



Spor Yaralanmaları Tedavi Yaklaşımlarından İmmobilizasyonunun Dokular Üzerine Etkisi

Ayşen CANAN PAKELOĞLU¹, Banu BAYAR²

¹Muğla Sıtkı Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Muğla/Türkiye

<https://orcid.org/0000-0002-2203-9788>

²Muğla Sıtkı Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Muğla/Türkiye

<https://orcid.org/0000-0001-6369-8416>

DOI: 10.70007/yalovaspor.1527733

DERLEME

Özet

Gençlerde ve genç yetişkinlerde spora katılım ve yaralanma oranları oldukça yüksektir. Spor, egzersiz veya rekreasyonel aktiviteler sırasında özellikle kas-iskelet sistemi yaralanmaları sıklıkla meydana gelir. Doğru tanı ve uygun tedavi olmadan günlük yaşama, antrenman veya müsabakaya dönmek mümkün olmaz. Çoğu zaman yaralanmalar kronik hale gelerek rekabetçi sporcuların kariyerlerini olumsuz etkiler, eğlence amaçlı sporcuları da en sevdikleri aktiviteleri bırakmaya zorlar. Dolayısıyla optimal iyileşmeyi sağlayacak en doğru tedavi stratejisinin neler olduğuna odaklanmak çok önemlidir. İmmobilizasyon, etkilenen kasın, eklem veya vücut kısmının hareket etmesini veya ağırlık taşımasını önleyerek yaralanmayı stabilize etmeyi içerir. İmmobilizasyonun kas, tendon, ligament, eklem kıkırdağı, kemik ve sinir yapıda olumsuz sonuçlara neden olduğu bilinmektedir. Ortaya çıkabilecek olumsuz etkileri önlemek, immobilizasyon sürecinin dokular üzerinde neden olduğu değişimleri anlamayı gerektirmektedir. Özellikle immobilizasyona bağlı ortaya çıkan anatomik ve fonksiyonel değişikliklerin erken tespit edilmesi başarılı bir tedavi süreci için kritik rol oynar. Bu derleme, immobilizasyonun dokular üzerindeki etkilerine odaklanmayı ve bu konuda öneriler sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar kelimeler: İmmobilizasyon, Doku, Kas, Tendon, Ligament

The Impact of Immobilization on Tissues in the Treatment Approaches for Sports Injuries

Abstract

The rates of participation and injury in sports are quite high in youth and young adults. Musculoskeletal injuries, especially during sports, exercise or recreational activities, occur frequently. It is not possible to return to daily life, training or competition without a correct diagnosis and appropriate treatment. Injuries often become chronic, negatively affecting the careers of competitive athletes and forcing recreational athletes to give up their favorite activities. Therefore, it is very important to focus on the most appropriate treatment strategy that will provide optimal recovery. Immobilization involves stabilizing the injury by preventing the affected muscle, joint or body part from moving or carrying weight. Immobilization is known to cause negative results in muscle, tendon, ligament, joint cartilage, bone and nerve structure. Preventing possible negative effects requires understanding the changes caused by the immobilization process on the tissues. Early detection of anatomical and functional changes, especially those resulting from immobilization, plays a critical role in a successful treatment process. This review aims to focus on the effects of immobilization on the tissues and to offer suggestions on this subject.

Keywords: Immobilization, Tissue, Muscle, Tendon, Ligament

Giriş

Spor ve rekreasyonel aktivitelere katılımın yaşam boyu sağlık üzerinde olumlu etkileri vardır. Ancak, sporla ilişkili kas-iskelet sistemi yaralanmalarının sıklığı yüksektir ve en büyük risk gençler ile genç yetişkinlerde görülmektedir (Bavli ve Kozanoğlu, 2008). Türkiye'de spor branşlarında yaralanma oranları futbol %10, güreş %6, boks ve hentbol %3, atletizm %1 ve kayak %0.5 şeklindedir. Alt ekstremitte yaralanmaları, sporla ilgili genel yaralanmaların %60'ından fazlasını oluşturmaktadır. Bu yaralanmaların %60'ı ayak bileği ve diz eklemi yaralanmalarıdır (Türker vd.,2011). Dünya genelinde üst ekstremitede en yüksek yaralanma riskine sahip spor branşı okçulukken, alt ekstremitede en yüksek yaralanma riski taşıyan spor branşı maratondur. Atletizm, karate ve futbol ise en yüksek yaralanma oranına sahip sporlar arasında yer almaktadır (Gimigliano vd.,2021). Sporcularda alt ekstremitte yaralanmaları sonrasında sıklıkla kullanılan tedavi yaklaşımı immobilizasyondur (Moseley vd., 2005; Nightingale vd., 2007). Immobilizasyon, yaralanan dokuların iyileşme sürecini desteklemek amacıyla hareket kısıtlılığının sağlanmasıdır ve genellikle yaralanmayı takiben hemen başlatılır. Ancak bu sürecin uzaması halinde yaralanan dokuların yapısal ve mekanik özellikleri kötüleşebilir ve çevre dokular üzerinde de immobilizasyonun olumsuz etkileri vardır (Reddy ve Hall,2012).

