değerlendirmişler. Germe programı sonrasında tüm gruplarda hareket açıklığında artış ve kas sertliğinde azalma tespit edilirken sadece PNF germe grubunda pennasyon açısında azalma gözlenmiştir (29). Herda ve ark. 30sn süreli 4 set dinamik germe uyguladıkları çalışmada katılımcılarda germe sonrasında pasif sertlik ve pasif resistif tork değerlerinde azalmaya ek olarak hareket açıklığında artış olduğunu bildirilmiştir (30). Germe protokolleri ve uyguma bölgelerinin değişkenlik göstermesi nedeniyle dinamik germe egzersizlerinin kas dokusunun viskoelastik özelliklerine akut ve kronik etkileri hakkında daha fazla kanıtı ihtiyaç duyulmaktadır (31).

### ***Kuvvetlendirme Egzersizleri***

Kuvvetlendirme eğitimi kas boyutu, kas gücü ve dayanıklılığını artırmak amacıyla sağlıklı bireylerde, klinik ve atletik popülasyonda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kuvvetlendirme egzersizleri ile kasların pasif mekanik özelliklerinde uygulamaların süresi ve şiddetine bağlı olarak değişimler gözlenebilir. Egzersizlerin akut ve kronik etkileri mekanik özelliklerde ve kas mimarisinde farklı etki oluşturabilir. Kas mimarisinin değişmesinde bir takım nöral adaptasyonlara ek olarak egzersizle birlikte kas su içeriği değişimi ve kesit alanındaki artışların, kasın gerilmeye karşı direncini ve sertliğini artıran faktörlerden olduğu düşünülmektedir (32). Mekanik özelliklerde tespit edilen bu farklılıklar atletik performansı da etkilemektedir (33).

Blazeviç iskelet kasının germe ve kuvvetlendirme gibi farklı kullanım paternlerine adaptasyonunu incelediği derlemesinde; genç katılımcılarda kuvvetlendirme programlarının kasın pasif mekanik özelliklerinde artış sağladığını ancak artışın düşük düzeyde etkiyle sınırlı kaldığını vurgulamıştır. Bununla birlikte geriatric bireylerde kuvvet eğitiminin kas sertliği ile birlikte eklem hareket açıklığında da artış olduğu ifade edilirken, genç grupların incelendiği çalışmalarda hareket açıklığının etkilenmediği belirtilmiştir (21).

Akut ve kronik direnç egzersizlerinin UE ile kas sertliğine etkisini araştıran çalışmaları inceleyen bir meta-analizde, direnç egzersizlerine akut cevap olarak kas dokusunun sertliğinde artış olabileceği ancak uzun süreli etkileri incelendiğinde kasın sertliği üzerine anlamlı bir etki oluşturmadığı ifade edilmiştir (34).

Egzersizle birlikte kas dokusunda oluşan kasılmanın tipi nöromuskuler ve fonksiyonel değişiklikler için belirleyici olabilir. Konsantrik kasılma sırasında kastaki gerim sabittir. Kassal kuvvet üretilirken eklem açısında daralma meydana gelmektedir. Eksantrik kasılma sırasında ise eklem açısı büyümekte ve kasın boyu uzamaktadır. Eksantrik kasılmalarda oluşan kas geriliminin miktarı kasın kendi olağan kasılma mekanizması ile üretilen kuvvetten daha yüksektir (35). Diğer kasılma tipleri ile karşılaştırıldığında eksantrik egzersiz, oluşturduğu daha büyük gerilim ile kasta mikro lezyonlar oluşturabilmektedir. Bu nedenle egzersiz sırasında oluşan kasılma tipine bağlı olarak kas adaptasyonlarında farklılık gözlenebilir (36).

