



# Menisküsün biyomekaniği ve fonksiyonları

## Biomechanics and functions of the meniscus

Erhan Yılmaz, Murat Gürger

Fırat Üniversitesi Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı, Elazığ

İlk başta, fonksiyonu olmayan embriyolojik bir kalıntı olarak tanımlanmış olan menisküsün, günümüzde diz ekleminin normal fonksiyonları için çok önemli bir yapı olduğu bilinmektedir. Menisküsün öncelikli görevi, tibio-femoral eklem uyumunu arttırmak ve böylece kıkırdak yüzeylerde oluşan stresi azaltarak yük iletimini sağlamaktır. Menisküslerin ayrıca, diz ekleminde şok emilimi, stabilite, yağlama, beslenme ve propriyosepsiyon gibi ikincil görevleri de vardır. Menisküs yaralanmaları, zamanla diz ekleminde kalıcı dejeneratif değişikliklerin oluşmasına ve osteoartrit gelişmesine neden olur. Kompleks anatomik, biyomekanik ve fonksiyonel özelliklerinden dolayı, menisküsler hasar görmeye ve yaralanmaya yatkındır. Bu yaralanmaları tedavi ederken, menisküsün farklı bileşenlerini ve işlevlerini korumak öncelikli amacımız olmalıdır.

**Anahtar sözcükler:** menisküs; biyomekanik; fonksiyon

Meniscus, initially described as a nonfunctional embryological remnant, is now known to be a very important structure for the normal functions of the knee joint. The primary function of the meniscus is to improve tibiofemoral joint congruity, thus reducing the stress on the cartilaginous surfaces, and to transmit the load. Menisci also have secondary functions in the knee joint, such as shock absorption, stability, lubrication, nutrition, and proprioception. Meniscus injuries eventually lead to permanent degenerative changes in the knee joint, and development of osteoarthritis. Because of their complex anatomical, biomechanical, and functional properties, menisci are particularly susceptible to damage and injury. While treating these injuries, our primary goal should be to preserve the different components and functions of the meniscus.

**Key words:** meniscus; biomechanics; function

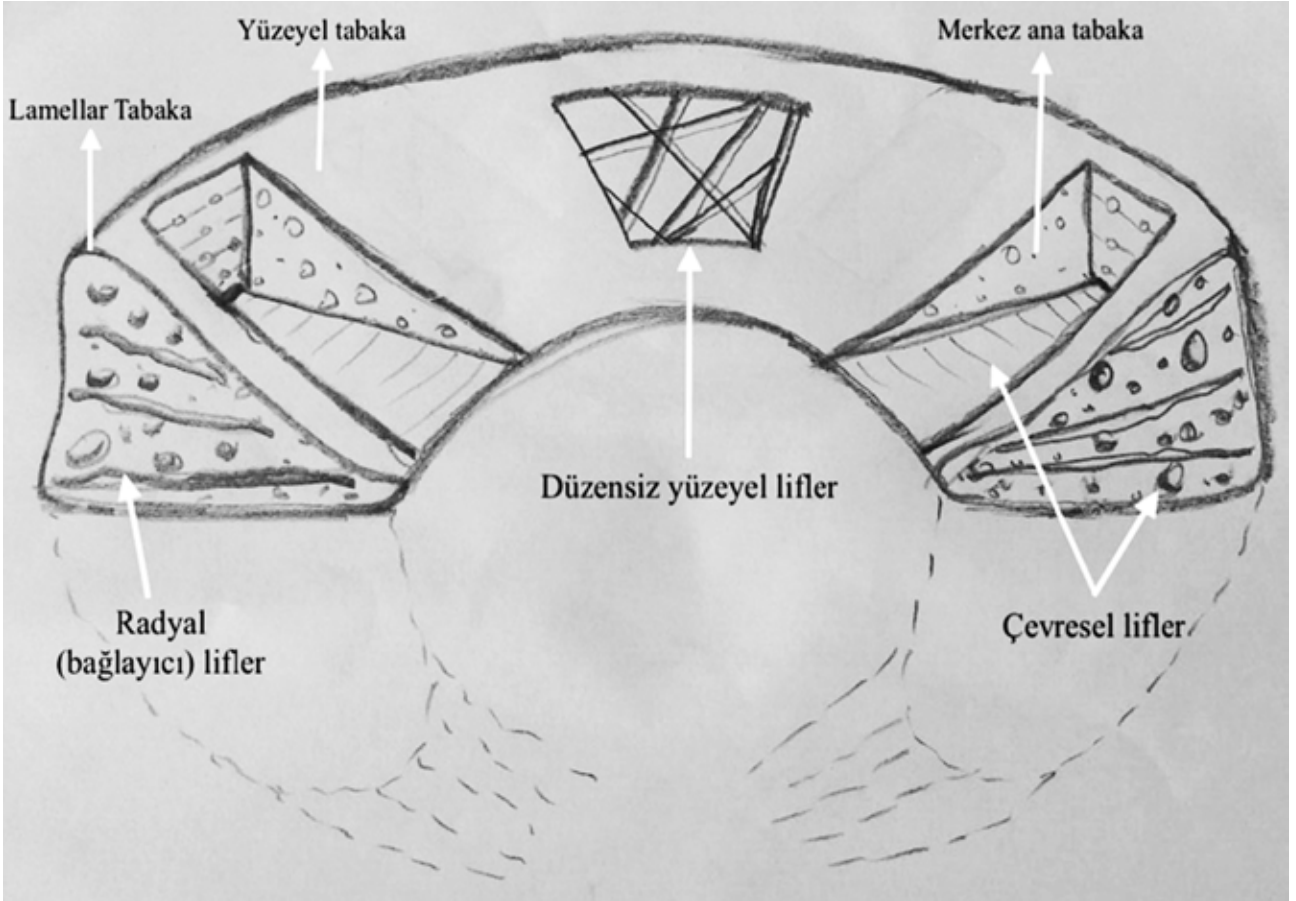
**M**enisküslerin özgün anatomileri ve yapısal bileşenleri, diz ekleminin normal fonksiyonlarını yerine getirmesi için kritik öneme sahiptir. Bu bölüm, menisküsün biyomekanik özelliklerine ve bunların genel fonksiyonları ile nasıl ilişkili olduğuna odaklanacaktır.