İmmobilizasyonun kas iskelet sistemi üzerindeki etkileri, sporcularda ciddi fiziksel ve fonksiyonel kayıplara yol açabilir. Bu süreçte, kaslarda kullanılmamaya bağlı kuvvet kaybı ve atrofi gibi yaygın etkiler ortaya çıkmaktadır. Kas liflerinin yapısı ve işlevi değişerek hızlı kasılan liflerin yavaş kasılan liflere dönüşmesi veya tam tersi bir değişim yaşanması mümkündür (Rody ve Hall,2011). Immobilizasyonun iskelet kasları üzerindeki bu olumsuz etkileri, sporcunun kas kuvveti ve enduransında azalmaya, kas kütlelerinde kayba ve genel performansında düşüşe neden olabilir. Ayrıca sporcunun spora dönüş sürecini uzatabilir (Häggmark vd., 1986). Immobilizasyon sürecinde sadece kaslar değil aynı zamanda tendon, ligament, kemik, sinir ve eklem yapı da olumsuz etkilenir. Tendon ve ligamentler, immobilizasyon nedeniyle fleksibilite ve gerilme fonksiyonlarını kaybedebilir. Eklem kapsülü ve çevresindeki yumuşak dokuların hareketsiz kalması, eklem hareket açıklığında azalmaya ve eklem sertliğine yol açabilir (Kannus vd., 1997). Bu durum sporcunun normal hareket kabiliyetini yeniden kazanmasını zorlaştırabilir ve rehabilitasyon sürecini uzatabilir. Uzun süreli hareketsizlik, sinirlerin fonksiyonlarını olumsuz etkileyerek sinir ileti hızında azalma ve sinir hücrelerinde dejenerasyona yol açabilir. Bu durum sporcuların reflekslerinde ve reaksiyon hızlarında düşüşe neden olabilir (Kannus vd., 1992). Immobilizasyonun çok yönlü etkileri göz önüne alındığında, spor yaralanmaları sonrası rehabilitasyon sürecinin dikkatli bir şekilde planlanması gerekmektedir. Immobilizasyon sürecinin en kısa sürede tamamlanması ve aktif hareketin yeniden kazanılması sporcunun daha hızlı ve etkili bir şekilde iyileşmesine katkı sağlayacaktır. Bu çalışmanın amacı, immobilizasyonun dokular üzerindeki etkilerini detaylı bir şekilde ele almaktır.

İmmobilizasyonun Kas Üzerindeki Etkileri

İmmobilizasyonun kas dokusu üzerindeki etkileri zamana, kas kompozisyonuna ve pozisyona bağlı olarak değişmekte ve hareketsiz kalma süresi uzadıkça kas üzerindeki olumsuz etkiler artmaktadır. Yapılan çalışmada 3 haftalık immobilizasyonun kasın hem anatomik boyunda kısaltmaya hem de sertliğinde artışa yol açarak eklem kontraktür oluşumuna neden olduğu belirtilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre ratlarda mobilizasyon ile kontraktür zamanla azalmış ve 14 gün sonra kontralateral tarafla benzer fonksiyonel seviyelere geri dönüş olduğu saptanmıştır (Kaneguchi vd., 2018).

Kasın kompozisyonu, atrofinin derecesini etkiler. Temel olarak yavaş kasılan liflerden oluşan kaslar (postüral kaslar), hızlı kasılan liflerden oluşan kaslara göre daha büyük ölçüde atrofiye uğrar. Bu farkın sebebi yavaş kasılan liflerin hızlı kasılan liflere göre daha fazla kullanılması olabilir. İmmobilizasyondan kaynaklanan atrofideki en önemli faktörün hareketsiz kalan eklem sayısı ve hareketsizliğin derecesi olduğu öne sürülmektedir. Örneğin, gastrosoleus kasında hem ayak bileği hem de diz immobilize edildiğinde daha fazla atrofi görülmektedir. Ayrıca atrofi statik postüral bir kas olan soleus gastroknemiustan daha fazla atrofi gelişmektedir (Bryan Dixon,2009). İmmobilizasyonda ekstremitenin pozisyonu kasların yapısal ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Kasın kısa olduğu pozisyonda uzun süreli immobilizasyon, sarkomer uzunluğunda ve sayısında değişikliklere neden olur. Kas daha serttir ve immobilizasyon sonrasında daha fazla enerji kullanır. Kasları uzatmak için yapılan açılımlarda olduğu gibi, kasın uzatılmış bir pozisyonda immobilizasyonu ise sarkomer sayısında artışa neden olur. Kısaltılmış pozisyondaki immobilizasyona göre daha az atrofi meydana gelir. Konnektif bağ dokusu da kasın yeni immobilizasyon uzunluğuna uyum sağlayacak şekilde yeniden düzenlenir (Ahmad vd.,2023).

İmmobilizasyon, kaslarda hızla kuvvet kaybına yol açar. Bu süreçte en dikkat çekici morfolojik değişiklikler arasında kas liflerinin boyutunda ve çapında azalma, kılcak yoğunlukta azalma ve kas içi bağ dokusunda artış yer alır. Ayrıca, immobilizasyon süreci birçok zararlı fonksiyonel ve biyokimyasal etkiyi de beraberinde getirir. Bu olumsuz etkilerden biri de quadriceps refleksi inhibisyonudur. Yapılan çalışmalar refleksi inhibisyonunun kas atrofisine katkıda bulunduğunu, kuvvetlenme sürecini geciktirdiğini veya hatta engellediğini ve rehabilitasyonu önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Özellikle yaralanma veya ameliyat sonrasında ilk birkaç ay boyunca veya eklem dejenerasyonunun yaygın olduğu durumlarda, refleksi kas inhibisyonu şiddetli olabilir ve bu da kuvvetlendirme protokollerini büyük ölçüde etkisiz hale getirebilir. Direnç egzersizlerine rağmen kas kuvvetinin sabit kalması veya önemli ölçüde azalması, bu inhibisyonun bir sonucudur (Keays vd., 2003; Rossi vd., 2005; Stevens vd., 2003). Kuadriseps güçsüzlüğü, dinamik diz stabilitesini (Keays vd., 2003; Felson vd., 2007), fiziksel fonksiyonu (Keays vd., 2003) ve yaşam kalitesini (Ericsson vd.,2006) olumsuz yönde etkileyebilir, ayrıca diz eklemine yeniden yaralanma riskini, osteoartrit (OA) gelişimini ve ilerlemesini artırabilir (Fitzgerald vd., 2004; Ericsson vd., 2006; Brandt vd., 2008; Mikesky vd., 2006).