Timmins ve ark. eksantrik kuvvetlendirme programlarının fasikül uzunluğu ve pennasyon açısından artış sağladığını, konsantrik eğitimlerin ise pennasyon açısından artışa rağmen fasikül uzunluğunda azalma ile sonuçlanabileceğini belirtmektedir (5). Seymore ve ark. ise 6 haftalık eksantrik kuvvetlendirme çalışmaları sonrasında hamstring kas grubunun fizyolojik kesit alanı ve kas hacminin artırdığını saptamışlar (38). Ancak program sonunda fasikül uzunluğu, sertlik veya eksantrik kas kuvvetinde anlamlı artış olmadığı rapor edilmiştir.

Fasikül uzunluğu kas yaralanmaları için bir risk faktörüdür. Yaralanma öyküsü olmayan sağlıklı bir kasın fasikül uzunluğunun ve daha az sayıdaki seri sarkomerin bir sonucu olarak kas kasılma hızının azalacağı düşünülmektedir. Fasikül uzunluğunun azalması kas kasılma hızını ve uzayabilirliğini olumsuz etkileyerek kas boyunun daha uzun olduğu pozisyonlarda yapılan hareketlerde kasın kuvvet oluşturma kapasitesinin azalmasına neden olur. Bu durum kas performansı ve esnekliğinin azalmasıyla sonuçlanarak, kas hasarı potansiyelinin artmasına neden olabilir (3,5).

Farklı direnç seviyeleri ve yüklenme paternleri kas dokusunun sertlik ve kalınlık parametreleri üzerinde değişiklikler oluşturabilir (6,38-40).

Stefanaki ve ark. iki farklı direnç düzeyinde (1 maksimumun %30'u ve %80'i) 6 haftalık kuvvet eğitimi ile takip ettikleri katılımcılarda kas kalınlığı ve kuvvetinde artış sağlandığını belirtirken, kas dokusuna uygulanan direnç seviyelerinin bu parametreler açısından bir farklılık yaratmadığını ileri sürmüştür (38). Santos ve ark. konsantrik ve eksantrik çalışmaların birlikte uygulandığı 15 haftalık program sonunda kas sertliğinde anlamlı artış olduğunu bildirmektedir (39). Benzer şekilde Monnarino ve ark. 8 haftalık dirençli eğitimle kas kalınlığı ve sertliğinde artış olduğunu gözlemlemiştir (40). Ayrıca tespit edilen kas kuvvet artışının da kas sertliğindeki artışla ilişkili olabileceği vurgulanmıştır. Uysal ve ark. ise eksantrik eğitimle hamstring kas elastisitesinde artışa ek olarak kuadriseps ve hamstring kaslarının sertliğinde azalma tespit ederken, konsantrik eğitimle bu kas gruplarında sertlikte artış olduğu rapor edilmiştir. Eksantrik ve konsantrik egzersizlerin kasın mekanik özelliklerine ters etkileri olsa da performans parametrelerinde benzer gelişmeler sağladığı görülmektedir. Ayrıca eksantrik kuvvetlendirmenin kas dokusunda ortaya çıkardığı değişikliklerin kasın farklı yüklenmelere ve yüklenmelerin etkilerine adaptasyonu kolaylaştırdığı belirtilmektedir (4).

### **Kasın Pasif Mekanik Özellikleri ve Mimari Yapısının Klinik ve Fonksiyonel Önemi**

Kas dokusunun yapısal özellikleri kuvvet, kas uzunluğu, kasılma hızı ve yaralanmalara yatkınlık gibi durumlarda önemli rol oynamaktadır.

Kas kalınlığı, fasikül açısı ve uzunluğu, kuvvet ve performansla korelasyon göstermektedir. Kas kalınlığı izometrik ve izokinetik kuvvetin bir göstergesi olarak kabul edilirken kas kalınlığının artışı ile denge-koordinasyon ve sıçrama gibi aktiviteler olumlu etkilenmektedir (41). Pennasyon açısının artması belirli bir tendon veya fasya alanına daha fazla oranda kontraktıl dokunun yapışmasına izin vererek kasın fizyolojik kesit alanını artırır. Fasikül

uzunluğunun artması ise daha uzun sarkomer serilerinin oluşmasına olanak sağlayarak kasın hareket hızı ve kuvvet üretim kapasitesine olumlu etki etmektedir (42).