### MENİSKÜSÜN MİKROSKOPİK KOMPZİSYONU VE FONKSİYONLA İLİŞKİSİ

Menisküs, genel olarak su (yaklaşık %65-75) ve kollajenden (%20-25) oluşur. Bununla beraber, %5'lik kısmını proteoglikanlar, matriks glikoproteinleri ve elastin olmak üzere kollajen olmayan maddeler oluşturmaktadır.<sup>[1]</sup> Kollajenöz ağ, dokunun anizotropik özelliğinden dolayı fonksiyonu büyük ölçüde etkileyen karmaşık bir oryantasyona sahiptir. Lifler, yüzeyden derine doğru, radyal olarak veya çevresel bir şekilde

farklı yönlerde uzanım gösterebilir.<sup>[2-6]</sup> Femoral ve tibial eklem yüzeyleri ile temas halinde olan kısım menisküsün *yüzeyel tabakasıdır*. Bu tabaka, düşük sürtünmeli bir yüzeye izin veren proteoglikan ve düzensiz uzanım sergileyen kollajen liflerden oluşur.<sup>[7,8]</sup> Yüzeyel ağın altında *lamellar tabaka* yer almaktadır. Bu tabaka, menisküsün anterior ve posterior bölümünün çevresel kısmında radyal olarak uzanan kollajen liflere sahiptir; menisküsün diğer bölümlerinde ise bu tabakadaki kollajen lifler değişik açılarda kesişerek bir ağ oluşturur.<sup>[7]</sup> Lamellar tabakada ayrıca, derin yerleşimli ve menisküsün *merkez ana tabakasına* doğru uzanan ve iki tabaka arasında yük aktarımına olanak tanıdığı düşünülen vertikal lifler vardır.<sup>[9]</sup> Bu vertikal liflere ek olarak, merkez ana tabakada radyal olarak yönlendirilmiş "bağlayıcı lifler" vardır. Bu lifler, lamellar tabaka ile dik bağlantılar kurarak entegre olabilir.

- İletişim adresi: Murat Gürger, Fırat Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı, Elazığ  
Tel: 0533 - 165 19 18 e-posta: muratgurger@hotmail.com
- Geliş tarihi: 1 Mart 2018 Kabul tarihi: 1 Mart 2018



**Şekil 1.** Menisküsün tabakalarını ve kollajen liflerini gösteren şematik çizim (yazarlara aittir).

Bağlayıcı lifler, merkez ana tabakanın iç kısmında bulunur ve bu tabakada periferik olarak bulunan ve dairesel olarak seyreden “çevresel lifleri” birbirine bağlar.<sup>[9]</sup> Bu bağlayıcı lifler, menisküsün anteriorundan posterioruna doğru artmış bir yoğunlukta bulunur ve bu durum menisküsün mukavemetini artırır.<sup>[9]</sup> Çevresel lifler daha çok Tip I kollajenin daha kalın demetleridir; çoğunluğu menisküsün iç ve dış çevresinde yer alır, çünkü orta kısım daha çok tek tip kompresyon stresine ve minimal radyal strese maruz kalır.<sup>[9]</sup> Radyal bağlantı lifleri, çevresel lifler arasında bir bağlantı oluşturur ve menisküsün kompresif kuvvetlere dayanmasını sağlar.<sup>[9]</sup> Çevresel lifler, aksiyel yüklenme sırasında büyük gerilme kuvvetlerine maruz kalır; bu durum kasnak gerilmesi olarak ifade edilir.<sup>[9]</sup> (Şekil 1)

## MENİSKÜSÜN BİYOMEKANİK ÖZELLİKLERİ

Menisküsün fonksiyonları büyük ölçüde eşsiz biyomekanik özelliklerine bağlıdır. İnsan menisküsü, uygulanan bir yük karşısında hem viskoz hem de

elastik özellikler sergilediği için *viskoelastik* bir materyal olarak kabul edilir. Bu durum, elastik fazdan başlayarak yüklenme sırasında viskoz faza geçen bir süreci tanımlar. Menisküsün elastik kalitesi (solid faz), viskoz fazın (akışkan faz) geçirgenliğine ve su içeriğine bağlı olan kollajen-proteoglikan yapısından kaynaklanmaktadır.<sup>[9]</sup> Menisküse bir kompresif yük uygulandığında, solid faz başlangıçta bir elastik tepki sergiler. Deformasyon oluşturmeyen bu kompresif yüklenme ile, viskoz fazdaki menisküsten akışkanlar yavaşça ortamdaki uzaklaştırılır.<sup>[10]</sup> Viskoelastik dokuların mekanik davranışını tanımlamak ve uygulanan yük sırasında bu iki fazın katkılarının belirlenmesine yardımcı olmak için iki fazlı teori geliştirilmiştir.<sup>[11]</sup> Bu tezinin vurguladığı önemli bir nokta, doku geçirgenliğidir; yani sıvının, menisküsün katı matriksi ile sinoviyal boşluk arasında bağlantıyı sağlayan gözeneklerden nasıl geçtiğini açıklar.<sup>[3,12,13]</sup> Kompresif yüklenme altında sıvının yer değiştirme hızı menisküsün geçirgenliğini belirler. Aksiyel yüklenmeler sırasında menisküsün şeklini koruyabilmesini sağlayan bu sıvı