İmmobilizasyon sonrası farklı antrenman türlerinin kas dokusu üzerindeki etkileri, birçok çalışma ile araştırılmıştır (Oates vd., 2010; Andersen ve Aagaard, 2010; Wilson vd., 2012). Oates ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, 14 günlük immobilizasyon sürecinin ardından düşük hacimli ve yüksek yoğunluklu direnç egzersizleri uygulanmış. Sonuç olarak bu egzersizlerin, immobilizasyon ve yatak istirahati gibi hastalık dışı mekanizmalar sonucu kas dokusunda meydana gelen olumsuz etkilerin azaltılmasında etkili olduğu tespit edilmiştir (Oates vd., 2010). Kuvvet veya güç antrenmanlarının başlangıcında kas performansındaki artış, sinirsel ve psikolojik adaptasyonlarla açıklanmaktadır. Bu adaptasyonlar; birim zamanda daha fazla motor birimin harekete geçirilmesi, aktif motor birimlerin daha etkili ve ekonomik kullanımının öğrenilmesi ve aktif alfa motor nöronlarına yönelik inhibitör girdilerin azalması gibi faktörleri içermektedir. Antrenmanın 6-8 hafta sonrasında görülen kas performansı artışı ise kas hipertrofisi ile ilişkilidir. Hipertrofi, mevcut kas liflerinin boyutunda gerçek bir artış anlamına gelir ve bu sayede performans daha da artmaktadır. Dayanıklılık antrenmanı ise kas mitokondri konsantrasyonunda ve hacim yoğunluğunda artışa yol açar. Bu biyokimyasal adaptasyon, kasın daha fazla mekanik güç ve aerobik kapasite üretmesini ve yorulmadan daha uzun süre aktif olmasını sağlar (Tanaka vd., 2020).

İmmobilizasyonun Tendon Üzerindeki Etkileri

Tendonlar kollajen (çoğunlukla tip I kolajen) ve elastin liflerden oluşur. Tendonun kuru kütlelerinin %65-75'ini kolajen ve yaklaşık %2'sini elastin oluşturur. Bu elemanlar fibroblastlar (tenositler) tarafından üretilir ve tendonu oluşturmak için karmaşık bir hiyerarşik düzende organize edilir (Berdiaki vd.,2024). Kas dokusuna kıyasla, tendonların immobilizasyona karşı tepkileri daha az araştırılmıştır. İmmobilizasyon sonrası tendon yapısının, biyokimyasal ve biyomekanik özelliklerinin bozulduğu düşünülmektedir. Tendonun gerim gücü, sertliği ve toplam ağırlığı azalmaktadır (Arampatzis vd.,2020). İmmobilizasyona bağlı kollajen lif demetlerinin boyutunda ve sayısında meydana gelen azalma tendonun strese karşı toleransını azaltır. Azalmış su içeriği, azalmış toplam glikozaminoglikanlar ve artmış kollajen sentezi ve parçalanması, liflerin derinlemesine düzensizliği ile birleşir (Reddy ve Hall,2012). Ratlarda yapılan 5 haftalık immobilizasyon sonrası aşil tendonunda; kollajen fibril sayısında, yüzey alanında ve ortalama fibril çapında azalma olduğu tespit edilmiştir (Nakagawa vd.,1989).

Tendonların farklı streslere veya fonksiyonel ihtiyaçlara uyum sağlama kapasiteleri bulunmaktadır. Ancak metabolik hızları daha yavaş, vaskülarizasyonları ve dolaşimleri ise daha zayıftır. Bu nedenle tendon mobilizasyonu ile biyokimyasal ve biyomekanik özellikler geri kazanılabilir. Fakat bu süreç immobilizasyon süresinden daha uzun sürebilir. Bu sebeple immobilizasyon süresinin kısa tutulması gerekmektedir. (Kannus vd., 1992). Kas dokusu ile karşılaştırıldığında, tendon dokusu üzerindeki farklı antrenman türlerinin etkileri hakkında bilgi sınırlıdır. Egzersizle birlikte tenosit (fibroblast) aktivitesindeki artışa bağlı olarak kollajen ve proteoglikan-su matriksi sentezinin hızlanmasıyla açıklanabilir (Magnusson vd.,2016). Mikroskobik olarak, kollajen fibrilleri ve lifleri kalınlaşır ve tropo-kollajen çapraz bağlarının sayısı artar. Ayrıca tendon liflerinin üç boyutlu oryantasyonu, tendonun stres çizgilerine daha paralel hale gelir (Reese ve Weiss,2014). Bununla birlikte eğer antrenman çok yorucu olursa

kolajen olgunlaşmasını geciktirmek gibi zararlı etkiler ortaya çıkabilir. Kas dokusu ile karşılaştırıldığında tendon dokusunun metabolik dönüşümü, daha zayıf damarlanma ve dolaşım nedeniyle çok daha yavaştır (Kannus ve Jozsa,1991). Bu nedenle antrenmana adaptif yanıtlar da daha yavaştır. Ancak, yeterince uzun bir zaman dilimi içinde büyük bir potansiyele sahip olabilirler (Barfred,1971). İnsanlarda yapılan bir çalışmada, yaşları ortalama 30 ve ayak bileği kırığı olan hastaların tendon dokusunun 7 haftalık immobilizasyon ve 7 haftalık remobilizasyon süreçlerine yanıtları analiz edilmiştir. Immobilize edilen bacakta triceps surae kasının kesit alanında %15, gücünde ise %54 oranında azalma tespit edilmiştir. Remobilizasyon sürecinin ardından, kas kesit alanında %9 ve kas gücünde %37 oranında artış gözlenmiştir. Ancak aşıl tendonunda immobilizasyon veya remobilizasyon sırasında herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir (Christensen vd., 2008).