Kas dokusunun sertliğindeki artış bir takım avantaj ve dezavantajlar ortaya çıkarmaktadır. Non-travmatik yumuşak doku sakatlanmalarında bireylerin daha yüksek muskulotendinöz sertliğe sahip olduğu kaydedilmiştir. Kas ve tendon yapılarındaki sertliğin artmasının yaralanma sıklığını artırabileceği öne sürülmüştür (43). Albin ve ark. alt ekstremite kas sertliğindeki total artışın koşucularda özellikle aşıl tendon yaralanma riskini artırabileceğini bildirmiştir (44). Buna karşın Pruyn ve ark. sprint, sıçrama ve yön değiştirme gibi çabuk ve/veya tekrarlı gerilme-kısalma döngüsü içeren aktivitelerde alt ekstremite sertliğinin bir avantaj olabileceğini belirtmişlerdir. Dinamik yetenekler ve kasın mekanik özellikleri arasındaki ilişkinin antrenman stratejilerini de etkileyebileceği vurgulanmıştır (45). Kalkhoven ve arkadaşları ise daha yüksek muskuler sertliğin futbolcularda atletik performansla olumlu etki yapabileceğini ifade etmişlerdir (46).

### **Egzersiz Sonlandırılması, İmmobilizasyon ve Kas Mimarisi**

Sedanter yaşam veya immobil geçen sürelerde kasın pasif mekanik özelliklerini açıklayan az sayıda çalışma yer almaktadır. Kuvvet ve esneklik programları sonrasında elde edilen kazanımlar egzersizlere devam edilmemesi durumunda azalmakta ve inaktif dönemin uzaması halinde ise egzersiz programı öncesi seviyelere geri dönebilmektedir (21).

İmmobilizasyonla birlikte kas kesit alanı, fasikül uzunluğu, kalınlık ve pennasyon açılarında değişimler olduğu kaydedilmiştir (5). Bu doğrultuda bireylerin alt ekstremite kas grupları incelenerek yapılan çalışmalarda immobilizasyonla kasın uzayabilme özelliğinin kısıtlandığı, bu durumun aynı zamanda fasikül uzunluğunda azalmaya neden olduğu ileri sürülmektedir. Ekstremiteye 14 gün yük verilmediğinde vastus lateralis kası fasikül uzunluğu %6 azalırken, 23 günün sonunda ise azalmanın %8 oranında olduğu bildirilmiştir. Benzer şekilde lateral gastroknemius kasında 23 günlük yük vermeme süreci sonunda fasikül uzunluğu %9 azalmıştır (47,48).

İnsan çalışmaları dışında fare modelleri ile yapılan çalışmalarda immobilizasyon sürecinin mekanik özelliklerde değişimlere yol açarak kontraktıl dokularda atrofiye, kas sertliğinde artışa ve konnektif doku kalınlığında azalmaya neden olduğu da rapor edilmiştir (49,50).

### **Sınırlılıklar**

Bu derlemenin en önemli limitasyonu kasın pasif mekanik özellikleri ve mimari özellikleri ile ilgili çok sayıda çalışma olmasına rağmen incelenen çalışmalarda kas dokunun



değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerin standardize edilememiş olmasıdır. Son yıllarda ultrason elastografi diğer ölçüm yöntemlerine göre daha güvenilir bulunsa da bu yönde kanıt düzeyi yüksek çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Derlemede incelenen çalışmalarda egzersizlerin kas dokusunun mekanik özelliklerine ve mimari yapısına etkileri incelenmiştir. Ancak bu değişimlerin performansa yansımaları araştırılan çalışma sayısı oldukça azdır. Bu durum mekanik özelliklerle ilgili elde edilen verilerin egzersiz programlarına entegrasyonu noktasında soru işareti barındırmaktadır. Ayrıca gelecek derlemelerde kombine egzersiz programlarını içeren çalışmalar da dahil edilerek bu programların kas dokusunun yapısına etkileri açıklanmalıdır.