geçirgenliği eklem kıkırdağı ile kıyaslandığında daha düşük olarak bulunmuştur.<sup>[9]</sup> Menisküsler, yürüme sırasında yük taşıma kapasitesini, sıvı kaybına direnerek sürdürür.<sup>[9]</sup> Menisküs şeklini koruyamazsa, aslında işlevsel değildir.<sup>[10]</sup> Bu konuyu anlamak önemlidir, çünkü bu viskoelastik özellikler menisküsün sahip olduğu kompresif direnç kuvvetlerinde büyük bir rol oynar. Diz eklemine sabit bir yük uygulandığında, kollajen demetleri ve matriksinin elastik özellikleri tarafından dayanım sergileyen menisküs üzerinde bir başlangıç kompresyonu oluşur.<sup>[10]</sup> Bu ilk yükün ardından, akışkan fazın başlamasıyla birlikte azalan bir kompresyon oranı vardır. Sıvı menisküs dışına çıktığı için, kompresif yüklenmeye karşı sergilenen bu direnç “sünme” olarak adlandırılır.<sup>[10]</sup> Menisküslere kompresyon kuvveti uygulandığında ve devam ettirildiğinde, menisküs dokusu gevşer ve uygulanan basınç azaltılmış olur. Buna “gerilme gevşemesi” denir. Sünme ve gerilme gevşemesi, viskoelastik davranışın iki ilişkili özelliğidir.<sup>[10]</sup> Bu iki özellik, kompresif yüklenmeler sırasında menisküsün nasıl fonksiyon gördüğünü anlamaya yardımcı olur. Daha önce belirtildiği gibi, bu iki özellik ile birlikte, kompresyon sırasında menisküsün şeklini korumasını sağlayan menisküsün geçirgenliğidir. Menisküs için basınç katsayısı, dengeye kıyasla fizyolojik bir yüklenme altında çok daha fazladır.<sup>[5]</sup> Bu durum, aksiyel yüklenme altında, menisküsü sıkıştırmak ve nihayetinde şeklini değiştirmek için daha fazla kuvvete ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Menisküye bir kompresyon yükü uygulandığı zaman, bu aksiyel yüklenme menisküsün femur ve tibia arasındaki bağlantı noktalarına uzanan çevresel liflerinde kasnak gerilmesine neden olur.<sup>[9]</sup> Femur, menisküye kompresyon uyguladığı zaman radyal olarak yönlendirilmiş tanjansiyel kuvvetlere neden olan kama şekli nedeni ile menisküs periferine doğru yer değiştirmeye zorlanır. Bu periferik yer değiştirme menisküsün anterior ve posterior bağlantıları tarafından engellenir. Kompresyon kuvveti uygulandığında, kasnak gerilmesine neden olan çevresel bir gerilme oluşur.<sup>[9]</sup> Menisküs, aksiyel yükleri, hem ön hem de arka kök bağlantıları boyunca devam eden çevresel lifleri aracılığıyla gerilme stresine dönüştürür.<sup>[9]</sup> Kasnak gerilmeleri, menisküsün en önemli fonksiyonlarından biri olan yükü eklem kıkırdağında geniş bir alana dağıtma fonksiyonuna olanak sağlar.<sup>[9]</sup> Kasnak gerilmeleri menisküs boyunca değişebilir. Bununla beraber, radyal yırtık gibi bir yaralanmada çevresel lifler hasar görür ve normal kasnak gerilmesi bozulur.<sup>[9]</sup> Mediyal menisküsün posterior bölgesinin geri kalan kısımlarından daha yüksek bir *agregat modülüne* sahip olduğu bildirilmiştir.<sup>[9]</sup> Bunun nedeni, bu bölgenin en yüksek kompresif streslere maruz kalmasıdır ve dolayısıyla en sık yaralanan bölge burasıdır.<sup>[9]</sup>

Gerilim, germe kuvveti uygulandığında bir dokunun davranışını ifade eder. Menisküs gerilme kuvvetine maruz kaldığında, başlangıçta, kollajen lifleri gevşer ve menisküsü uzatmak için çok az kuvvet gerekir.<sup>[9]</sup> Başlangıç fazından sonra, uzama ve uygulanan yük arasında doğrusal bir ilişki vardır; ardından lifler bozulmaya ve yırtılmaya başladıkça uzama son bulur.<sup>[9]</sup> Menisküsün muhafaza edebileceği maksimum yük, nihai gerilme yükü olarak adlandırılır. Gerilme özellikleri, menisküsün tabakaları arasında farklılık gösterebilir. Yüzeysel tabakada, gerilme mukavemetlerinde farklılık yoktur. Merkez ana tabakada ise çevresel ve bağlayıcı lifler gerilme streslerine farklı cevaplar verir ve çevresel lifler bağlayıcı liflerden daha yüksek gerilme stresine sahiptir.<sup>[9]</sup> Menisküsün farklı bölgelerini karşılaştırırken, anterior, orta ve posterior kısımlar arasında belirgin gerilme mukavemeti farklılıklarının olup olmadığı tartışma konusudur. Mediyal menisküs için en yüksek gerilme modülünün anterior ve posterior bölgede olduğu bildirilmiştir.<sup>[14,15]</sup> Lateral menisküs için ise en yüksek gerilme modülüne sahip olan bölgenin posterior olduğuna dair çalışmalar vardır. Ancak, bölgeler arasında anlamlı fark olmadığı yönünde de çalışmalar vardır.<sup>[14]</sup> Menisküs yaklaşık olarak 150 MPa gerilme modülüne sahiptir ve kıyaslamak için baktığımızda ön çapraz bağ (ÖÇB) 200–300 MPa civarındadır.<sup>[10]</sup>

Makaslanma sertliği, bir malzemenin değişen şekle karşı direncinin bir ölçüsüdür. Menisküs kıkırdağa göre düşük bir makaslama sertliğine sahiptir ve eklem kıkırdağının 100 kat daha fazla makaslama direnci vardır.<sup>[9]</sup> Bu düşük makaslama sertliği, menisküsün, tibia ve femur arasında eklem hareketi sırasında optimal bir uyum sağlamasına ve yük dağılımına olanak sağlar.<sup>[9]</sup> Makaslama modülü mediyal menisküsün posterior kısmında en düşük bulunmuştur.<sup>[14]</sup>