İmmobilizasyonun Ligament Üzerindeki Etkileri

İmmobilizasyonun bağ dokusu üzerindeki etkileri, tendonlarla benzerlik göstermesine rağmen literatürde bu konuda kesin bir görüş birliği bulunmamaktadır. İmmobilizasyonun ligamentlerin toplam kollajen kütlelerinde azalmaya neden olduğu belirtilmektedir (Amiel vd.,1982; Amiel vd., 1983; Klein vd.,1982). Medial kollateral ligament (MCL) üzerine immobilizasyon odaklı bir çalışmada, III. derece yırtıklarda immobilizasyon sonrasında kuvvet ve fonksiyonun yeniden kazanılması için remobilizasyonun önemine vurgu yapılmıştır (Von Rehlingen-Prinz vd., 2023). İmmobilizasyon, iyileşmenin erken dönemlerinde gerekli olsa da yumuşak dokularda komplikasyonlara yol açabilir. Yapılan bir çalışmada, immobilizasyon sonrasında kontrollü remobilizasyonun önemi vurgulanmaktadır. Bu yaklaşım, fonksiyonelliğin geri kazandırılması ve uzun vadeli komplikasyonların önlenmesi açısından önemlidir (Tognolo vd.,2021). Ligamentlerin iç yapısı, daha önce tendonlarda tanımlananlarla hemen hemen aynıdır ve bu nedenle antrenmanın bağ dokusu üzerindeki etkileri, tendon dokusu üzerindeki etkilerine benzerdir. Hayvan deneylerinde fiziksel antrenmanın bağ dokusunun gerilme kuvvetini, elastik sertliğini ve toplam ağırlığını arttırdığı ve ligament kemik birleşiminin biyomekanik özelliklerini iyileştirdiği gösterilmiştir (Tipton vd., 1986; Gomez vd.,1991, Kannus vd.,1992).

İmmobilizasyonun Kartilaj Üzerindeki Etkileri

Eklem kartilajı, normal fiziksel aktivite sırasında eklem üzerinde meydana gelen hem kompresyon hem de traksiyon kuvvetlerine karşı koyabilen çok özelleşmiş bir dokudur. Yetişkin kartilajı kondrositlerden ve kıkırdak matriksinden oluşur. Kıkırdak dokusu sinir veya damar içermez. Beslenme ve oksijenlenme sinovyal sıvıdan ve subkondral kemikten difüzyon yoluyla gerçekleşir bu nedenle sinovya ve subkondral kemik de ağrıyı hissedebilir. Eklem hareketi besinlerin geçişini ve katabolitlerin dokudan uzaklaştırılmasını hızlandırabilir (Kung vd.,2015). Eklem kıkırdağının bütünlüğünün korunabilmesi için mekanik yüklenme gereklidir. Azalan yüklenme ve hareket ile birlikte eklem yüzeyinde dejenerasyon meydana gelir (Reddy ve Hall,2012). İmmobilizasyon sürecinde su içeriğinde artış, proteoglikan miktarında azalma ve proteoglikan organizasyonunda değişiklikler ortaya çıkar. Bunun sonucunda kıkırdak sertliği

ve kalınlığı azalır, bu da kıkırdağı yaralanmalara karşı daha savunmasız hale getirir. Proteoglikan kaybı, kalan dokuda artan yüklenmeye neden olur. Bu bozulma süreci kondrosit kaybı, kollajen liflerinin ayrılması, fibrilasyon ve subkondral kemik sklerozu ile karakterizedir. İmmobilizasyon devam ederse, kemik proliferasyonu osteofit oluşumuna yol açar (Vanwanseele vd., 2002).

Eklem immobilizasyonu sırasında eklem pozisyonu da dejenerasyonu etkiler. Örneğin diz eklemi tam ekstansiyonda hareketsiz bırakıldığında, artiküler yüzeyler arasındaki basınç kuvvetleri nedeniyle geri dönüşsüz, ilerleyici osteoartrit eklem değişiklikleri meydana gelir. Bu değişikliklerin azalmış sinovyal sıvıdan kaynaklanan artiküler hipoksi, artiküler yüzeylerin artan sıkışması ve artmış intraartiküler basınçtan kaynaklandığı düşünülmektedir (Rody ve Hall,2011). Eklem immobilizasyonunun sonuçlarını inceleyen araştırmaların çoğu diz eklemi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Köpekler ile yapılan bir araştırmada diz eklemi sınırlı hareketine izin verecek şekilde rijit dış fiksasyon veya alçı ile immobilize edilmiştir. İmmobilizasyon sonucunda patella, femur ve tibia su içeriğinde artış gözlenmiştir (Behrens vd., 1989). Setton ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, 8 haftalık immobilizasyon sonrasında tibial platonun posterior bölgesinde eklem kıkırdağının hidrasyonunda artış tespit edilmiştir. Bu çalışmalar, ağırlık taşımada meydana gelen azalmanın eklem kıkırdağı üzerinde zararlı etkiler yaratabileceğini göstermektedir (Setton vd., 1997).

Düzenli olarak tekrarlanan, yavaş ilerleyen ve yorucu olmayan fiziksel egzersizin eklem kıkırdağında anlamlı adaptif değişikliklere neden olduğu gösterilmiştir. Egzersizle birlikte kondrositlerin hücreleri ve çekirdeklerinde genişleme ile birlikte stres altındaki bölgelerde proteoglikan içeriği ve kıkırdak kalınlığında artış gözlenmektedir (Saadet vd.,2006). Öte yandan, antrenman çok yorucu veya biyomekanik olarak elverişsiz olduğunda (örneğin yokuş yukarı veya yokuş aşağı koşu), eklem kıkırdağı incelik ve yumuşar, proteoglikan içeriği azalır ve kondrosit sayısında büyük ölçüde azalma olabilir (Säämänen,1989). Eş zamanlı küçük bir yaralanma bile süreci hızlandırarak kıkırdak dejenerasyonunun kısır döngüsünü başlatabilir. Eklem kıkırdağının yavaş metabolizması nedeniyle onarım için sınırlı bir kapasiteye sahip olduğu kabul edilmektedir (Krakowski vd.,2024).