## **SONUÇ**

Bu derlemede iskelet kasının pasif mekanik özellikleri ve egzersize yanıt olarak ortaya çıkan değişiklikleri objektif değerlendirme yöntemleri ile inceleyen araştırma sonuçlarına göre klinik önemi ortaya konulmaya çalışılmıştır.

İskelet kasının mekanik özellikleri çeşitli fizyolojik ve patofizyolojik süreçlerde kritik bir öneme sahiptir. Pasif kas geriliminin artması eklem hareketine direnç oluşturarak hareket ve motor kontrol sistemlerini kısıtlayabilir. Kasların aktif kuvvet üretme kapasitesi de mekanik özelliklerdeki değişimlerden etkilenmektedir. Kas dokusunun mekanik özellikleri performansı etkileyebileceği gibi muskuloskeletal yaralanmalar için de bir risk faktörü olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Gelecek çalışmalarda yaralanmaları önleme programlarının kas dokuda oluşturduğu değişimler incelenerek aktiviteye özgü etkin koruma programlarının oluşturulması sağlanabilir.

**Çıkar Çatışması:** Yazarlar arasında çıkar çatışması yoktur.

## Kaynakça

1. Lee Y, Kim M, Lee H. The measurement of stiffness for major muscles with shear wave elastography and myoton: a quantitative analysis study. *Diagnostics*. 2021;11(3):524.
2. Green, MA, Sinkus R, Gandevia SC, Herbert RD, Bilston LE. Measuring changes in muscle stiffness after eccentric exercise using elastography. *NMR in Biomedicine*. 2012;25(6):852–858.
3. Lieber RL, Friden J. Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle Nerve*. 2000;23:1647–66.
4. Uysal Ö, Delioğlu K, Firat T. The effects of hamstring training methods on muscle viscoelastic properties in healthy young individuals. *Scand J Med Sci Sports*. 2021;31(2):371-379.
5. Timmins RG, Shield AJ, Williams MD, Lorenzen C, Opar DA. Architectural adaptations of muscle to training and injury: a narrative review outlining the contributions by fascicle length, pennation angle and muscle thickness. *Br J Sports Med*. 2016;50(23):1467-1472.
6. Agyapong-Badu S, Aird L, Bailey L, Mooney K, Mullix J, Warner M et al. Interrater reliability of muscle tone, stiffness and elasticity measurements of rectus femoris and biceps brachii in healthy young and older males. *Working Pap Health Sci*. 2013;1(4):1–11.
7. Kwah LK, Pinto RZ, Diong J, Herbert RD. Reliability and validity of ultrasound measurements of muscle fascicle length and pennation in humans: a systematic review. *J Appl Physiol (1985)*. 2013;114(6):761-769.
8. Cipriano KJ, Wickstrom J, Glicksman M, et al. A scoping review of methods used in musculoskeletal soft tissue and nerve shear wave elastography studies. *Clin Neurophysiol*. 2022;140:181-195.
9. Cosgrove D, Piscaglia F, Bamber J, Bojunga J, Correas JM, Gilja OH, et al. EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of ultrasound elastography. Part 2: Clinical applications. *Ultraschall Med*. 2013;34(3):238-253.
10. Drakonaki EE, Allen GM, Wilson DJ. Ultrasound elastography for musculoskeletal applications. *Br J Radiol*. 2012;85:1435–1445.
11. Ryu JA, Jeong WK. Current status of musculoskeletal application of shear wave elastography. *Ultrasonography* 2017;36:185–97.
12. Snoj Ž, Wu CH, Taljanovic MS, Dumić-Čule I, Drakonaki EE, Klauser AS. Ultrasound Elastography in Musculoskeletal Radiology: Past, Present, and Future. *Semin Musculoskelet Radiol*. 2020;24(2):156-166.
13. Balleyguier C, Ciolovan L, Ammari S, Canale S, Sethom S, Al Rouhbane R, et al. Breast elastography: the technical process and its applications. *Diag Interv Imaging*. 2013; 94: 503-13.
14. Hawkey A, Morrison D. In-season whole-body vibration training enhances vertical jump performance in professional soccer goalkeepers. *Turkish Journal of Sport and Exercise*. 2017;19(2):143-149.
15. Sousa N, Mendes R, Silva A, Oliveira J. Combined exercise is more effective than aerobic exercise in the improvement of fall risk factors: a randomized controlled trial in community-dwelling older men. *Clin Rehabil*. 2017;31(4):478-486.
16. Hedayatpour N, Falla D. Physiological and Neural Adaptations to Eccentric Exercise: Mechanisms and Considerations for Training. *Biomed Res Int*. 2015;2015:193741.
17. Gunaydin G, Citaker S, Cobanoglu G. Effects of different stretching exercises on hamstring flexibility and performance in long term. *Science & Sports*. 2020;35.6:386-392.
18. Le Sant G, Ates F, Brasseur JL, Nordez A. Elastography study of hamstring behaviors during passive stretching. *PLoS One*. 2015;10(9):e0139272.
19. Pamboris GM, Noorkoiv M, Baltzopoulos V, Gokalp H, Marzilger R, Mohagheghi AA. Effects of an acute bout of dynamic stretching on biomechanical properties of the gastrocnemius muscle determined by shear wave elastography. *PLoS One*. 2018;13(5):e0196724.
20. Hirata K, Kanehisa H, Miyamoto N. Acute effect of static stretching on passive stiffness of the human gastrocnemius fascicle measured by ultrasound shear wave elastography. *Eur J Appl Physiol*. 2017;117(3):493-499.
21. Blazevich AJ. Adaptations in the passive mechanical properties of skeletal muscle to altered patterns of use. *J Appl Physiol (1985)*. 2019;126(5):1483-1491.