## MENİSKÜSÜN FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ

### Yük Aktarımı

Menisküsün büyüklüğü ve şekli, fonksiyonlarında büyük rol oynar. Mediyal menisküs tibial eklem kıkırdağının yüzeyinin yaklaşık %50–54’ünü, lateral menisküs ise %59–71’ini kapsar.<sup>[16]</sup> Diz eklemi yüklenmeye maruz kalmadığı zaman, dizdeki temas alanları öncelikle menisküs üzerindedir.<sup>[9]</sup> Yürüme sırasında diz yüke maruz kalır ve mediyal platoda kıkırdak-kıkırdak arayüzde temas stresi en üst düzeye ulaşır. Merdiven çıkarken ise bu temas yüzeyi platonun posterioruna doğru yer değiştirir. Yürüme sırasında lateral tibia platosundaki en yüksek temas stresi menisküsün altındadır. Merdiven çıkmanın geç fazında ise lateral kondildeki temas alanı kıkırdak-kıkırdak arayüzdedir.<sup>[17]</sup> Ek olarak, fleksiyon

sırasında menisküsün anteriorundan posterioruna doğru temas alanının transferi vardır.<sup>[9]</sup> Lateral menisküs yüklenme sırasında mediyalden daha fazla yer değiştirir; yük iletimi ile lateral menisküs femoral kondillerin merkezinden uzaklaşır ve tibial platoya doğru gerilme stresine neden olur.<sup>[18]</sup> Ekstansiyondaki dizde yüklenme sırasında mediyal menisküs %40–50'lik bir yüklenmeye maruz kalırken, lateral menisküs %65–70'lik bir yüklenmeye maruz kalır.<sup>[9]</sup>

Menisküs, geniş bir yüzey alanını kaplayarak tibio-femoral kompartmanların uyumunu arttırır ve yük iletimi ve dağılımında işlev görür. Temas stresleri, yüzey temas alanları azaldıkça artmaya başlar ve temas alanını maksimuma çıkararak temas stresini azaltmak menisküsün önemli bir işlevidir.<sup>[9]</sup> Bu durum, özellikle femoral kondilin dışbükey yüzeyinin tibial platonun nispeten düz veya dışbükey yüzeyiyle eklem yaptığı lateral kompartmanda önemlidir. Lateral menisküsün geniş yüzey alanı, daha uyumlu bir eklem yaratır, böylece yükü kompartman boyunca daha dengeli bir şekilde dağıtır. Menisektomi, temas alanında %40 ile %75 arasında bir azalmaya neden olabilir ve sonuçta temas stresi %200 ile %300 arasında artabilir.<sup>[9]</sup> Sonuç olarak; çıkarılmış menisküs miktarı ile pik temas stresi arasında lineer bir ilişki vardır. Bu nedenle, mümkün olduğu kadar menisküs korunmalı ve menisektomi yerine menisküs tamiri tercih edilmelidir.

### Yağlama ve Besleme

Menisküs, diz eklemine yağlanmasında rol oynamaktadır. Bundan dolayı, menisektomi sonrası sürtünme katsayısında bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Ek olarak, daha önce bahsedildiği gibi, menisküsün yüzeyel tabakası eklem kıkırdağına düşük sürtünmeli bir yüzey sağlayan yüksek oranda proteoglikan içeriğine sahiptir. Menisküsün diz eklemine beslenme ile ilgili bir fonksiyona da sahip olduğu bilinmektedir. Menisküs, vasküler yapısını sinoviyal boşluğa bağlayan gözenekli bir ağ içerir. Yüklenme sırasında menisküsün sıvı içeriği sinoviyal boşluğa bu gözenekler yardımı ile geçebilir; böylece hem sıvının içerdiği besinler eklem ulaşır hem de eklem kıkırdağı üzerindeki sürtünme kuvvetleri azaltılmış olur.<sup>[9]</sup>

### Propriyosepsiyon

Menisküs dokusunda çeşitli mekanoreseptörlerin tanımlanması ile, menisküsün propriyoseptif rolü iyi bir şekilde açıklanmıştır.<sup>[19–21]</sup> Menisküs dokusunda, eklem hareket hissini algılanmasına yardımcı olan (yavaş adaptasyon) Pacinian korpüskülleri ve eklem pozisyonunun algılanmasını sağlayan Ruffini ve golgi tendonları vardır.<sup>[22]</sup> Mekanoreseptörler çoğunlukla menisküsün orta ve dış üçte birlik kısmında bulunur.<sup>[23]</sup> Menisküsün

dizde önemli bir duyuşal geri besleme rolüne sahip olduğu düşünülmektedir.<sup>[20]</sup>

### Şok Emilimi

Genel olarak menisküsün diz eklemine önemli bir şok emici olduğuna inanılmaktadır.<sup>[9]</sup> Bununla birlikte bazı çalışmalarda, dizdeki şok emici kabiliyetin aslında diz eklemine çevreleyen kasların eksentrik kasılmalarına bağlı olduğu ve menisküse bağlı olmadığı savunulmuştur.<sup>[24,25]</sup> Son zamanlarda, menisküsün sertlik ve enerji emilimi kabiliyetinin eklem kıkırdağından çok daha düşük olduğu ve menisküslerin şok emiliminde küçük bir rol oynadığı gösterilmiştir.<sup>[25]</sup>