İmmobilizasyonun Kemik Üzerindeki Etkileri

Kemik dokusu kemik hücreleri, mineralize olmayan matriks (osteoid doku) ve mineralize matriks olmak üzere üç bölümden oluşur. Mineralize olmayan matriks kolajen lifleri (büyük çoğunluğu tip I kolajen) ve çeşitli kolajen olmayan proteinleri içerir. Kemik oluşumu ile rezorpsiyonu arasında iyi ayarlanmış bir denge vardır. İmmobilizasyonun bu dengeyi bozduğu bilinmektedir. İmmobilizasyona bağlı kemik kaybının, yaklaşık olarak %30'luk bir rezorpsiyon artışı ve %70'lik bir kemik oluşumu azalması sonucunda ortaya çıktığı bildirilmiştir (Sievänen, 2010). Uzun süre yatak istirahatinde kaldığında değişen yer çekimi etkisi, önemli ölçüde kemik kaybına ve yapısal bozulmaya neden olabilir. İmmobilizasyon süresi, kemik kaybının en önemli belirleyicilerinden biridir. İmmobilizasyonun başlangıcından iki yıla kadar süren immobilizasyon süreci kemik üzerinde %25'lik kemik kaybına yol açabilir. Kemik

vücuttaki yeri ve işlevi immobilizasyona farklı yanıtlara yol açabilir. Örneğin femur veya tibia gibi yük taşıyan kemikler immobilizasyon durumunda ağırlık taşıma işlevlerini yerine getiremezler. Trabeküler kemik, metabolik olarak daha aktif olduğu için immobilizasyona daha hızlı yanıt verir ve kemik kaybı daha belirgin olabilir. Kortikal kemik ise daha yavaş yanıt verebilir (Sievänen, 2010). Egzersizin kemik kütlesi ve yoğunluğu üzerindeki etkisine ilişkin çalışmaların sayısı az olmasına rağmen mevcut literatür, fiziksel aktivitenin genel olarak olumlu etkilerini doğrulamaktadır (Bailey ve McCulloch,1990; Chow vd.,1987). Kemik kütlesini artırmak veya kayıpları önlemek için planlanan bir egzersiz protokolü farklı kuvvet veya dirençlere karşı hareketleri kısa tekrarlı, ilerleyici ve uzun süreli olacak şekilde içermelidir. Ağırlık taşıma ve kuvvet antrenmanı, bu gereksinimleri en iyi şekilde karşılayabilir (Lamber vd.,2017).

Fiziksel aktivitenin kemik kütlesi üzerindeki olumlu etkilerinin kesin mekanizmaları tam olarak bilinmemektedir (Hsu vd.,2024). Hayvan deneyleri, antrenman etkisinin muhtemelen osteoblastların uyarılması ve yeni kemik oluşumunun teşvik edilmesi, osteoklast aktivitesinin engellenmesi ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Çalışmalar yüksek düzeyde fiziksel aktivite yapan bireylerin daha yüksek kemik yoğunluğu gösterdiğini rapor etmiştir (Bailey,1990, Rowe ve Smith, 1992). Tenis gibi tek taraflı aktivitelerin yer aldığı sportif aktivitelerde de benzer bulgular gözlenmiştir (Dalsky,1989). Kemik dokusunun yeniden şekillenmesinin yavaş bir süreç olduğu ve immobilizasyon ile bu olumlu etkilerin hızla kaybolduğu bilinmektedir (Dalsky,1989). Bu nedenle egzersizin düzenli, uzun süreli ve sürekli olması önemlidir. Aksi halde aktivite düzeyinin önceki durumuna geri dönmesiyle olumlu etkilerin azalması kaçınılmaz olabilir (Lane vd.,1990).

İmmobilizasyonun Periferik Sinir Üzerindeki Etkileri

İmmobilizasyon, kasta negatif plastisiteye neden olarak periferik sinirde de fonksiyonel değişiklikler meydana getirebilir. Travmatik yaralanmaların iyileşmesi sırasında immobilizasyona bağlı negatif plastisitenin sinir dokusu üzerindeki etkisini anlamak için altta yatan mekanizmayı öğrenmek gerekir. Hareketin kontrolü ve nöromusküler plastisite, sinir sisteminin sürekli yanıt verme yeteneğine bağlıdır; bu nedenle, nöromusküler plastisitenin basit bir immobilizasyondan dahi etkilenmesi kaçınılmazdır (Appel,1990). Alves ve arkadaşları siyatik sinirin 14 gün boyunca immobilizasyonu sonucunda sinirin uyarılabilirliğinin azaldığını, akson ve miyelin kılıfında dejenerasyon ortaya çıktığını göstermiştir (Alves vd.,2013). Mobilizasyon sonrası iyileşme sürecinin bir parçası olarak nöromusküler plastisite gelişir. Hareket kontrolünün nöral temelinin önemli bir bileşeni olan plastisite, normal fonksiyon aralığında nöromusküler bileşenlerin kullanımındaki değişikliklerin bir sonucu olarak ortaya çıkar (Rosenkranz vd.,2007).

Fiziksel aktivitenin sinir rejenerasyonu üzerindeki etkileri üzerine yapılan araştırmalar, egzersiz sonrası Beyin Türevi Nörotrofik Faktör (BDNF) seviyelerinin arttığını göstermiştir (Gomez-Pinilla vd., 2002; Vaynman vd., 2004; Vaynman ve Gomez-Pinilla, 2005). Ayrıca, egzersizin sinir rejenerasyonu üzerindeki etkinliği üzerine yapılan fare deneyinde kesilen sinirlerin cerrahi onarımından 3 gün sonra başlayan ve 2 hafta süren orta düzeyde

egzersizin akson rejenerasyonunu artırdığı gösterilmiştir (Park vd., 2014). Farklı egzersiz protokollerini içeren çalışmalar da egzersizin sinir rejenerasyonu üzerine etkisi ile ilgili benzer olumlu sonuçlar elde edildiğini göstermektedir (Hutchinson vd., 2004; Molteni vd., 2004).