22. César EP, Teixeira LDO, Souza DVBC, Gomes PSC. Acute effects of passive static stretching on the vastus lateralis muscle architecture of healthy young men. *Rev Bras Cineantropom Hum.* 2017;19(5):585-595.
23. Nakamura M, Ikezoe T, Tokugawa T, Ichihashi N. Acute effects of stretching on passive properties of human gastrocnemius muscle-tendon unit: Analysis of differences between hold-relax and static stretching. *J Sport Rehabil.* 2015;24(3):286-292.
24. e Lima KM, Carneiro SP, Alves Dde S, Peixinho CC, de Oliveira LF. Assessment of muscle architecture of the biceps femoris and vastus lateralis by ultrasound after a chronic stretching program. *Clin J Sport Med.* 2015;25(1):55-60.
25. Simic L, Sarabon N, Markovic G. Does pre-exercise static stretching inhibit maximal muscular performance? A meta-analytical review. *Scand J Med Sci Sports.* 2013;23(2):131-148.
26. Yahata K, Konrad A, Sato S, et al. Effects of a high-volume static stretching programme on plantar-flexor muscle strength and architecture. *Eur J Appl Physiol.* 2021;121(4):1159-1166.
27. McMillian DJ, Moore JH, Hatler BS, Taylor DC. Dynamic vs. static-stretching warm up: the effect on power and agility performance. *J Strength Cond Res.* 2006;20(3):492-9.
28. Samukawa M, Hattori M, Sugama N, Takeda N. The effects of dynamic stretching on plantar flexor muscle-tendon tissue properties. *Man Ther.* 2011;16(6):618-622.
29. Konrad A, Stafilidis S, Tilp M. Effects of acute static, ballistic, and PNF stretching exercise on the muscle and tendon tissue properties. *Scand J Med Sci Sports.* 2017;27(10):1070-1080.
30. Herda TJ, Herda ND, Costa PB, Walter-Herda AA, Valdez AM, Cramer JT. The effects of dynamic stretching on the passive properties of the muscle-tendon unit. *J Sports Sci.* 2013;31(5):479-487.
31. Sekir U, Aslan G, İlhan O et al. Effects of static and dynamic stretching on muscle architecture. *Turk J J Sports Med.* 2019;54(3):158-68.
32. Ribeiro AS, Avelar A, Schoenfeld BJ, Ritti Dias RM, Altimari LR, Cyrino ES. Resistance training promotes increase in intracellular hydration in men and women. *Eur J Sport Sci.* 2014;14(6):578-585.
33. Yamazaki K, Inoue K, Miyamoto N. Passive and active muscle elasticity of medial gastrocnemius is related to performance in sprinters. *Eur J Appl Physiol.* 2022;122(2):447-457.
34. Dankel SJ, Razzano BM. The impact of acute and chronic resistance exercise on muscle stiffness: a systematic review and meta-analysis. *J Ultrasound.* 2020;23(4):473-480.
35. Lindstedt SL, LaStayo PC, Reich TE. When active muscles lengthen: properties and consequences of eccentric contractions. *News Physiol Sci.* 2001;16:256-261
36. Hedayatpour N, Falla D. Physiological and neural adaptations to eccentric exercise: mechanisms and considerations for training. *Biomed Res Int.* 2015;2015:193741.
37. Seymore KD, Domire ZJ, DeVita P, Rider PM, Kulas AS. The effect of Nordic hamstring strength training on muscle architecture, stiffness, and strength. *Eur J Appl Physiol.* 2017;117(5):943-953.
38. Stefanaki DGA, Dzulkarnain A, Gray SR. Comparing the effects of low and high load resistance exercise to failure on adaptive responses to resistance exercise in young women. *J Sports Sci.* 2019;37(12):1375-1380.
39. Santos R, Valamatos MJ, Mil-Homens P, Armada-da-Silva P. The Effect of Strength Training on Vastus Lateralis' Stiffness: An Ultrasound Quasi-Static Elastography Study. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(12):4381.
40. Mannarino P, Matta TTD, Oliveira LF. An 8-week resistance training protocol is effective in adapting quadriceps but not patellar tendon shear modulus measured by Shear Wave Elastography. *PLoS One.* 2019;14(4):e0205782.
41. Selva Raj I, Bird SR, Shield AJ. Ultrasound Measurements of Skeletal Muscle Architecture Are Associated with Strength and Functional Capacity in Older Adults. *Ultrasound Med Biol.* 2017;43(3):586-594.
42. Norkhalid S, Muhammad H S, Mohamad S A , Ali N. Muscle Architecture and Exercise Performance: A Mini Review. *Biome J Sci &Tech Res* 3(5)- 2018.
43. Pickering Rodriguez EC, Watsford ML, Bower RG, Murphy AJ. The relationship between lower body stiffness and injury incidence in female netballers. *Sports Biomech.* 2017;16(3):361-373.