### Eklem Stabilitesi

Menisküsün boyutu ve şekli, femur ve tibia arasındaki eklem uyumuna katkı sağlar.<sup>[26]</sup> Sağlam menisküs, tüm yönlerde aşırı hareketi sınırlandırır ve diz eklemine stabilitesini arttırır.<sup>[9]</sup> Mediyal menisküsün anterior tibial translasyonu önleme gibi ikincil bir görevi vardır.<sup>[10,27]</sup> Lateral menisküs ise kombine aksiyel ve rotasyonel yükleri kısıtlamada önemli bir ikincil role sahiptir.<sup>[28]</sup> Bu anlaşılabilir bir durumdur, çünkü mediyal menisküs anteroposterior yönde daha az hareketlidir. Bunun nedeni, menisküsün orta bölümünün kapsüle ve posterior bölümünün ise tibial platoya bağlanmış olmasıdır.<sup>[29]</sup> Yükleme sırasında mediyal menisküsün posterior boynuzu bir "takoz" gibi işlev görmektedir; bu durum, özellikle ÖÇB yetmezliği olan dizlerde anteriora kaymayı önlemektedir.<sup>[9]</sup> Lateral menisküsün, anteroposterior yöndeki hareketliliği nedeniyle anterior stabilitede mediyal menisküsten daha az rol oynadığı düşünülmür.<sup>[30]</sup> Bazı çalışmalarda ise lateral menisküsün anterolateral rotasyonel laksite kontrolündeki önemi vurgulanmıştır.<sup>[28]</sup> Menisküsün eklem stabilizasyonu üzerine etkisi, ÖÇB yetmezliği olan dizlerde daha belirgindir. Ön çapraz bağ yetmezliği olan dizlerde, mediyal menisektomi sonrası anterior tibial yük uygulandığında anterior tibial translasyonda artış olur.<sup>[26]</sup>

### MENİSKÜSLERİN FONKSİYONEL HAREKETLERİ

Menisküslerin fleksiyon esnasında hareket etmesi, yaralanmadan kaçınarak eklem yüzeyleri arasında maksimum uyumu sağlamasına olanak tanır.<sup>[31]</sup> Yük iletimi, stabilite ve yağlama gibi, menisküsün birçok fonksiyonunun bu kadar etkili olmasına izin veren bu uyumdur.<sup>[9]</sup> Lateral menisküs mediyal menisküsün yaklaşık iki katı kadar hareketlidir ve ön

boynuzları arka boynuzlardan daha fazla hareket eder.<sup>[32]</sup> Femoral kondillerin şekillerinden dolayı, menisküslerin ön ve arka boynuzları tam ekstansiyon sırasında birbirinden uzaklaşır ve fleksiyon sırasında ise birbirine yaklaşır.<sup>[31]</sup> Femoral kondiller, tibia üzerinde ekstansiyon hareketi sırasında, sırasıyla menisküs köklerini anterior ve posterior yönlere doğru iter.<sup>[31]</sup> Anterior boynuz buna uyum sağlamak için harekete izin verirken, posterior boynuzlar aşırı hareketi kısıtlar.<sup>[31]</sup> Bu, menisküsün eklem yüzeyleri ile temas alanını en üst düzeye çıkartır ve temas stresini azaltmasına olanak tanır.<sup>[9]</sup> Mediyal menisküsün yük altında fleksiyon ve ekstansiyon sırasında ön-arka planda hareketi yaklaşık 2–5 mm iken, lateral menisküsün hareketi 9–11 mm'dir.<sup>[9]</sup> Ek olarak, internal rotasyon sırasında lateral menisküs posteriora doğru, mediyal menisküs ise anteriora doğru hareket eder.<sup>[33]</sup>

## İŞLEVİNİ YİTİREN MENİSKÜS NEDENİ İLE OLUŞAN PATOLOJİLER

Daha önce de belirtildiği gibi, menisküsler temel olarak radyal bağlayıcı liflerden ve çevresel kollajen demetlerden oluşur.<sup>[9]</sup> Menisküs yırtığı, dizde instabilite, ağrı ve takılma veya kilitlenmeye yol açabilir.<sup>[1]</sup> Longitudinal yırtığın yönelimi nedeniyle çevresel lifler sağlam kaldığı için menisküsün biyomekaniği bozulmayabilir.<sup>[34]</sup> Bununla birlikte, bu tip yırtıklar, menisküsün yüklenme sırasında maruz kaldığı normal zorlamaları değiştirebilir.<sup>[9]</sup> Ekstansiyonda, longitudinal bir yırtık anterior menisküsün maruz kaldığı zorlamayı arttıracaktır; bununla birlikte, fleksiyon sırasında, yırtık posteriorda menisküsün artmış kıvrımına neden olur ve bu durumda benzer şekilde maruz kalınan zorlamayı değiştirir.<sup>[9]</sup> Menisküsü üst ve alt segmentlere bölen horizontal yırtıklar, daha dejeneratif olma eğilimindedir ve parameniskal kist oluşumu ile sonuçlanabilir.<sup>[9]</sup> Radyal yırtıklar ise çevresel liflerin hasarlanmasına neden olarak temas alanının azalmasına ve temas stresinin artmasına neden olacaktır.<sup>[35]</sup> Menisküsün %50'sini içeren radyal yırtıkta çevresel liflerin büyük bir kısmı sağlam kalır ve diz normal mekaniklerine devam edebilir. Ancak, %100'e ulaşan radyal yırtıklarda genellikle menisküs eklem aralığı dışına doğru yer değiştirir, kasnak gerilmesi korunamaz ve menisküs fonksiyon göremez.<sup>[36-38]</sup> Ek olarak, menisküs kök yırtıkları da diz eklemi üzerinde zararlı etkilere sahiptir, çünkü bunlar rotasyonun kontrol edilmesinde ve kasnak gerilmelerinin korunmasında önemlidir.<sup>[39,40]</sup> Mediyal menisküsün posterior kök yırtıklarını takiben, mediyal kompartman pik temas basıncında sağlam tarafla kıyaslandığında %25'e varan bir artış olmaktadır.<sup>[41,42]</sup> Mediyal menisküs arka

kökün hasar görmesinin tibial eksternal rotasyon ve lateral translasyonu arttırdığı ve bu durumun diz osteonekrozu ile ilişkili olduğu gösterilmiştir.<sup>[41,43,44]</sup> Lateral menisküs posterior boynuzunun kök avulsiyonu ve radyal yırtıkları da, tüm fleksiyon açılarında temas alanlarını azaltarak kıkırdak temas stresini artırır.<sup>[45]</sup> Bu tip yaralanmalar önemlidir, çünkü daha önce de belirtildiği gibi, menisküste herhangi bir kayıp veya hasar, kıkırdak üzerine olan temas streslerini artırır ve osteoartrite neden olur.