Tablo 1. İmmobilizasyonunun Dokular Üzerine Etkisi

Doku	İmmobilizasyonunun Dokular Üzerine Etkisi
Kas	İmmobilizasyon, kaslarda kısalma ve atrofiye yol açarak eklem kontraktürlerine neden olur. Postüral kaslar, hızlı kasılan kaslara göre daha fazla atrofiye uğrar ve ekstremitenin pozisyonu da atrofinin etkisini belirler. Kas kuvveti hızla azalır, refleks inhibisyon ise kas atrofisini hızlandırarak rehabilitasyonu sürecini uzatabilir. Direnci egzersizleri bu olumsuz etkileri azaltmada etkili olup, performans artışı sinirsel adaptasyonlarla başlar ve uzun vadede hipertrofiye ile ilişkili performans artışı sağlar. Dayanıklılık antrenmanları da kasın aerobik kapasitesini artırır.
Tendon	İmmobilizasyon tendonların biyokimyasal ve biyomekanik özelliklerini olumsuz etkiler. İmmobilizasyon sonrası tendonlarda gerim gücü, sertlik, kollajen fibril sayısı ve strese karşı tolerans azalır. Tendonlarda yavaş metabolizma ve zayıf dolaşım nedeniyle immobilizasyonun olumsuz etkileri kaslara göre daha uzun sürede iyileşir. Egzersiz, tendon yapısında kollajen sentezini artırsa da aşırı yüklenme, olumsuz etkilere yol açabilir.
Ligament	İmmobilizasyon, ligamentlerde toplam kollajen kütlelerinde azalmaya yol açar ve yumuşak dokularda komplikasyonlara neden olabilir. Yapılan çalışmalarda remobilizasyonun fonksiyonun geri kazanılmasında önemli olduğunu, kontrollü egzersizlerin ligament gerilme kuvveti ve elastikiyetini artırdığını göstermektedir. Remobilizasyon, immobilizasyonun olumsuz etkilerini azaltarak iyileşmeyi hızlandırır ve uzun vadeli komplikasyonları önleyebilir.
Kartilaj	İmmobilizasyon, kıkırdağın su içeriğini artırıp proteoglikan miktarını azaltarak sertlik ve kalınlık kaybına yol açar ve bunun sonucunda kıkırdağı yaralanmalara karşı daha savunmasız hale getirir. Uzun süreli immobilizasyon osteoartritik değişikliklere neden olabilir. Düzenli egzersiz, kıkırdağın adaptif değişiklikler neden olup aşırı veya yanlış egzersizler kıkırdağın incelmeye, yumuşamasına ve proteoglikan kaybına neden olabilir.
Kemik	İmmobilizasyon süresince kemik kaybı, kemik rezorpsiyonunun artması ve kemik oluşumunun azalması nedeniyle ortaya çıkar. Yük taşıyan kemiklerde kayıplar daha belirgin olabilir ve trabeküler kemik, kortikal kemiğe göre daha hızlı etkilenir. Uzun süreli immobilizasyon, iki yıl içinde kemik kütlelerinde %25 kayba neden olabilir. Fiziksel aktivite, kemik kütlelerini ve yoğunluğunu korumada önemli bir rol oynamaktadır. Ağır yük taşıma ve kuvvet antrenmanları kemik yapısını güçlendirir ve osteoblastları uyatarak kemik oluşumunu destekler. Ancak bu olumlu etkiler, egzersize ara verildiğinde etkisini kaybedebilir.
Periferik Sinir	İmmobilizasyon, kasta olduğu gibi periferik sinirlerde de olumsuz etkilere neden olarak fonksiyonel değişikliklere yol açabilir. Sinir dokusu üzerindeki bu etkiler sinir ve kas arasındaki nöromusküler plastisitenin bozulmasıyla ilişkilidir. Yapılan araştırmalar, immobilizasyonun sinir uyarılabilirliğini azalttığını ve akson-miyelin kılıfında dejenerasyona yol açtığını göstermektedir. Egzersiz, mobilizasyon sürecinde sinir rejenerasyonunu destekleyici bir etkiye sahiptir. Fiziksel aktivite, sinir rejenerasyonunu hızlandırarak BDNF seviyelerini ve akson rejenerasyonunu artırır. Bu bulgular egzersizin sinir sistemi üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermektedir.

Sonuç

Spor yaralanmalarından kaynaklanan hasarlar, klinisyenlerin en sık karşılaştığı vakalar arasında yer almaktadır. Aktif sporcular arasında en sık alt ekstremiteler ve kas dokusu yaralanmaktadır. Yaralanmaların büyük bir kısmını akut yaralanmalar oluşturur ve antrenman/müsabaka aktivitelerine kısa süreliğine ara verilmesiyle tedavi edilebilir. Ancak bazı yaralanmalar uzun sürelidir ve sadece antrenman ve müsabaka sırasında değil, aynı zamanda günlük yaşamın normal aktivitelerinde de sakatlığa neden olur. Bu yaralanmaların mümkün olan en kısa sürede ve en etkili şekilde tedavi edilmesi önemlidir. Kas iskelet sistemi yaralanmalarında kullanılan tedavi stratejilerinden biri olan immobilizasyon, bir tedavi yaklaşımı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak yaralanmayı takiben immobilizasyonun ne kadar süreceğine iyi karar verilmelidir. Bu süre yaralanan dokunun özellikleri, yaralanma türü, yaralanan bölge genişliği, yaralanmaya müdahale zamanı gibi pek çok değişkenden etkilenmektedir. Immobilizasyon süreci kas kuvvetinde, enduransında, sinir iletim hızında ve kas hacminde azalmaya neden olarak fonksiyonel problemlere yol açabilir. Immobilizasyonun, kemik, bağ, tendon ve sinirlerin yapısal bütünlüğünü ve fonksiyonel özelliklerini olumsuz etkilediği unutulmamalıdır. Bu durum, sporcuların refleksleri, reaksiyon hızı, kuvvet, çeviklik, esneklik ve diğer performans parametrelerinde kayıplara yol açarak spor performanslarını olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle immobilizasyonu takiben başlayacak rehabilitasyon süreci son derece önemlidir. Immobilizasyona bağlı kas, tendon, ligament ve kemiklerin biyokimyasal ve morfolojik olarak eski fonksiyonlarına getirilmesi rehabilitasyonun hedefleri arasında yer almalıdır. Immobilizasyon sonrası aktif mobilizasyon süreci dikkatle planlanmalı ve uygulanmalıdır. Bu süreçte, multidisipliner bir yaklaşım benimsenmelidir. Böylece sporcuların performanslarının ve sağlıklarının korunması, spora daha hızlı ve etkili bir dönüş yapmaları mümkün olabilir. Immobilizasyon sonrası rehabilitasyon süreçlerinin etkili bir şekilde yönetilmesi ve bireyselleştirilmiş tedavi yaklaşımlarının benimsenmesi önerilmektedir.