44. Albin SR, Koppenhaver SL, Bailey B, et al. The effect of manual therapy on gastrocnemius muscle stiffness in healthy individuals. *Foot (Edinb)*. 2019;38:70-75.
45. Pruyn EC, Watsford M, Murphy A. The relationship between lower-body stiffness and dynamic performance. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2014;39(10):1144-1150.
46. Kalkhoven JT, Watsford ML. The relationship between mechanical stiffness and athletic performance markers in sub-elite footballers. *J Sports Sci*. 2018;36(9):1022-1029.
47. de Boer MD, Maganaris CN, Seynnes OR, Rennie MJ, Narici MV. Time course of muscular, neural and tendinous adaptations to 23 day unilateral lower-limb suspension in young men. *J Physiol*. 2007;583(Pt 3):1079-1091.
48. Seynnes OR, Maganaris CN, de Boer MD, di Prampero PE, Narici MV. Early structural adaptations to unloading in the human calf muscles. *Acta Physiol (Oxf)*. 2008;193(3):265-274
49. Lee SS, Spear S, Rymer WZ. Quantifying changes in material properties of stroke-impaired muscle. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2015;30(3):269-275.
50. Jalal N, Gracies JM, Zidi M. Mechanical and microstructural changes of skeletal muscle following immobilization and/or stroke. *Biomech Model Mechanobiol*. 2020;19(1):61-80.