## MENİSKÜSÜN BAĞLARI VE FONKSİYONLARI

### Koroner Bağlar

Bu bağlar, menisküsün dış çevresini proksimal tibiaya bağlar; böylece translasyonu azaltır ve stabilizeyi artırır.<sup>[9]</sup>

### Meniskotibial Bağlar

Bunlar, menisküsün çevresel kollajen liflerinin devamıdır ve tibial yüzeye menisküsü tutturmak için tibial platoya derin subkondral kemikten tutunur. Bu bağların işlev kaybı, mediyal menisküsün önemli derecede eklem dışına doğru yer değiştirmesine neden olur ve bu bağların bütünlüğü menisküsün fonksiyonu için çok önemlidir.<sup>[30,41]</sup> Mediyal veya lateral menisküsün posterior köklerinin hasar görmesinin, tibiofemoral temas basınçlarını anlamlı derecede arttırdığı, temas alanlarını ve menisküs fonksiyonlarını azalttığı gösterilmiştir.<sup>[41,45-47]</sup> Bu bağlar için yetmezlik oranları belirlenmeye çalışılmış olsa da, değerler arasında büyük farklılıklar bildirilmiştir. Mediyal arka kök için ortalama yetmezlik yüklenmesi 596 N iken, lateral arka kök için ortalama yetmezlik yüklenmesi 579 N'dur.<sup>[48,49]</sup>

### Anterior İntermeniskal Bağ (Transvers Genikulat Bağ)

Bu bağın rolü tam olarak anlaşılacakla birlikte iki menisküs arasında kasnak gerilmelerinin iletilmesine yardımcı olabileceği, bu nedenle kompresyon sırasında eklem boyunca temas basıncında azalmaya katkıda bulunacağı öne sürülmüştür.<sup>[50]</sup> Bununla birlikte, bu bağ kesildiğinde belirli fleksiyon açılarında mediyal kompartmandaki maksimum temas basıncının arttığı gösterilmiş, ancak tam ekstansiyon sırasında bu bağın herhangi bir etkisi bulunmamıştır.<sup>[50]</sup>

### Derin Mediyal Kollateral Bağ (dMCL)

Derin mediyal kollateral bağ, 30° fleksiyondan sonra tibial dış rotasyonu bir miktar kısıtlarken, diz eklemine sekonder valgus mukavemeti sağlar.<sup>[51]</sup> Ek olarak, tibial dış rotasyonda anterior translasyonu bir miktar önler.<sup>[9]</sup>

## Anterior ve Posterior Meniskofemoral Bağlar (aMFL/pMFL)

Bunlar, Humphrey (anterior) ve Wrisberg (posterior) bağları olarak da adlandırılır. Bu bağların diz eklemini hareketi sırasında lateral menisküsün posterior boynuzu için stabilizatör görevi gördükleri gösterilmiştir.<sup>[9]</sup> Bu bağlar ayrıca, fleksiyon sırasında lateral menisküsün posterior boynuzunu öne ve mediyale hareket ettirerek dizdeki anterior-posterior gevşekliliği azaltır, ancak bu etkinin büyüklüğü belirsizdir.<sup>[52]</sup> MFL'lerin arka çapraz bağ (AÇB) yetmezliği olan dizde rotasyonel gevşekliliği önlemede herhangi bir rolü olmamasına rağmen 15° ve 90° fleksiyon arasında, hem sağlam hem de AÇB yetmezliği olan dizlerde posterior tibial çekmeceye direnmede bu bağlar önemli bir rol oynar.<sup>[53]</sup>

## Meniskofibular Bağlar

Menisküsü fibula başına tutturarak bu bağlar, diz ekstansiyon ve dış rotasyona getirildiğinde gerilir.<sup>[54]</sup>

## SONUÇ

Menisküsün normal diz fonksiyonunda çok önemli rolü vardır. Özgün kompozisyonları ve doku özellikleri, menisküslerin önemli görevlere hizmet etmesine olanak tanır. Hareket kabiliyetleri, femur ve tibianın farklı şekilleri arasında uyumlu bir eklem yüzeyi yaratılmasını sağlar. Bu uyum, yük dağılımı ve eklem stabilitesi açısından önemlidir. Ayrıca, yağlama, beslenme ve propriyosepsiyon gibi ek görevleri de vardır. Genel olarak, menisküs diz mekaniğinde önemli rol oynayan çok yönlü bir yapıdır. Menisküs yırtığı veya rezeksiyonu, fonksiyonel menisküsün kaybına yol açarak dizde önemli ve zararlı değişikliklerle neden olur.