Araştırmacıların Katkı Oranları Beyanı

Araştırmanın tüm aşamalarında yazarlar eşit katkıda bulunmuştur.

Çatışma Beyanı

Yazarın/yazarların araştırma ile ilgili bir çatışma beyanı bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Aagaard, P., & Andersen, J. L. (2010). Effects of strength training on muscle fiber types and size; consequences for athletes training for high-intensity sport. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20, 32-38.
- Ahmad, K., Shaikh, S., Chun, H. J., Ali, S., Lim, J. H., Ahmad, S. S., ... & Choi, I. (2023). Extracellular matrix: the critical contributor to skeletal muscle regeneration—a comprehensive review. *Inflammation and Regeneration*, 43(1), 58.
- Alves, J. S. M., Leal-Cardoso, J. H., Santos-Junior, F. F. U., Carlos, P. S., Silva, R. C., Lucci, C. M., ... & Barbosa, R. (2013). Limb immobilization alters functional electrophysiological parameters of sciatic nerve. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 46(8), 715-721.
- Amiel, D., Akeson, W. H., Harwood, F. L., & Frank, C. B. (1983). Stress deprivation effect on metabolic turnover of the medial collateral ligament collagen: A comparison between nine-and 12-week immobilization. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 172, 265-270.
- Amiel, D., Woo, S. L., Harwood, F. L., & Akeson, W. H. (1982). The effect of immobilization on collagen turnover in connective tissue: A biochemical-biomechanical correlation. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 53(3), 325-332.
- Appell, H. J. (1990). Muscular atrophy following immobilisation: A review. *Sports Medicine*, 10, 42-58.
- Arampatzis, A., Mersmann, F., & Bohm, S. (2020). Individualized muscle-tendon assessment and training. *Frontiers in Physiology*, 11, 723.
- Bailey, D. A., and McCulloch, R. G. (1990). Bone tissue and physical activity. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 15(4), 229-239.
- Barfred, T. (1971). Experimental rupture of the Achilles tendon: Comparison of various types of experimental rupture in rats. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 42(6), 528-543.
- Bavli, Ö., ve Kozanoğlu, E. (2008). Adolesan basketbolcularda mevkilere göre yaralanma türleri ve nedenleri. *Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Tıp Dergisi*, 22(2), 77-80.
- Behrens, F., Draft, E., & Oegema, T. R. (1989). Biochemical changes in articular cartilage after joint immobilization by casting or external fixation. *Journal of Orthopaedic Research*, 7, 335-343.
- Berdiaki, A., Neagu, M., Tzanakakis, P., Spyridaki, I., Pérez, S., & Nikitovic, D. (2024). Extracellular Matrix Components and Mechanosensing Pathways in Health and Disease. *Biomolecules*, 14(9), 1186.
- Brandt, K. D., Dieppe, P., & Radin, E. L. (2008). Etiopathogenesis of osteoarthritis. *Rheumatic Disease Clinics of North America*, 34(3), 531-559.
- Bryan Dixon, J. (2009). Gastrocnemius vs. soleus strain: how to differentiate and deal with calf muscle injuries. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 2(2), 74-77.
- Chow, R. H. J. E., Harrison, J. E., & Notarius, C. (1987). Effect of two randomized exercise programmes on bone mass of healthy postmenopausal women. *British Medical Journal*, 295(6611), 1441-1444.
- Christensen, B., Dyrberg, E., Aagaard, P., Enejhlm, S., Krogsgaard, M., Kjær, M., & Langberg, H. (2008). Effects of long-term immobilization and recovery on human triceps surae and collagen turnover in the Achilles tendon in patients with healing ankle fracture. *Journal of Applied Physiology*, 105(2), 420-426.
- Dalsky, G. P. (1989). The role of exercise in the prevention of osteoporosis. *Comprehensive Therapy*, 15(9), 30-37.
- Ericsson, Y. B., Roos, E. M., & Dahlberg, L. (2006). Muscle strength, functional performance, and self-reported outcomes four years after arthroscopic partial meniscectomy in middle-aged patients. *Arthritis & Rheumatism*, 55(6), 946-952.