## KAYNAKLAR

1. Fox AJ, Wanivenhaus F, Burge AJ, Warren RF, Rodeo SA. The human meniscus: A review of anatomy, function, injury, and advances in treatment. *Clin Anat* 2015;28(2):269-87. [Crossref](#)
2. Sweigart MA, Zhu CF, Burt DM, deHoll PD, Agrawal CM, Clanton TO, Athanasiou KA. Intraspecies and interspecies comparison of the compressive properties of the medial meniscus. *Ann Biomed Eng* 2004;32(11):1569-79. [Crossref](#)
3. Schmidt TA, Gastelum NS, Nguyen QT, Schumacher BL, Sah RL. Boundary lubrication of articular cartilage: role of synovial fluid constituents. *Arthritis Rheum* 2007;56(3):882-91. [Crossref](#)
4. Gabrion A, Aïmedieu P, Laya Z, Havet E, Mertl P, Grebe R, Laude M. Relationship between ultrastructure and biomechanical properties of the knee meniscus. *Surg Radiol Anat* 2005;27(6):507-10. [Crossref](#)
5. Chia HN, Hull ML. Compressive moduli of the human medial meniscus in the axial and radial directions at equilibrium and at a physiological strain rate. *J Orthop Res* 2008;26(7):951-6. [Crossref](#)
6. Bursac P, Arnoczky S, York A. Dynamic compressive behavior of human meniscus correlates with its extra-cellular matrix composition. *Biorheology* 2009;46(3):227-37. [Crossref](#)
7. Petersen W, Tillmann B. Collagenous fibril texture of the human knee joint meniscus. *Anat Embryol (Berl)* 1998;197(4):317-24. [Crossref](#)
8. Schumacher BL, Schmidt TA, Voegtline MS, Chen AC, Sah RL. Proteoglycan 4 (PRG4) synthesis and immunolocalization in bovine meniscus. *J Orthop Res* 2005;23(3):562-8. [Crossref](#)
9. Caterine S, Hourigan M, Getgood A. Chapter 2: The Biomechanical Function of the Menisci. In: LaPrade RF, Arendt EA, Getgood A, Faucett SC, editors. *The Menisci*. USA: Springer; 2017. p.9-20. [Crossref](#)
10. McDermott ID, Masouros SD, Amis AA. Biomechanics of the meniscus of the knee. *Current Orthopaedics* 2008;22(3):193-201. [Crossref](#)
11. Favnesi J, Shaffer J, Mow V. Biphasic mechanical properties of knee meniscus. *Trans Orthop Res Soc* 1983;8:57.
12. Fithian DC, Kelly MA, Mow VC. Material properties and structure-function relationships in the meniscus. *Clin Orthop Relat Res* 1990;(252):19-31. [Crossref](#)
13. Mow VC, Kuei SC, Lai WM, Armstrong CG. Biphasic creep and stress relaxation of articular cartilage in compression? Theory and experiments. *J Biomech Eng* 1980;102(1):73-84. [Crossref](#)
14. Sweigart MA, Athanasiou KA. Biomechanical characteristics of the normal medial and lateral porcine knee meniscus. *Proc Inst Mech Eng H* 2005;219(1):53-62. [Crossref](#)
15. Lechner K, Hull ML, Howell SM. Is the circumferential tensile modulus within a human medial meniscus affected by the test sample location and cross-sectional area? *J Orthop Res* 2000;18(6):945-51. [Crossref](#)
16. Bloecker K, Englund M, Wirth W, Hudelmaier M, Burgkart R, Frobell RB, Eckstein F. Revision 1 size and position of the healthy meniscus, and its correlation with sex, height, weight, and bone area- a cross-sectional study. *BMC Musculoskelet Disord* 2011;12(1):248. [Crossref](#)
17. Gilbert S, Chen T, Hutchinson ID, Choi D, Voigt C, Warren RF, Maher SA. Dynamic contact mechanics on the tibial plateau of the human knee during activities of daily living. *J Biomech* 2014;47(9):2006-12. [Crossref](#)
18. Sweigart MA, Athanasiou KA. Toward tissue engineering of the knee meniscus. *Tissue Eng* 2001;7(2):111-29. [Crossref](#)
19. Akgun U, Kocaoglu B, Orhan EK, Baslo MB, Karahan M. Possible reflex pathway between medial meniscus and semimembranosus muscle: an experimental study in rabbits. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2008;16(9):809-14. [Crossref](#)
20. Karahan M, Kocaoglu B, Cabukoglu C, Akgun U, Nuran R. Effect of partial medial meniscectomy on the proprioceptive function of the knee. *Arch Orthop Trauma Surg* 2010;130(3):427-31. [Crossref](#)
21. Saygi B, Yildirim Y, Berker N, Ofluoglu D, Karadag-Saygi E, Karahan M. Evaluation of the neurosensory function of the medial meniscus in humans. *Arthroscopy* 2005;21(12):1468-72. [Crossref](#)
22. Reider B, Arcand MA, Diehl LH, Mroczek K, Abulencia A, Stroud CC, Palm M, Gilbertson J, Staszak P. Proprioception of the knee before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2003;19(1):2-12. [Crossref](#)
23. Gray JC. Neural and vascular anatomy of the menisci of the human knee. *J Orthop Sports Phys Ther* 1999;29(1):23-30. [Crossref](#)

24. Andrews S, Shrive N, Ronsky J. The shocking truth about meniscus. *J Biomech* 2011;44(16):2737-40. [Crossref](#)
25. Gaugler M, Wirz D, Ronken S, Hafner M, Gopfert B, Friederich NF, Elke R. Fibrous cartilage of human menisci is less shock-absorbing and energy-dissipating than hyaline cartilage. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2015;23(4):1141-6. [Crossref](#)
26. Allen CR, Wong EK, Livesay GA, Sakane M, Fu FH, Woo SL. Importance of the medial meniscus in the anterior cruciate ligament-deficient knee. *J Orthop Res* 2000;18(1):109-15. [Crossref](#)
27. Arno S, Hadley S, Campbell KA, Bell CP, Hall M, Beltran LS, Recht MP, Sherman OH, Walker PS. The effect of arthroscopic partial medial meniscectomy on tibiofemoral stability. *Am J Sports Med* 2013;41(1):73-9. [Crossref](#)
28. Musahl V, Citak M, O'Loughlin PF, Choi D, Bedi A, Pearle AD. The effect of medial versus lateral meniscectomy on the stability of the anterior cruciate ligament-deficient knee. *Am J Sports Med* 2010;38(8):1591-7. [Crossref](#)
29. Caterine S, Litchfield R, Johnson M, Chronik B, Getgood A. A cadaveric study of the anterolateral ligament: re-introducing the lateral capsular ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2015;23(11):3186-95. [Crossref](#)
30. Lerer DB, Umans HR, Hu MX, Jones MH. The role of meniscal root pathology and radial meniscal tear in medial meniscal extrusion. *Skeletal Radiol* 2004;33(10):569-74. [Crossref](#)
31. Vedi V, Spouse E, Williams A, Tennant SJ, Hunt DM, Gedroyc WM. Meniscal movement. An in-vivo study using dynamic MRI. *J Bone Joint Surg Br* 1999;81-B:37-41. [Crossref](#)
32. Aagaard H, Verdonk R. Function of the normal meniscus and consequences of meniscal resection. *Scand J Med Sci Sports* 1999;9(3):134-40. [Crossref](#)
33. Bylski-Austrow DI, Ciarelli MJ, Kayner DC, Matthews LS, Goldstein SA. Displacements of the menisci under joint load: an in vitro study in human knees. *J Biomech* 1994;27(4):421-31. [Crossref](#)
34. Mordecai SC, Al-Hadithy N, Ware HE, Gupte CM. Treatment of meniscal tears: An evidence based approach. *World J Orthop* 2014;5(3):233-41. [Crossref](#)
35. Ode GE, Van Thiel GS, McArthur SA, Dishkin-Paset J, Leurgans SE, Shewman EF, Wang VM, Cole BJ. Effects of serial sectioning and repair of radial tears in the lateral meniscus. *Am J Sports Med* 2012;40(8):1863-70. [Crossref](#)
36. Harper KW, Helms CA, Lambert HS 3rd, Higgins LD. Radial meniscal tears: significance, incidence, and MR appearance. *AJR Am J Roentgenol* 2005;185(6):1429-34. [Crossref](#)
37. Messner K, Gao J. The menisci of the knee joint. Anatomical and functional characteristics, and a rationale for clinical treatment. *J Anat* 1998;193(2):161-78. [Crossref](#)
38. Jones RS, Keene GC, Learmonth DJ, Bickerstaff D, Nawana NS, Costi JJ, Pearcy MJ. Direct measurement of hoop strains in the intact and torn human medial meniscus. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 1996;11(5):295-300. [Crossref](#)
39. Kim JH, Chung JH, Lee DH, Lee YS, Kim JR, Ryu KJ. Arthroscopic suture anchor repair versus pullout suture repair in posterior root tear of the medial meniscus: a prospective comparison study. *Arthroscopy* 2011;27(12):1644-53. [Crossref](#)
40. Bhatia S, LaPrade CM, Ellman MB, LaPrade RF. Meniscal root tears: significance, diagnosis, and treatment. *Am J Sports Med* 2014;42(12):3016-30. [Crossref](#)
41. Allaire R, Muriuki M, Gilbertson L, Harner CD. Biomechanical consequences of a tear of the posterior root of the medial meniscus: Similar to total meniscectomy. *J Bone Joint Surg Am* 2008;90(9):1922-31. [Crossref](#)
42. Marzo JM, Gurske-DePerio J. Effects of medial meniscus posterior horn avulsion and repair on tibiofemoral contact area and peak contact pressure with clinical implications. *Am J Sports Med* 2009;37(1):124-9. [Crossref](#)
43. Robertson DD, Armfield DR, Towers JD, Irrgang JJ, Maloney WJ, Harner CD. Meniscal root injury and spontaneous osteonecrosis of the knee: an observation. *J Bone Joint Surg Br* 2009;91-B(2):190-5. [Crossref](#)
44. Sung JH, Ha JK, Lee DW, Seo WY, Kim JG. Meniscal extrusion and spontaneous osteonecrosis with root tear of medial meniscus: comparison with horizontal tear. *Arthroscopy* 2013;29(4):726-32. [Crossref](#)
45. LaPrade CM, Jansson KS, Dornan G, Smith SD, Wijdicks CA, LaPrade RF. Altered tibiofemoral contact mechanics due to lateral meniscus posterior horn root avulsions and radial tears can be restored with in situ pull-out suture repairs. *J Bone Joint Surg Am* 2014;96(6):471-9. [Crossref](#)
46. Schillhammer CK, Werner FW, Scuderi MG, Cannizzaro JP. Repair of lateral meniscus posterior horn detachment lesions: a biomechanical evaluation. *Am J Sports Med* 2012;40(11):2604-9. [Crossref](#)
47. Padalecki JR, Jansson KS, Smith SD, Dornan GJ, Pierce CM, Wijdicks CA, LaPrade RF. Biomechanical consequences of a complete radial tear adjacent to the medial meniscus posterior root attachment site: in situ pull-out repair restores derangement of joint mechanics. *Am J Sports Med* 2014;42(3):699-707. [Crossref](#)
48. Ellman MB, LaPrade CM, Smith SD, Rasmussen MT, Engebretsen L, Wijdicks CA, LaPrade RF. Structural Properties of the Meniscal Roots. *Am J Sports Med* 2014;42(8):1881-7. [Crossref](#)
49. Kopf S, Colvin AC, Muriuki M, Zhang X, Harner CD. Meniscal root suturing techniques: implications for root fixation. *Am J Sports Med* 2011;39(10):2141-6. [Crossref](#)
50. Poh SY, Yew KSA, Wong PLK, Koh SBJ, Chia SL, Fook-Chong S, Howe TS. Role of the anterior intermeniscal ligament in tibiofemoral contact mechanics during axial joint loading. *Knee* 2012;19(2):135-9. [Crossref](#)
51. Robinson JR, Bull AM, Thomas RR, Amis AA. The role of the medial collateral ligament and posteromedial capsule in controlling knee laxity. *Am J Sports Med* 2006;34(11):1815-23. [Crossref](#)
52. Gupte CM, Bull AM, Thomas RD, Amis AA. A review of the function and biomechanics of the meniscofemoral ligaments. *Arthroscopy* 2003;19(2):161-71. [Crossref](#)
53. Gupte CM, Bull AM, Thomas RD, Amis AA. The meniscofemoral ligaments: secondary restraints to the posterior drawer. Analysis of anteroposterior and rotary laxity in the intact and posterior-cruciate-deficient knee. *J Bone Joint Surg Br* 2003;85-B(5):765-73. [Crossref](#)
54. Natsis K, Paraskevas G, Anastasopoulos N, Papamitsou T, Sioga A. Meniscofibular ligament: morphology and functional significance of a relatively unknown anatomical structure. *Anat Res Int* 2012;2012:1-5. [Crossref](#)