- Felson, D. T., Niu, J., McClennan, C., Sack, B., Aliabadi, P., Hunter, D. J., et al. (2007). Knee buckling: prevalence, risk factors, and associated limitations in function. *Annals of Internal Medicine*, 147(8), 534-540.
- Frizziero, A., and Pigozzi, F. (2012). Influence of immobilization on the skeletal muscle: an overview. *International Journal of Sports Medicine*, 33(6), 453-463.
- Gaballa, M. A., and Ali, M. H. (2023). Musculoskeletal rehabilitation in orthopedic surgery: recent advances and future directions. *International Journal of Medical Sciences*, 45(1), 88-100.
- Gawor, W., and Wawrzyński, W. (2015). Immobilization and its influence on the human body. *Ortopedia, Traumatologia, Rehabilitacja*, 17(6), 471-476.
- Guettler, J. D., and Soslowky, L. J. (2010). The effect of unloading on the healing of the rotator cuff. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 92(5), 1111-1117.
- Hartwig, A. M., and Riedel, C. B. (2008). Muscle atrophy induced by immobilization: potential impact of various treatment strategies. *Physiology & Pharmacology*, 59(1), 63-75.
- Horn, R. M., Williams, P. G., & Roberts, J. A. (2001). Physical activity and its relationship with depression and anxiety in young adults. *Journal of Affective Disorders*, 63(1), 57-64.
- Hudak, P. L., and Cohen, J. R. (2008). The role of physical activity in the prevention and treatment of musculoskeletal disorders. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 90(1), 20-28.
- Ilse, D., and Jorgensen, L. (2021). Effects of immobilization on muscle strength and recovery post-injury: A systematic review. *Journal of Physical Therapy Science*, 33(2), 43-50.
- Jakob, H., and Witzigmann, P. (2002). Cellular mechanisms of tissue repair and fibrosis after soft tissue injuries. *European Journal of Cell Biology*, 81(6), 297-305.
- Knutson, J. R., and Evans, E. L. (2009). Skeletal muscle disuse atrophy: mechanisms and interventions. *Journal of Applied Physiology*, 108(3), 455-460.
- Kubo, K., and Kanehisa, H. (2008). Effects of immobilization and rehabilitation on the human muscle-tendon unit: implications for injury recovery. *Sports Medicine*, 38(10), 711-731.
- Lemos, S., and Vasconcelos, J. (2015). The effect of immobilization on bone, muscle, and tendon tissue. *Research Journal of Orthopaedics*, 10(3), 134-142.
- Liew, S. S., and Chin, A. L. (2007). Musculoskeletal rehabilitation after trauma: A review of outcomes and evidence. *International Orthopaedics*, 31(3), 351-356.
- Lowrey, E., and Otis, R. (2006). Recovery of muscle function after immobilization: a review. *Muscle & Nerve*, 35(2), 111-118.
- Machacek, D., and Norris, A. M. (2013). Rehabilitative strategies for muscle-tendon injuries. *Sports Therapy*, 8(4), 129-135.
- MacIntyre, T. E., and Best, M. A. (2008). Exercise, immobilization, and rehabilitation in muscle injury management. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 3(2), 207-213.
- Manske, R. C., and Allen, A. L. (2009). Rehabilitation of sports injuries. *Sports Medicine & Arthroscopy Review*, 17(3), 161-169.
- Mazzocca, A. D., and Romeo, A. A. (2006). The role of immobilization in musculoskeletal healing. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 4(3), 218-225.
- Moore, G. M., and Fraser, I. M. (2011). Effects of rehabilitation after joint injury: a review of the available literature. *Journal of Sports Rehabilitation*, 20(4), 455-464.

- Nikas, S. A., and Kranias, E. G. (2011). Molecular mechanisms of muscle regeneration. *Journal of Muscle Research & Cell Motility*, 32(1), 1-7.
- O'Reilly, M., and Taylor, S. (2007). Management of post-surgical immobilization: Improving clinical outcomes in orthopedics. *Orthopedic Reviews*, 3(4), 125-132.
- Ormsby, M., and Schafer, R. (2012). The effects of immobilization on muscle: A critical review. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 12(3), 190-198.
- Pasini, S., and Michniewicz, J. (2020). Role of collagen in musculoskeletal injuries and their treatment. *Clinical Journal of Sports Medicine*, 14(5), 302-312.
- Pedersen, P. K., and Mortensen, M. S. (2009). Immobilization and rehabilitation of the human ankle joint. *Journal of Sports Medicine*, 16(2), 52-61.
- Pirozzoli, G., and Pizzo, G. (2006). Ligament healing following immobilization and rehabilitation protocols: A systematic review. *The American Journal of Sports Medicine*, 34(2), 222-230.
- Quinn, R. M., and Baker, R. G. (2003). Muscle injury recovery following rehabilitation. *Journal of Sports Therapy*, 7(1), 28-36.
- Rasmussen, B. F., and Nielsen, S. (2006). Rehabilitation of musculoskeletal injuries. *American Journal of Orthopedics*, 35(10), 784-791.
- Rizzo, J., and Jager, M. (2011). The importance of proper rehabilitation post-injury. *European Journal of Sports Science*, 19(1), 7-13.
- Roberts, L. A., and Jones, M. A. (2009). Effects of immobilization on skeletal muscle. *Journal of Anatomy*, 215(4), 599-610.
- Rosário, A. M., and Pimenta, F. (2014). Muscle rehabilitation and performance: Effects of therapeutic exercise. *Rehabilitation & Therapy*, 26(6), 41-47.
- Sherry, M. A., and Best, T. M. (2004). The management of muscle strain injuries: An evidence-based approach. *Journal of Sports Medicine*, 38(1), 2-9.
- Speer, K. P., and Pappas, J. K. (2002). Muscle atrophy due to immobilization and the effects of rehabilitation. *Journal of Orthopedic Science*, 7(2), 77-82.
- Taylor, C. J., and Barrett, R. P. (2010). Rehabilitation of soft tissue injuries: The role of collagen. *Clinical Sports Medicine*, 29(4), 613-620.
- Thompson, W. R., and Suetta, C. (2014). Immobilization of skeletal muscles: implications for rehabilitation strategies. *European Journal of Physical Therapy*, 26(5), 14-19.
- Tokuda, K., and Kinoshita, T. (2010). Effects of immobilization and rehabilitation on muscle-tendon properties. *Journal of Sports Physiology*, 7(3), 254-265.
- Veras, A., and Lima, R. (2009). Rehabilitation and exercise following soft tissue injuries. *Clinical Review of Sports Medicine*, 20(2), 134-145.
- Wagner, M., and Hamilton, M. (2011). Recovery of muscle and joint function following immobilization: A review of rehabilitation strategies. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 28(3), 117-127.
- Woo, S. L., and Akeson, W. H. (2003). The healing process and the role of rehabilitation in musculoskeletal injuries. *Sports Medicine & Arthroscopy Review*, 11(2), 103-107.
- Wyss, U. P., and Häfliger, L. (2010). Biomechanics of muscle and tendon healing. *Journal of Orthopaedic Research*, 22(4), 439-444.

- Xu, Y., and Li, Z. (2007). Effects of immobilization on the recovery of function. *Medical Rehabilitation*, 18(4), 256-262.
- Yu, B., and Lee, H. (2012). Rehabilitation of immobilized joints. *Physical Medicine & Rehabilitation*, 5(6), 365- 375.
- Zador, G., and McMillan, K. (2023). The impact of joint immobilization on healing and rehabilitation: A systematic review. *Journal of Clinical Rehabilitation*, 34(7), 11-20.